

ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE

Aysun ÖZKAN^{1*}, Zerrin GÜNKAYA¹, Müfide BANAR¹, Alev KULAÇ¹,
Gülser YALÇIN², Kadriye TAŞPINAR², Abdullah ALTAY²

PYROLYSIS OF ZINC CONTAMINATED BIOMASS FROM PHYTOREMEDIATION

ABSTRACT

The aim of this study is to stabilize of zinc (Zn) from soil to pyrolysis solid product. For this aim, phytoremediation and pyrolysis were sequentially applied. In the phytoremediation stage, contaminated soil with zinc was cleaned up via sunflower (*Helianthus annuus*), corn (*Zea mays*) and rape (*Brassica napus*). After harvesting, the plants were pyrolyzed at 500°C with the heating rate of 35 °C/min in a fixed bed stainless steel reactor. The phytoremediation results indicated that high phytoremediation efficiency (79%) were observed. Beside the main property analyses, Zn contents were determined on the pyrolysis solid and liquid products. According to pyrolysis results, Zn content of the contaminated biomass species is fixed into the ash/char fraction.

Keywords: Hazardous waste, Phytoremediation, Pyrolysis, Soil.

FİTOREMEDİASYON SONRASI ÇİNKOYLA KİRLENMİŞ BİYOKÜTLENİN PİROLİZİ

ÖZ

Bu çalışmanın amacı, çinkonun topraktan piroliz katı ürününe stabilize edilmesidir. Bu amaçla, ardışık olarak fitoremediasyon ve piroliz işlemleri uygulanmıştır. Fitoremediasyon aşamasında, çinkoyla kirlenmiş topraklar, ayçiçeği (*Helianthus annuus*), mısır (*Zea mays*) ve kanola (*Brassica napus*) temizlenmiştir. Hasattan sonra bitkiler, 35 °C/dk ısıtma hızıyla 500°C sıcaklıkta sabit yatak bir reaktörde piroliz edilmiştir. Fitoremediasyon sonuçlarına göre, en yüksek fitoremediasyon verimi %79 olarak belirlenmiştir. Piroliz katı ve sıvı ürünlerinin temel özelliklerinin yanısıra, Zn içerikleri de analiz edilmiştir. Piroliz sonuçlarına göre, kirlenmiş biyokütlelerdeki Zn içeriğinin katı üründe stabilize edildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Fitoremediasyon, Piroliz, Tehlikeli atık, Toprak

¹ Department of Environmental Engineering, Anadolu University, Eskişehir, Turkey
aysunozkan@anadolu.edu.tr; mbanar@anadolu.edu.tr; zcokaygil@anadolu.edu.tr; alev.kulac@yahoo.com

* Corresponding Author: aysunozkan@anadolu.edu.tr

² Transitional Zone Agricultural Research Institute, Eskişehir, Turkey
gulseryalcin@hotmail.com; eskadris@yahoo.com; kimyager42@gmail.com

Geliş: 01 Haziran 2015 **Düzeltilme:** 29 Ağustos 2015 **Kabul:** 23 Kasım 2015

1. GİRİŞ

Türkiye’de sanayinin hızla büyümesi ve gelişen sosyo-ekonomik kalkınma ile beraber halkın hayat standardının hızla yükselmesi, elektrik enerjisine olan talebin giderek artmasına neden olmaktadır. Türkiye’de, enterkonnekte 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, $150,4 \times 10^9$ kilowatsaat (kWh), 2008 yılında, $161,9476 \times 10^9$ kWh ve 2010 yılı sonunda 200×10^9 kWh tüketim seviyesine ulaşmıştır. Elektrik tüketiminin 2014 yılı sonunda, 214×10^9 - 216×10^9 kWh seviyesi arasında olacağı tahmin edilmektedir (Bakış, 2012; TÜİK, 2011).

Bu verilere göre 2014’de, kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi yaklaşık olarak (214×10^9 - 216×10^9 /75x10⁹ kişi) 2880 kWh’tir. Dünya ortalaması 2500 kWh ve gelişmiş ülkelerde 8500 kWh olup, Amerika’da bu rakam 12322 kWh’tir (DSİ, 2010; Bakış, 2012; Enerji Haber, 2009). 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. Çünkü Türkiye’nin enerjiye olan gereksinimi her geçen gün artmaktadır. Enerji ihtiyacı, ülkenin öz kaynaklarından karşılanamadığı için yurt dışından fosil yakıt olarak (Doğalgaz, Kömür, Petrol ve Petrol Ürünleri şeklinde) ithal edilmektedir. Türkiye’nin enerji maddelerinin ithalatı için 2007’de 33.9 milyar dolar ve 2010’da 40 milyar dolar civarında döviz ödemiştir. 2013 yılında bu rakam 56 milyar dolar civarındadır. Bu da, toplam ithalatın

yaklaşık beşte birini oluşturmuştur (TÜİK, 2011; Bakış, 2012; Altınbilek, 2000).

Türkiye, bu ağır yükten kurtulmak, dışa bağımlılığı azaltmak ve sürdürülebilir, kesintisiz bir enerji arzı için, nükleer santrallere yönelmiştir. Bu amaçla, Mersin ve Sinop’ta iki adet nükleer santral kuracaktır. Ancak, dünyada, fosil yakıt rezervlerinin azalması ve yakılan fosil enerjinin çevreye yaydığı zararlı sera gazlarından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep son yıllarda bütün dünyada artmıştır. Oysa Türkiye’nin zengin yenilenebilir enerji kaynakları vardır. Yenilenebilir enerji kaynakları bakımından en zengin potansiyel, su kaynaklarıdır. Sürdürülebilir bir kalkınma ve dışa bağımlılığı azaltmak için su kaynaklarının geliştirilmesi ve boşa akan suların ekonomiye kazandırılması, stratejik bir kaynak haline gelmiştir. Ayrıca su kaynakları yenilenebilir, çevre kirliliği olmayan, temiz ve yerli bir enerjidir. Türkiye’de, yılda 86 milyar kWh hidroelektrik enerji denizlere boşa akmaktadır ve bu enerjinin parasal değeri, vergiler hariç, yıllık 9,86 Milyar US\$’dır (konutlarda 1 kWh satış bedeli, vergiler hariç, 0,205385 TL ve vergiler dahil 0,330769 TL, 1 US\$=1,79 TL’dir).

Yenilenebilir enerji 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 (Adıgüzel ve Tutuş, 2002; Bakış, 2012; Demirbaş ve Bakış 2003).

Bu bildiriye, Seydisuyu havzasına ait su kaynaklarının geliştirilmesi ve sürdürülebilir bir kalkınma için mevcut havzadaki küçük akarsu potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi, su potansiyellerinin daha efektif kullanılması amacıyla, Seydisuyu üzerinde yeni planlaması yapılabilecek küçük ölçekli bir hidroelektrik santrallin, fizibil olup olmadığı konusu araştırılmıştır. Ayrıca, bu barajdan, elektrik üretme imkânının bulunup bulunmadığı ve ekonomisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmada, Seydisuyu havzası ve havza civarındaki komşu havzaları kapsayacak şekilde havzanın 1/100.000 ölçekli raster ve vektör haritaları, Harita Genel Komutanlığından satın alınmıştır. Ayrıca, daha detaylı çalışmalar için, 1/25.000 ölçekli 54 adet Raster harita (Verisi taranmış ve rektifiye edilmiş), 54 adet Vektör (sayısal harita) harita, 54 adet jeolojik sayısal 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 (ArcGIS 10-CBS)-Geographic Information System-GIS yazılımı (Anonim, 1992a; Anonim, 1992b; Aronoff, 1991) ile analiz edilmiştir (Garbrecht ve Martz, 1999; ERSDAC, 2003; Pathak, 2008). Havzanın meteorolojik özelliklerinin (yağış, sıcaklık, buharlaşma, nispi nem, rüzgar, vb.) uzun dönemli büyüklüklerin belirlenmesi için gerekli veriler, Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünden (DMİ) ücretsiz temin edilmiştir (DMİ, 2012). 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 (DSİ, 2012; EIE, 2012). Ancak, bu verilere ait bazı yılların dataları, mevcut olmadığından, eksik yıllara ait debi değerleri, korelasyonla doldurulmuştur (Guenther vd., 1990; Elsherbagy vd., 2000; Bakış 2012; Cabuk vd., 2013).

Seydisuyu havzasında, Seydisuyu anakol ve yankoları üzerinde, baraj planlamasına uygun olabilecek baraj aks yerleri araştırılmış ve alternatifler değerlendirildikten sonra, nihai bir baraj aks yerine karar verilmiştir. Baraj planlamasında topoğrafik ve jolojik faktörler önemlidir. Dar ve derin vadiler ve hazne oluşturabilecek yerler ve geçirimsiz bölgeler tercih edilmelidir. Baraj kret uzunluğunun kısa olması, baraj maliyetini aşağı çekecektir. Aynı zamanda, projenin emniyeti ve ekonomikliği, seçilen baraj yeri ve rezervuarın jeolojik yapısına çok bağlı olacaktır.

Baraj planlanması açısından uygun bulunan noktalarındaki akım verilerinin kullanılması için, AGİ'lerin akım verileri, alan oranı metodu ile taşınmıştır. Drenaj-alan oranı metodu, bir akarsu üzerindeki Akım Gözlem İstasyonundan (AGİ) elde edilen akım verilerinden yola çıkılarak, AGİ'nin mansap veya membaındaki bir noktaya

ait alan oranında, debi değerlerinin tahmin edilmesine yönelik uygulanan bir yöntemdir (Asquith vd., 2006; Anonim, 1987; Emerson vd., 2005; Bakış, 2012). Bu yöntem, literatürde çeşitli araştırmalarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Emerson ve Dressler, 2002; Yanık ve Avcı, 2005; Wiche vd., 1989). Metodun uygulanabilirliği iki ölçüm istasyonu arasındaki havzanın hidrolojik karakteristikleri ile yakından ilişkilidir. Ölçüm yapılan akım gözlem istasyonu ile ölçüm yapılamayan akım gözlem istasyonu veya seçilen baraj aks noktası arasındaki ilişkiyi doğrudan etkilemektedir. Bu yöntem aşağıdaki (1) denklemi ile açıklanmıştır.

$$Q_1 = K \cdot \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^\phi \cdot Q_2 \quad (1)$$

Burada, Q_1 : 1 noktasındaki (yeni baraj aks noktası debisi) akım değeri, m^3/s , Q_2 : 2 noktasındaki (bilinen AGİ'deki) akım değeri, m^3/s , A_1 : 1 noktasının drenaj alanı (yeni baraj aks noktasına kadarki alan), km^2 , A_2 : 2 noktasının drenaj (bilinen AGİ'ye kadarki) alanı, km^2 , ϕ : Üstel katsayı; $K_{1,2}$: 1- 2 istasyonları arasındaki düzeltme katsayılarıdır. Düzeltme katsayıları, bir arada ele alınarak tek bir düzeltme katsayısı, K 'ya çevrilmiştir.

Yeni seçilen Baraj noktasına taşınan debiler, barajın 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.

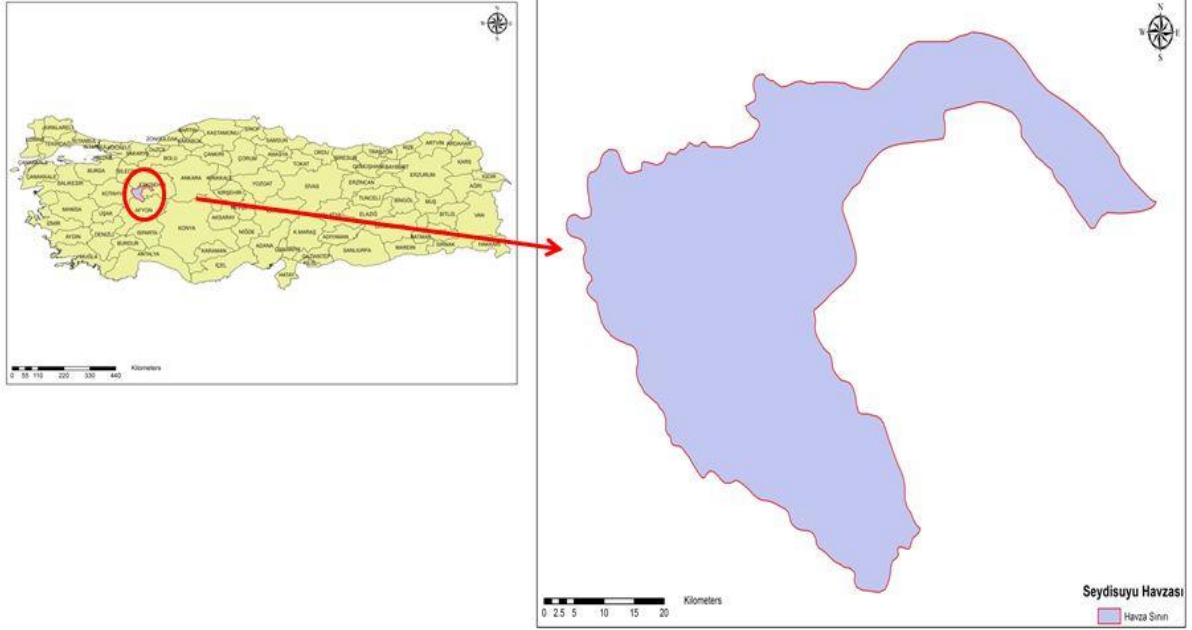
3. ARAŞTIRMA ALANI

Araştırma alanı, 12 nolu Sakarya havzasının bir alt havzası olan Seydisuyu havzasıdır. Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesinde, $38^{\circ}.85'-39^{\circ}.36'$ kuzey enlemleri ile $30^{\circ}.16'-31^{\circ}.07'$ 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, Kırka Bucağı ve 51 köy bulunmaktadır. Seydisuyu havzasının toplam alanı 1816,1 km² olup, Eskişehir yüzölçümünün yaklaşık % 13'ünü kapsamaktadır.

Havzada, hidroelektrik üretimi amacı ile mevcut herhangi bir tesis yoktur. Havzada,

Kunduzlar ve Çatören barajları, sulama amacı ile kurulmuş iki adet baraj olup, bunların dışında herhangi bir rezervuar veya yapay göl de yoktur. Havzanın Türkiye'deki coğrafi konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Seydisuyu havzasının Türkiye'deki konumu

4. SEYDİSUYU HİDROLOJİK HAVZA SINIRLARININ COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) İLE BELİRLENMESİ

Seydisuyu havzasının hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenmesi için havzanın hidrolojik sınırlarının bilinmesi ve havza yüzey analizlerinin yapılması gerekir. Ayrıca, baraj planlaması için havzaya ait topoğrafik ve jeolojik dataların birlikte kullanılması gerekmektedir. Böylece meteorolojik ve hidrolojik verilerin analizi ve havza yüzey özelliklerinin belirlenmesi halinde, havzaya ait

su potansiyeli ve hidroelektrik potansiyelin tespiti daha kolay olacaktır.

Havzaya ait özellikler, sayısallaştırılmış haritalar yardımı ile belirlenmiştir. Havzanın Sayısal Yükseklik Modeli (SEM veya Digital Elevation Model-DEM), 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış vektör haritalar kullanılarak çıkarılmıştır. DEM, hidrolojik havza sınırına göre kesilerek, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ArcInfo 10 yazılımı ile analiz edilmiştir. Seydisuyu Havzasına ait DEM, Şekil 2'de verilmiştir.

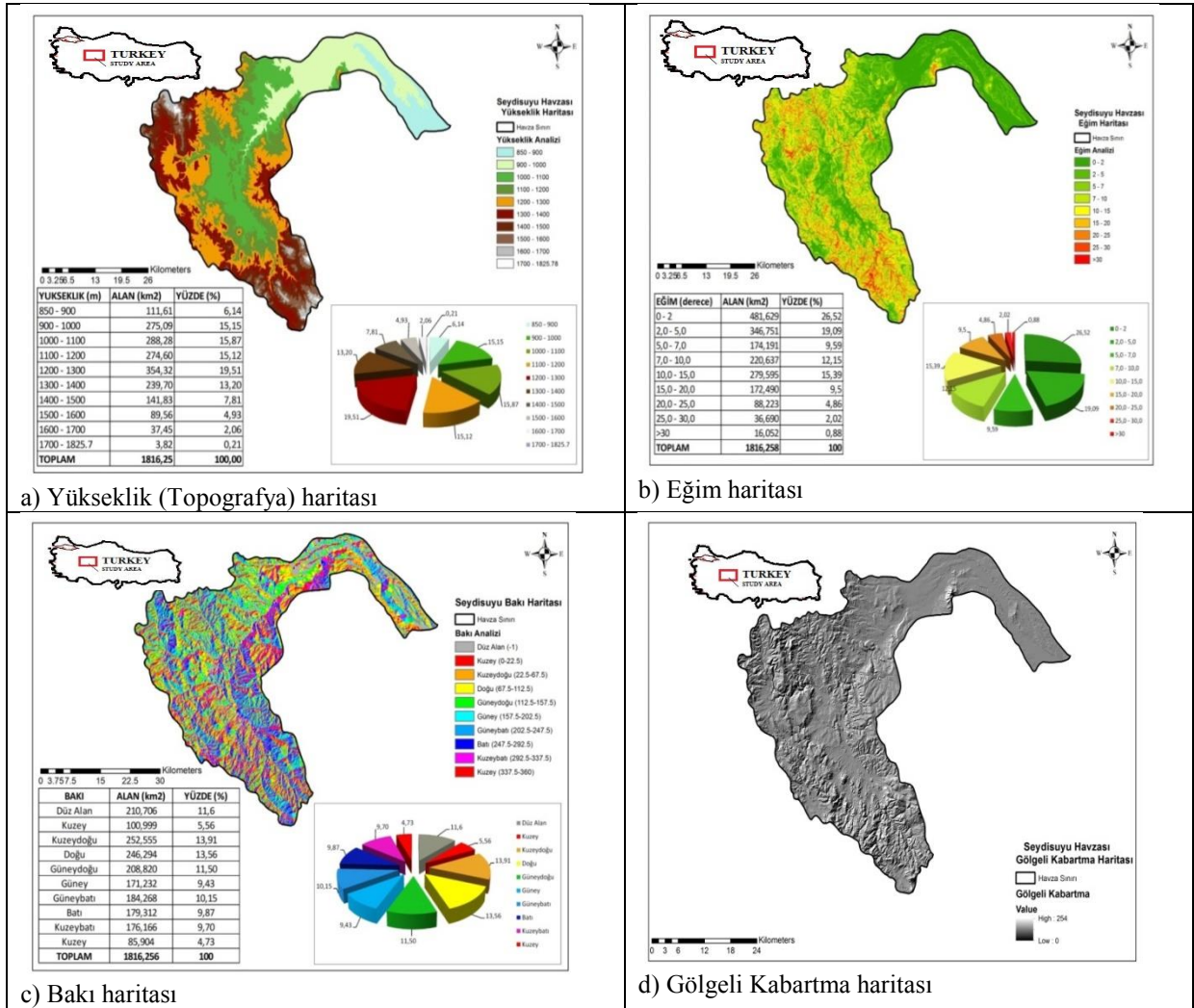
Araştırmada, her bir alt havzadaki ana akarsuyun ve derelerin sayısı, toplam dere uzunlukları, her bir derenin eğimi gibi önemli veriler de elde edilmiştir. Ana akarsuların boyuna kesitleri çıkarılmıştır. Seydisuyu havzası esas olarak 5 alt havzadan oluşmaktadır. Seydisuyu havzasının toplam alanı ve her bir alt havzanın alanı, Çizelge 1’de topluca verilmiştir (Şekil 3’e bkz). Seydisuyu havzasının toplam alanı 1816,1 km²’dir.

Çizelge 1. Seydisuyu Havzası ve alt havzalarının alanları

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

4.2. Seydisuyu Havzasının Özellikleri

Seydisuyu Havzanın DEM’i kullanılarak, havzaya ait Yükseklik, Eğim, Bakı, Gölge kabartma haritası ve buna benzer daha pek çok veri ve harita elde edilmiştir. Böylece havza ait bütün mekânsal özellikler çıkarılmıştır. Her bir veri, baraj planlamasında önemli bir bilgi demektir. Havzaya ait mekânsal özellikler, jeo-istatistik yöntemle sınıflandırılarak, Şekil 4, a, b, c ve d’de verilmiştir.



Şekil 4. Seydisuyu havzasına ait mekânsal haritalar.

Seydisuyu havasının topoğrafik haritaları incelendiğinde yüksekliğin 850-1825 m arasında değiştiği görülmektedir. 1000-1300 m arasındaki havza alanı, toplam alanın %50.5'ini (917,2 km²'sini) oluşturmaktadır (Şekil 4-a). Havza eğimi, 0-10 derece arasında %67,37 (1223.08 km²) olup, havzanın büyük kısmının düz alanlardan oluştuğu görülmektedir. Daha yüksek alanlar, havzanın batı kısımlarında bulunmaktadır. Havzanın >30 derece' den fazla alan yüzdesi %0,88 (16.052 km²) olup, havzanın küçük bir alanını temsil etmektedir (Şekil 4-b). Bakı analizleri, yüzeyin kuzeyle yaptığı coğrafik açı olup, araştırma alanının yaklaşık %25.06'sı (455.114 km²) Doğu-Düneydoğu yönüne bakan yamaçlardan oluşmaktadır (Şekil 4-c). Şekil 4-d'de verilen gölgeli kabartma haritasından, genel olarak havzanın yapısı ve düz alanlarını daha net görünmek mümkündür.

4.3. Seydisuyu Suyu Havzasının Jeolojik Durumu

Seydisuyu Havzasında yeni planlaması yapılacak baraj yeri seçiminde, geçirimsiz alanlara ait jeolojik yapı ve mevcut fay durumunun bilinmesi son derece önemlidir. Havzaya ait arazi sınıflandırması ve jeolojik katman durumunun daha iyi analiz edilmesi için yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin kullanılması çok faydalı olacaktır. Ancak, bu veriler elde mevcut olmadığından, çalışma, bu yönü ile eksik kalmıştır. Baraj planlama safhasında topoğrafik, hidrolojik ve jeolojik etütler iyi yapılmalıdır. Araştırmanın bu safhasında, baraj yerinin temel durumunun anlaşılması, jeolojik yapının (toprak ve kaya katmanlarının çeşidi, fay ve deprem durumu) göl alanının jeolojik özelliklerinin bilinmesi ve baraj inşaatında kullanılacak malzemenin miktar ve kalitesinin bilinmesi gerekir. Jeolojik etütler ile barajların inşa edileceği zeminlerin mühendislik karakteristiklerinin bilinmesi, baraj emniyet bakımından hayati bir öneme sahiptir.

Jeolojik yapının belirlenmesi için MTA tarafından üretilen, Seydisuyu havzasına ait 1/25.000 ölçekli sayısallaştırılmış ve rektifiye edilmiş 54 adet vektör harita kullanılmıştır (Şekil 5) (MTA, 2011). Bu haritalar yardımı ile jeolojisi daha uygun baraj yeri seçimi yapılabilmektedir. Ayrıca, planlaması yapılan ve 1 nolu baraj olarak isimlendirilen, 1 nolu barajın konumu, hazır kurulu olan Kunduzlar ve Çatören barajlarının mansabında seçilmiştir.

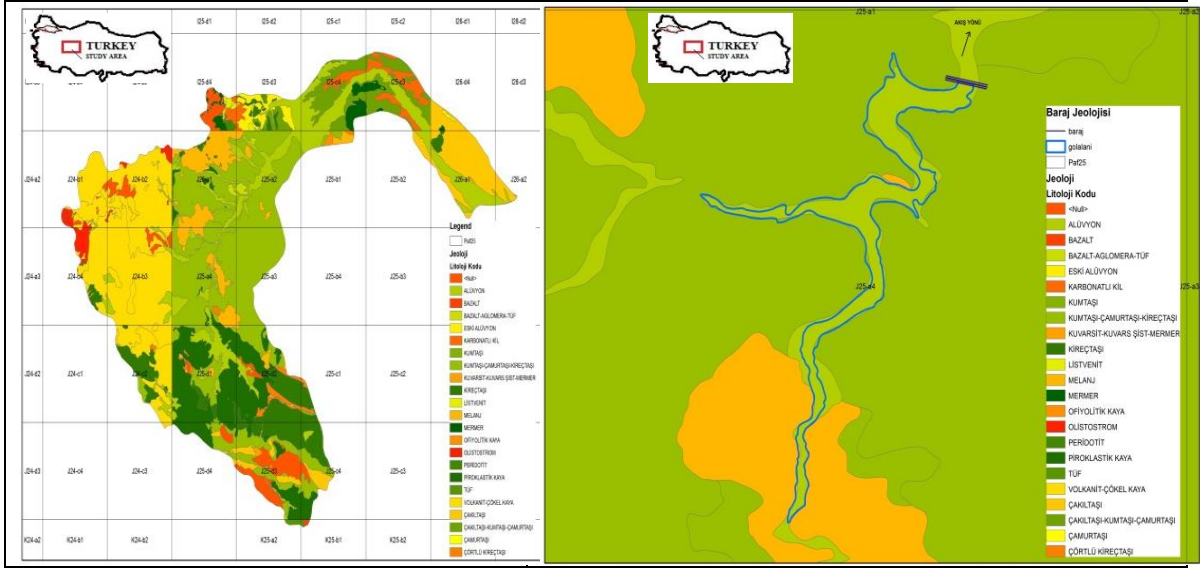
Çünkü benzer jeolojik yapı üzerinde seçilmesi, sızma problemleri açısından önemlidir. Baraj aks yerinin seçilmesinde, DSİ tarafından yapılan jeolojik çalışma raporlarından da faydalanılmıştır (DSİ, 1970).

Havzanın jeolojik yapısı genel olarak, Paleozoik yaşlı birimler, metamorfik şist ve mermerlerden oluşmaktadır. Neojen yaşlı çökeller ve volkanitler havzanın büyük bir bölümünü kaplamaktadır. Neojen tabakaların göl ortamında çökmesi sonucu özellikle havzanın kuzeyinde Kırka civarında boraks yatakları oluşmuştur. Kuvaterner yaşlı birimler, havzasının içinde yer alan dere yataklarında, alüvyon örtü ve düzlüklerde ve alçak ovalarda alüvyal örtü olarak çökelmiştir.

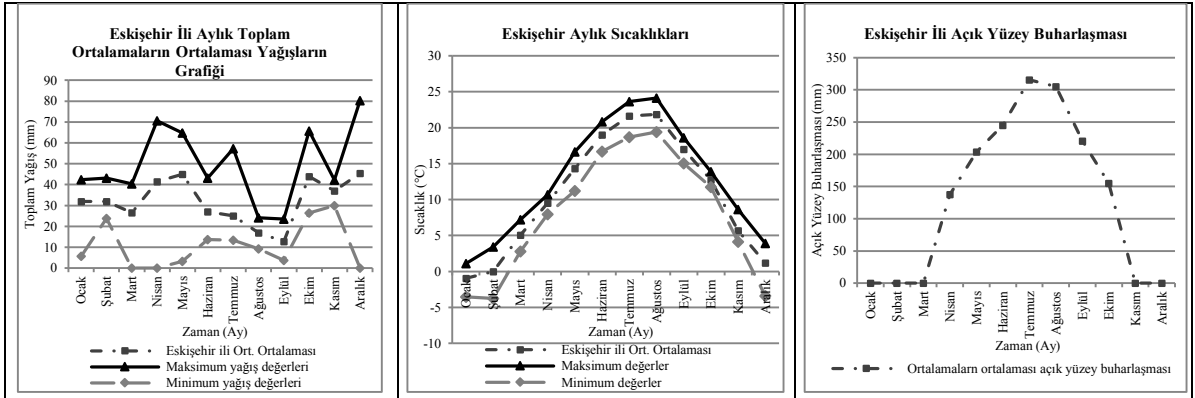
Buna göre, havzada, planlaması yapılan 1 nolu baraj yerine ait jeolojik yapı, genel olarak geçirimsiz/az geçirimli ve temel dayanım kapasitesi yüksek deprem fayı olmayan bir bölgedir. 1/25000 ölçekli haritalarda, Seydisuyu üzerinde planlanan 1 nolu barajın temel jeolojik durumu, Şekil 5'te gösterilmiştir.

5. SEYDİSUYU HAVZASININ METEOROLOJİK ÖZELLİKLERİ

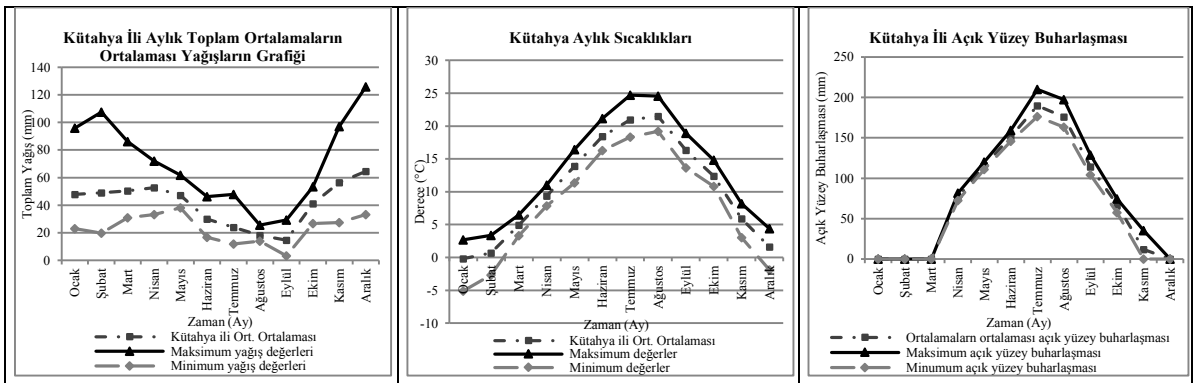
Seydisuyu Havzası İç Anadolu Bölgesinin karakteristik iklim özelliklerini yansıtır. Ancak, havzanın batısı ile doğusu arasında iklimsel farklılıklar bulunmaktadır. Genelde, Seydisuyu havzanın yazları kurak ve sıcak, kışları soğuk ve yağışlıdır. Havzayı çevreleyen, Eskişehir, Kütahya ve Afyon illerinde bulunan Meteoroloji Gözlem İstasyonlarına (MGI) ait yağış (mm), sıcaklık (°C), buharlaşma (mm) ve nisbi nem (%) gibi uzun yıllara dayanan (1991-2010 yılları arasında, 19 yıllık veriler) ölçülmüş aylık ortalama meteorolojik veriler alınmıştır (DMİ, 2011). Bu ham veriler, düzenlenerek aylık ortalama, minimum ve maksimum meteorolojik veriler elde edilmiştir. DMİ'den alınan veriler, Seydisuyu Havzasının tamamındaki yağış, sıcaklık ve buharlaşma dağılımlarının aylık ortalama grafikleri verilmiştir (Şekil 6, 7, 8). Ayrıca, "Uzaklığın Tersine ile Ağırlıklandırma Enterpolasyon Metodu" (Inverse Distance Weighted-IDW Interpolation Method) ile CBS yazılımında (Esri, 2009), bu veriler modellenerek, yağış, sıcaklık ve buharlaşma haritaları elde edilmiştir (Şekil 9).



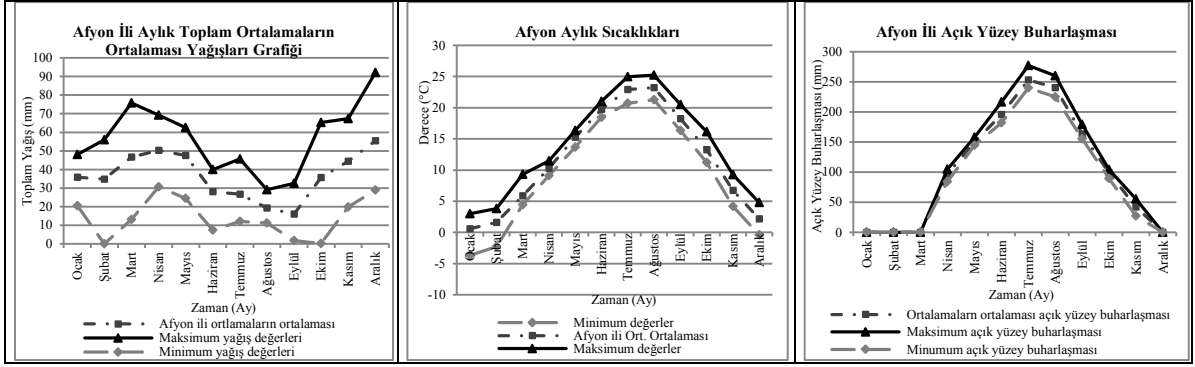
Şekil 5. Seydisuyu havzasına ait jeolojik durumu gösteren haritalar ve planlanan 1 nolu barajın jeolojik durumu.



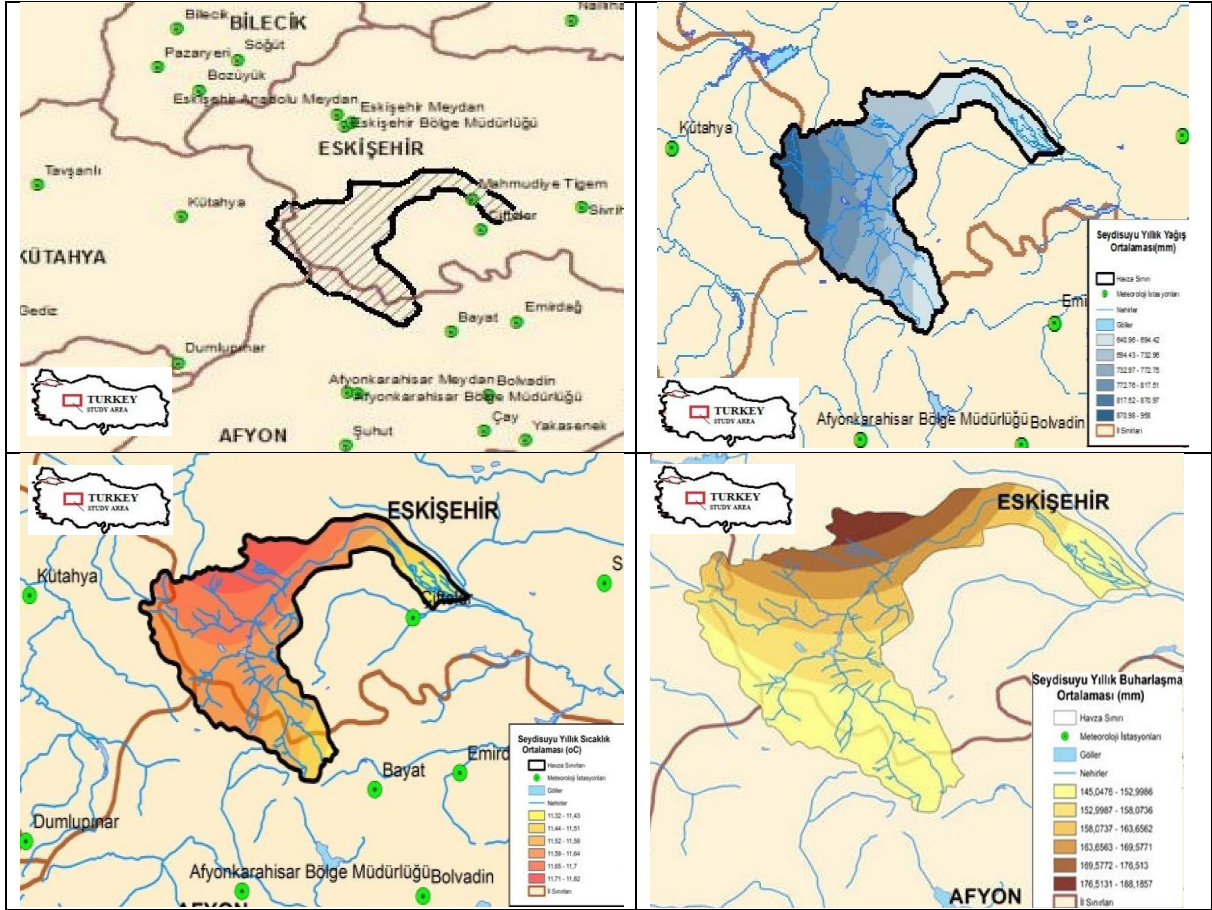
Şekil 6. Eskişehir MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama, min. ve maks. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma değerleri



Şekil 7. Kütahya MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama, min. ve maks. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma değerleri



Şekil 8. Afyonkarahisar MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama, min. ve maks. Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma değerleri



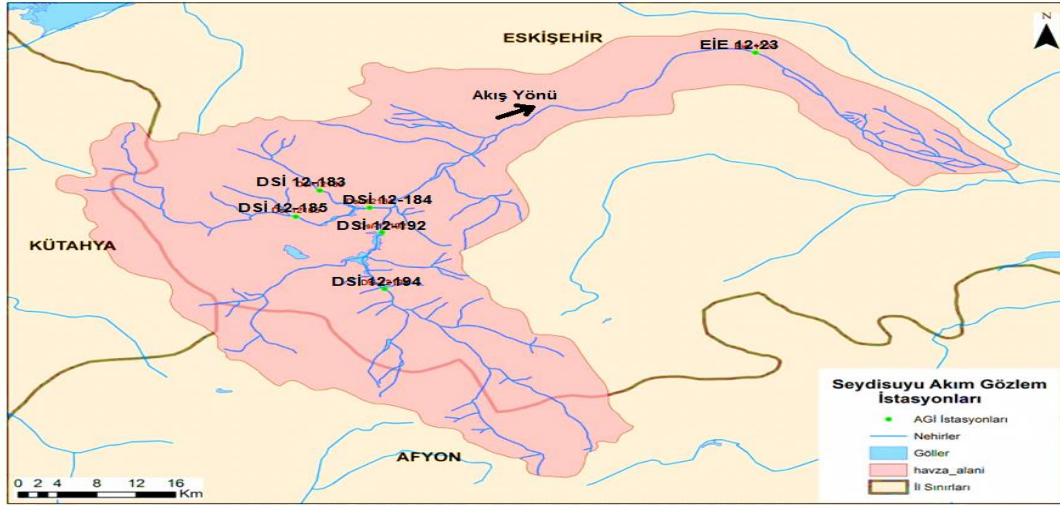
Şekil 9. Seydisuyu havzası civarındaki MGI'na ait 19 yıllık, aylık ortalama Yağış, Sıcaklık, Buharlaşma dağılımlarının, IDW metoduna göre modellenmesi.

Seydisuyu havzasında minimum (min) yağış 652,52 mm, ortalama (ort) yağış 750,52 mm, maksimum (maks) yağış 941,83 mm'dir. Seydisuyu havzasında min. sıcaklık 11.32 °C, ort. sıcaklık 11,61 °C, maks. sıcaklık 11.82 °C'dir. Havzada en düşük sıcaklık -20.4 °C ile Ocak ayında (Seyitgazi'de), en yüksek sıcaklık ise 37°C ile Ağustos ayında (Mahmudiye'de) ölçülmüştür. Seydisuyu havzasında min. buharlaşma 145 mm, ort. buharlaşma 159,07 mm, maks. buharlaşma 188 mm'dir.

5.1. Havzanın Hidrolojik Özellikleri

Seydisuyu havzasında, anakol üzerindeki baraj yerinin su potansiyelini hesaplayabilmek için akım gözlem istasyonlarının (AGİ) aylık

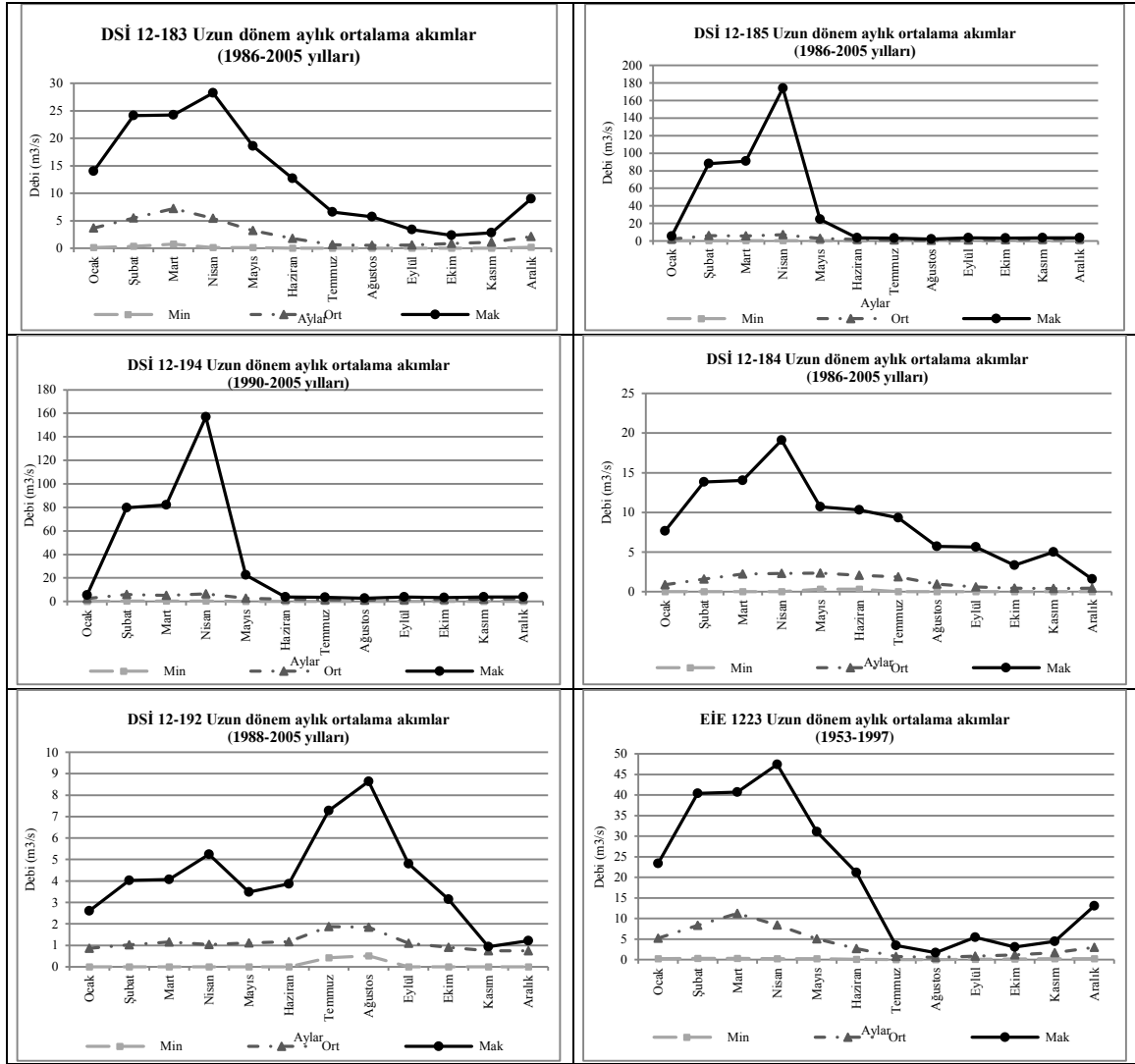
ortalama akım verileri (m³/s) kullanılmıştır. Mevcut kurulu barajların (Çatören ve Kunduzlar) membaında bulunan Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ'lerin) akım değerleri doğal akış olarak alınmış ve bu debi değerleri alan oranı metodunda kullanılmıştır. Seydisuyu üzerinde EİE ve DSİ tarafından işletilen ve açık olan AGİ'ler, Şekil 10'da gösterilmiştir. Alan oranı metodu, AGİ'de, ölçülen debilerin, planlaması yapılan yeni baraj aks noktasına, alan oranında ötelenmesini hesaplayan bir yöntemdir. Çizelge 2'de, bu istasyonların, adı, nosu, koordinatları ve işleten kurum adı, topluca verilmiştir. Şekil 11'de de, Akım Gözlem İstasyonları (AGİ)'nin uzun dönem aylık min., ort. ve maks. debileri (m³/s), grafikler şeklinde verilmiştir.



Şekil 10. Seydisuyu havzasında bulunan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ)

Çizelge 2. Akım Gözlem İstasyonları

AGİ-İstasyon No	İstasyon Adı	İli	Koordinatı	Kotu (m)	Havza Alanı (km ²)	Ölçüm yılı	Ölçüm Yıl Sayısı
DSİ 12-183	Keçeliözü Deresi-Göknebi	Eskişehir	39°22' 51"K 30°31' 38"D	2032	94,85	1986-2005	19
DSİ 12-184	Kunduzlar Baraj- Baraj Çıkışı	Eskişehir	39°21' 27"K 30°34' 23"D	1857	406	1986-2005	19
DSİ 12-185	Akin Deresi-Gemiş	Eskişehir	39°20' 43"K 30°30' 19"D	1742	218,23	1986-2005	19
DSİ 12-192	Çatören Barajı- Baraj Çıkışı	Eskişehir	38°43' 36"K 31°02' 51"D	1005	712	1988-2005	17
DSİ 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

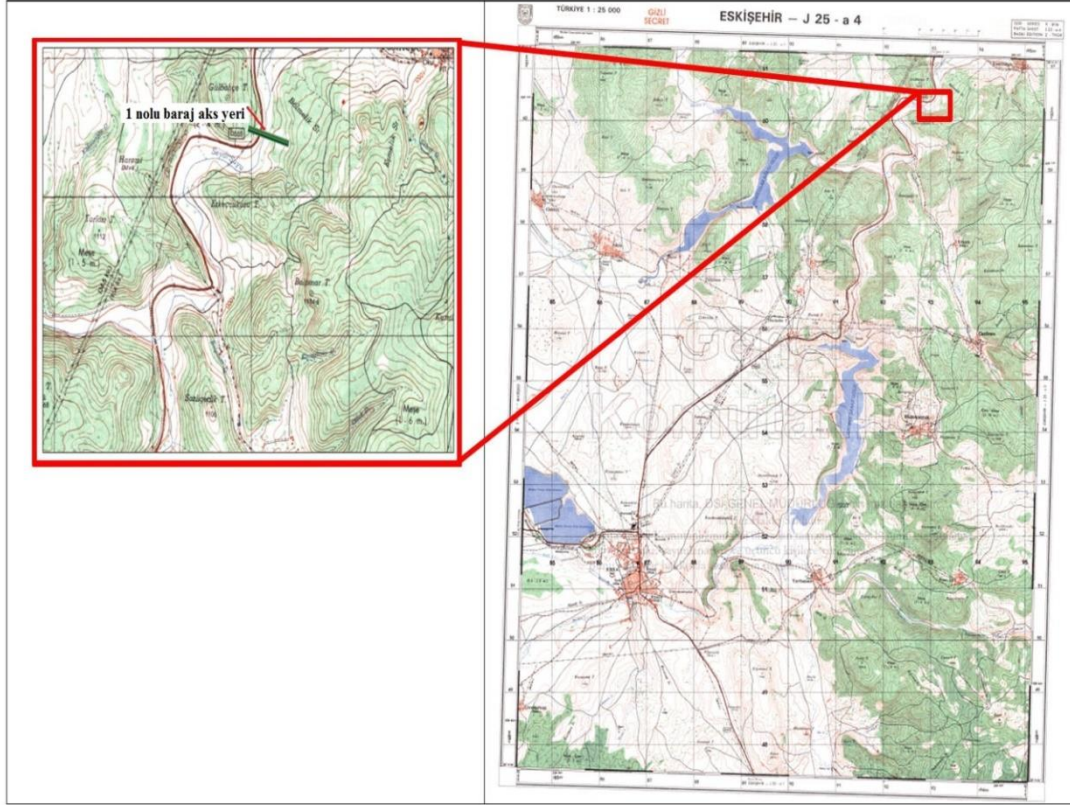


Şekil 11. Akım Gözlem İstasyonları (AGİ)'nin Uzun Dönem Aylık min., ort. ve maks. debiler (m³/s)

5.2. 1 Nolu Baraj Yerinin Seçimi ve Planlaması

Baraj yeri seçiminde, baraj kretinin en kısa ve baraj yeri ile gölalanın geçirimsiz olduğu bölgeler öncelikli tercih nedenidir. Seydisuyu havzasındaki, 1/25.000 ölçekli haritalar incelendiğinde, Eskişehir J25-a4 paftasındaki 93-94/60-61 kareleri ve Koordinatı 30°35'55,35''D, 39°22'7,237'' K, üst kotları 1000 m ve daha aşağısı olabilecek bir baraj yeri tespit edilmiştir. Bu paftada, talveg kotu 990 m kotlarında, baraj yapımına uygun olduğu düşünülen bir noktada, nispeten dar bir vadi (Şekil 12) 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. 990 m kotlarında küçük bir baraj planlanır ise 7 m yüksekliğinde bir baraj yapılabilir. Oluşacak göl suyu yüksekliği ile Çatören ve Kunduzlar barajlarının talveg kotları arasında en az 3 m kot farkı oluşacaktır. Yeni baraj yeri ve karakteristik özellikleri Çizelge 3'te 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.



Şekil 12. 1 Nolu baraj yeri planlaması (Eskişehir J25-a4 paftası) için uygun görülen yerin 1/25000'lik haritadaki yeri.

Çizelge 3. 1 Nolu baraj yeri ve karakteristik özellikleri

Baraj Adı (No.su)	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
1 Nolu Baraj	Eskişehir J25-a4 (93-94/60-61 Karesi)	Solda, Gülbahçe Tepesi sağda, Bölmelik sırtları, Harami yanı, Yeşiltepe mevkisine 2 km mesafededir.	30°35'55,35"D 39°22'7,237" K	Baraj kret kotu: 1000 m Max. Hazne Kotu: 997 m	990	Talvegden, 10 m Temelden, 16 m Membra Su Yüksekliği 7 m Temel derinliği 6 m	Kret Uzunluk: 425 m Kret Genişlik: 65 m Taban genişliği: 22,50 m Membra: Düşey: 2,4/yağış 3, Mansap: 2,4/3	1145,16 km ² ve Yaklaşık kotu: 990 m)

Planlanan 1 nolu barajın aks yeri, Çatören ve Kunduzlar barajlarının mansabında bulunmaktadır. Baraj sırası ile Kunduzlar barajından 3,621 km ve Çatören barajından 5,265 km mansabındadır. Planlanan barajın membaında, DSİ12-183, DSİ12-184, DSİ12-185, DSİ12-192 ve DSİ12-194 nolu AGİ'ler bulunmaktadır. Mansabında ise EİE12-23 nolu AGİ bulunmaktadır (Şekil 10). 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), DSİ12-183 ve EİE12-23 AGİ'lerin akımları kullanılarak bulunmuştur. Buna göre, ortalama $\phi = 0,139506$ ve $K = 2,34927$ bulunmuştur. Sonuçlar Tablo 4'te özetlenmiştir.

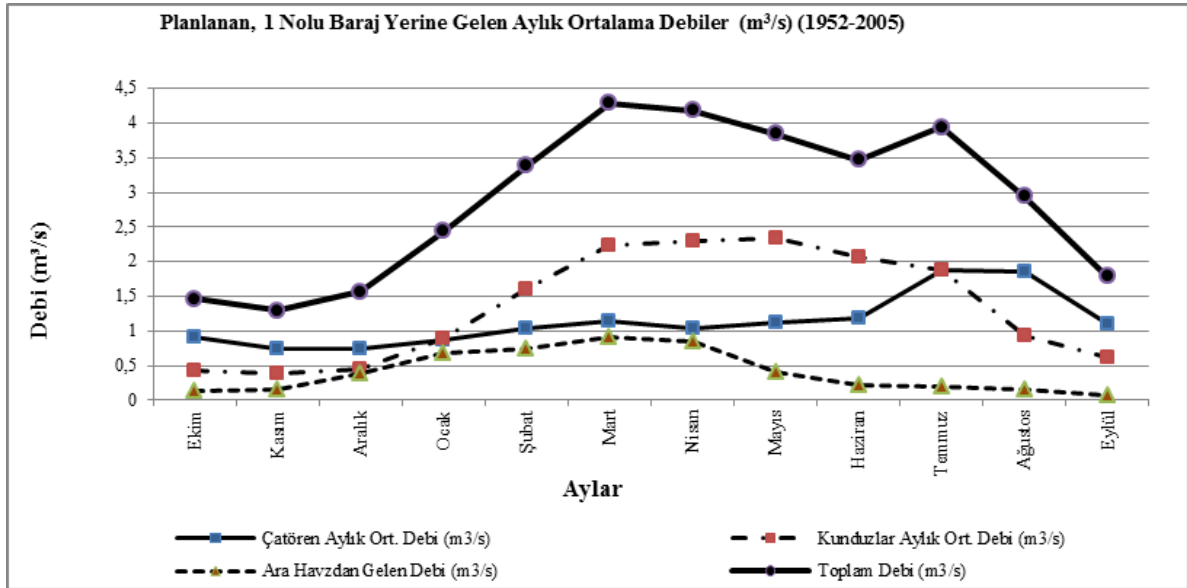
Çizelge 4. Alan oranı metodunda kullanılan ϕ ve K katsayıları

AGİ, İst No	DSİ12-183	EİE12-23	Toplam ϕ_i	$_{12}K_i$	$_{21}K_i$	Toplam 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 DSİ12-183 nolu AGİ'ye ait debileri, bu şartı sağladığı için, alan oranı metodu ile planlanan baraj yerine taşınmıştır.

Planlanan 1 nolu barajın drenaj alanı 1145,16 km², Çatören ve Kunduzlar barajlarının

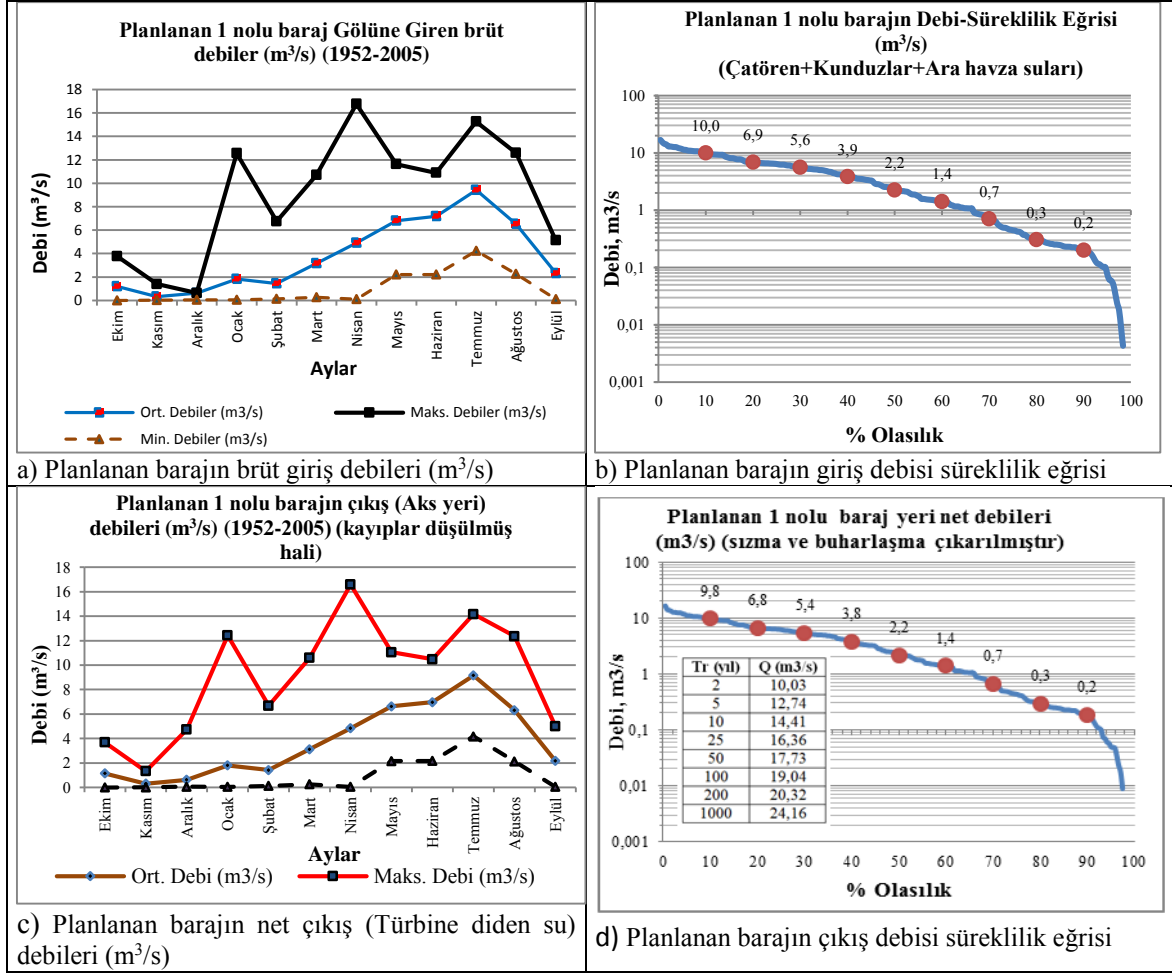
drenaj alanları sırasıyla 712 km² ve 406 km² 'dir. Planlanan 1 nolu baraj ile Kunduzlar ve Çatören barajlarının drenaj alanları arasında kalan ara havzanın drenaj alanı ise CBS ortamında 27,16 km² olarak bulunmuştur. Planlanan 1 nolu baraja gelen toplam debi, Kunduzlar ve Çatören barajlarının çıkış suları ve ara havzadan gelen suyun toplamıdır. 1 nolu baraj gölüne giren toplam debi, Şekil 13'te verilmiştir.



Şekil 13. Baraj gölüne giriş debileri (m³/s)

Şekil 14, a)'da baraj gölüne giren brüt aylık ortalama (ort.), maksimum (maks.) ve minimum (min.) debiler gösterilmiştir. Min. debilerin ortalaması 0,97 m³/s, ort. debilerin ortalaması 3,81 m³/s ve maks. debilerin ortalaması 9 m³/s bulunmuştur. Şekil 14, b)'de

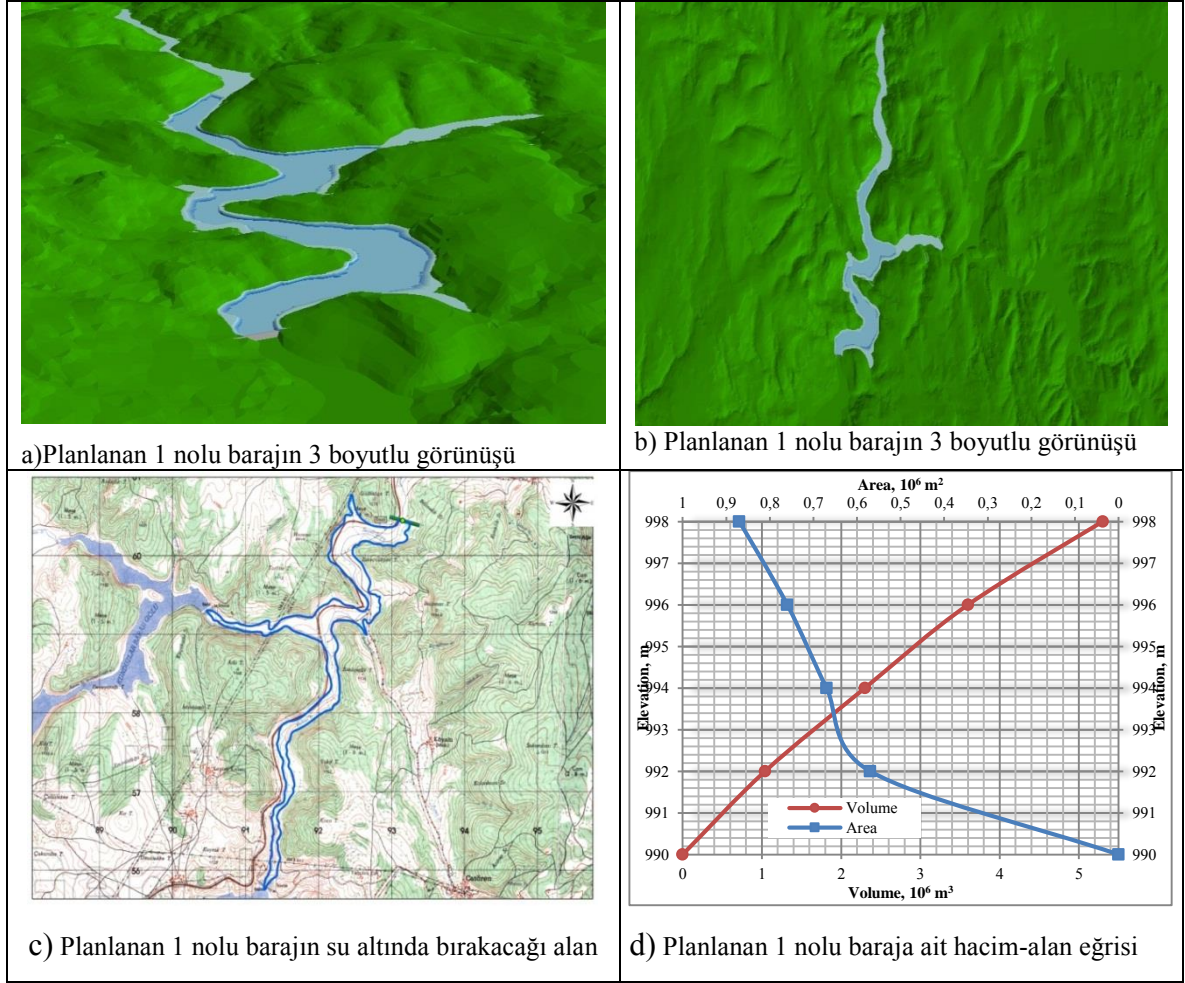
Planlanan barajın giriş brüt debisi süreklilik eğrisi, c)'de, Planlanan barajın net çıkış (Türbine diden su) debileri (m³/s) ve d)'de Planlanan barajın net çıkış debisi süreklilik eğrisi verilmiştir.



Şekil 14. a) 1 nolu baraja giren brüt aylık ortalama debiler b) 1 nolu barajdan çıkan net aylık ortalama, minimum ve maksimum debiler

Baraj maksimum göl alanında meydana gelen gerçek buharlaşma miktarının hesabı için tava katsayısı 0,7 alınmış ve buharlaşma miktarı (m³/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 14, 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 modellenmesi yapılmıştır. Şekil 15 (a, b, c, d)'de, planlanan 1 nolu baraja ait 3 boyutlu görünüşü (Şekil 15 a, b), arazide, harita üzerinde maks. göl alanının kapladığı alan (km²) (Şekil 15 c) ve bu baraja ait hacim-alan eğrisi (Şekil 15 d) verilmiştir. Şekil 15, d'de, maksimum göl seviyesinde, 998 kotunda barajın su hacmi 5,3x10⁶ m³, baraj gölalanı 0,87x10⁶ m² hesaplanmıştır. Bütün sonuçlar GIS yazılımı ile elde edilmiştir.



Şekil 15. 1 nolu baraja ait görünüş ve alan özellikleri ve hacim-alan eğrisi.

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

5.3. 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

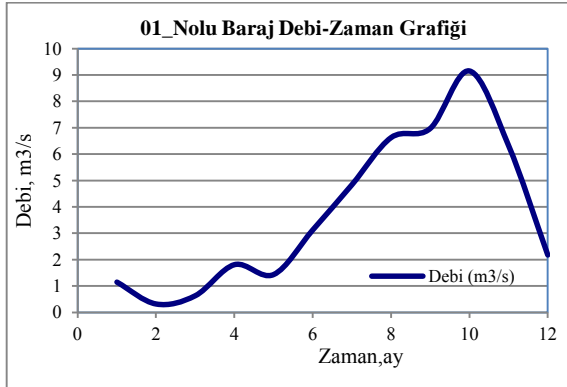
enerjisi miktarı, enerjinin toplam parasal değeri ve kendini kaç yılda ödeyeceği gibi veriler Simahpp yazılımı ile (Simulation to Evaluate the Feasibility of Hydropower Projects, www.hydroxpert.com) hesaplanmıştır. Sonuçlar, Çizelge 5'te verilmiştir. Yazılım sonuçlarına ait şekiller, Toplu halde Şekil 16 a, b, c, d, e'de sunulmuştur.

Çizelge 5. 1 nolu baraşa ait Simahpp analiz sonuçları

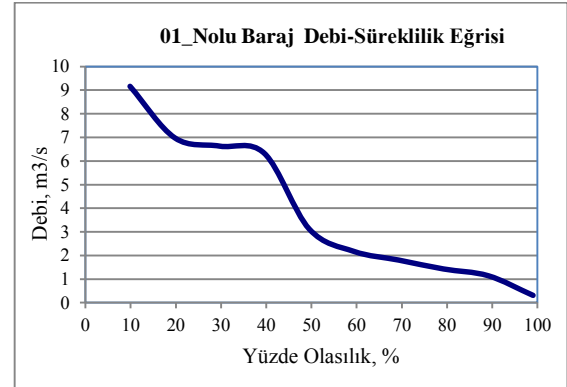
Project Characteristics		1
Net Head (m)		10.000
Design Flow (m ³ /s)		6.320
Design Time of Operation (%)		40
Power Production(kW)		619.992
Energy Production (kWh/Year)		2172451.968
Energy Revenue (EUR/Year)		199431.091
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Coal		1303.471
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-Gas		434.490
Emission Reduction (tCo ₂ /Year)-fuel		695.185
Carbon Market (EUR/Year)-Mean		8110.487
Investment Cost (EUR)		1689340.163
Investment Cost/kW (EUR/kW)		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 m³/s
 Kurulu Güç : 0.620 MW
 Yıllık Enerji Üretimi : 2.17 GWh/yıl
 Yıllık Enerji Parasal Getirisi : 0.260x10⁶ US\$
 kWh Başına Yatırım Bedeli : 3546.78 US\$
 Kendini Ödeme Süresi : 9.3 yıl

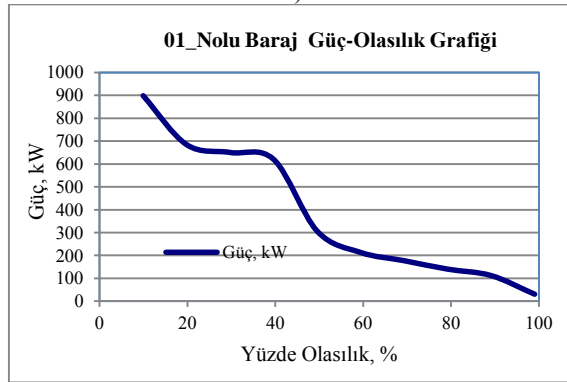
Yaklaşık 1 US\$=1.7969 TL; 1 Euro=2.2127 TL; 1 Euro/1 US\$≈1.231 ; TC, Merkez Bankası döviz kurları: Efektif Satış Kuru üzerinden, 1 Ağustos, 2014)



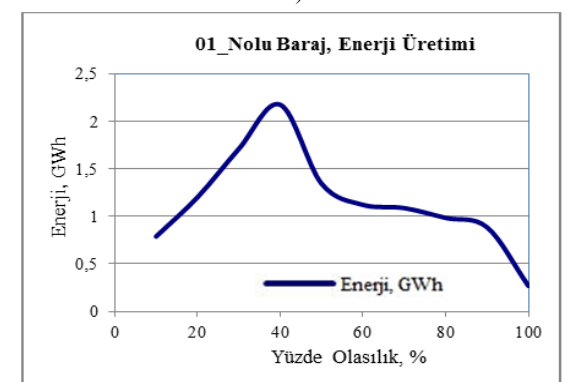
a)



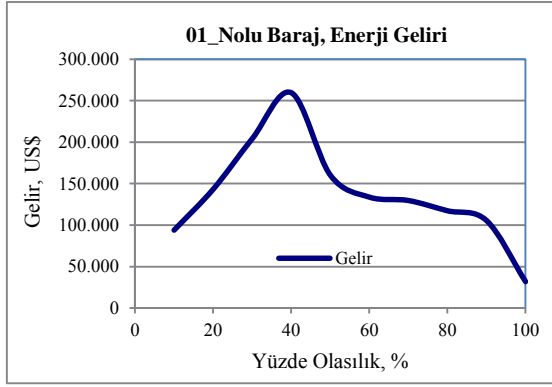
b)



c)



d)



Şekil 16. Planlanan 1 nolu barajın Simahpp sonuçları

6. SONUÇLAR

Bu makalede, Seydisuyu havzasında bir adet enerji amaçlı küçük bir barajın (1 nolu baraj), planlanması yapılmıştır. Barajdan toplam üretilebilecek hidroelektrik enerji miktarı hesaplanmıştır. Çalışmada, Seydisuyu havzası örnek olarak incelenmiştir. Türkiye’de, Seydisuyu havzası gibi daha önceleri karlı görülmeyen akarsuların hidroelektrik enerji potansiyellerinin yeniden değerlendirilmesi ve ülke ekonomisine kazandırılması amaçlanmıştır. Aynı zamanda, baraj planlamalarında CBS kullanımının etkin bir şekilde uygulanması ve değerlendirilmesi için bu çalışma, rehber bir konu olarak düşünülebilir.

Buna göre, Seydisuyu havzasında yeni planlanan 1 nolu barajın kurulu gücü 0.62 MW, üreteceği elektrik enerjisi miktarı 2.17 GWh/yıl, parasal getirisi (fayda) 0.26×10^6 US\$, kWh başına yatırım maliyeti 3547 US\$ ve kendini ödeme süresi yaklaşık 9.3 yıl bulunmuştur.

TEŞEKKÜR

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

7. KAYNAKLAR

Anonim, “Cell-based Modelling with Grid, Arc/Info User’s Guide”, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc., USA, 1992b.

Anonim, “Grid Commands References, Arc/Info User’s Guide”, Environmental Systems Research Institute (ESRI), Inc., USA., 1992a.

Anonim, “Zap Suyu Havzası Master Plan Raporu”, Elektrik İşleri Etüt İdaresi, GİZBİLİ Mühendislik Firması, Ankara, 1987.

Elshorbagy, A. A., Panu, U.S., Simonovic, S.P., (2000). “Group-based Estimation of Missing Hydrological Data: I. Approach and General Methodology”, *Hydrological Sciences-Journal-des Sciences Hydrologiques*, 45(6), 849-866.

Demirbaş, A. and Bakış, R., (2003). “Turkey’s Water Resources and Hydropower Potential”, *Energy Exploration & Exploitation*, Vol. 21, Number 5&6, 405414.

Yanık, B., Avcı, İ., (2005). Bölgesel Debi Süreklilik Eğrilerinin Elde Edilmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/ D Mühendislik*, Cilt:4, Sayı:5, 19-30.

Bakış, R. (2012). “Zap Suyu Havzası Hidroelektrik Enerji Potansiyelinin Araştırılması”, Proje No.: 090234 (06.10.2009-01.10.2012), (BAP), Proje Yürütücüsü, Eskişehir,

Cabuk, S. N., R. Bakis, Goncu, S. Gumusluoglu, E. and Cabuk, A., (2013). “Investigation of hydroelectric energy potential of the Zab River Basin using geographic information systems and remote sensing methods”, *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 5, 063131, 063131-1; 063131-24.

Altınbilek, D., (2000). “Hydroelectric Development Plans in Turkey”, DSI, The General, Directorate of State Hydraulic Works of Turkey, (<http://www.dsi.gov.tr>).

Emerson, D.G., Vecchia, A.V. and Dahl, A. L. (2005). “Evaluation of Drainage-Area Ratio Method Used to Estimate Streamflow for the Red River of the North Basin, North Dakota and Minnesota”, USGS Scientific Investigations Report 2005-5017, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.

- Emerson, D.G. and Dressler, V.M. (2002). “*Historic and Unregulated Monthly Stream Flow for Selected Sites in the Red River of the North Basin in North Dakota, Minnesota, and South Dakota, 1931-99*”, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 02-4095, 271.
- DMİ, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (www.dmi.gov.tr), 2012.
- DSA, Dam Safety Association of Turkey, (<http://www.barajguvenligi.com>), 2005.
- DSİ, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (dsi.gov.tr), 2012, 2010, 2008, 2006.
- DSİ, 1970. Yukarı Sakarya Seyitgazi Projesi, Kunduzlar-Çatören barajları Planlama Raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, III. Bölge Müdürlüğü, s. I-1_I-XIX-1, Eskişehir.
- EİE, 2012, 2010, 2009, 2008, 2007. Elektrik İşleri Etüt İdaresi (eie.gov.tr).
- Enerji Haber, (<http://www.enerjihaber.com/haberdetay>), 2009.
- ERSDAC, “ASTER Reference Guide (Version 1.0)”, Japan, 2003.
- Esri com, “Implementing Inverse Distance Weighted (IDW)”, (<http://webhelp.esri.com/arcgis/desktop/9.3>), 2009.
- Adıgüzel, F. and A. Tutuş, (2002). “Small hydroelectric Power Plants in Turkey”, Hydro 2002, Development, Management Performance, Kiriş, Turkey, Proceedings, 283-292.
- Wiche, G.J., Benson, R.D. and Emerson, D.G. (1989). “*Streamflow at Selected Gaging Stations on the James River in North Dakota and South Dakota, 1953-82, with A Section on Climatology*”, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 89-4039, 99.
- Garbrecht, J. and Martz, L.W. (1999). “Digital Elevation Model Issues In Water Resources Modelling”, 19th ESRI International User Conference, Environmental Systems Research Institute, San Diego, California, July 26-30,
- Pathak, M., (2008). “Application of GIS and Remote Sensing for Hydropower Development in Nepal”, *Hydro Nepal*, Issue No. 3, 1-4.
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, “Sayısal Jeoloji Haritaları” (<http://www.mta.gov.tr>), 2011.
- Guenther, R.S. J.F. Weigel, and D.G. Emerson, (1990). “*Gaged and Estimated Monthly Streamflow During 1931-84 for Selected Sites in the Red River of the North Basin in North Dakota and Minnesota*”, U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 90-4167, 230.
- Aronoff, S., (1991). “*Geographic Information Systems: A Management Perspective*”, WDL Publ., Canada.
- Simahpp-4. Simulation to Evaluate the Feasibility of Hydropower Projects. (<http://www.hydroxpert.com/simahpp-professional-hydropower-software>).
- Asquith, W.H., Roussel, M.C. and J. Vrabel, (2006). “*State Wide Analysis of The Drainage-Area Ratio Method for 34 Streamflow Percentile Ranges in Texas*”, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2006-5286, 34, 1 appendix.