

## Underground Dams in Water Supply: A Case Study

Ersin KOLAY<sup>1\*</sup>, Burak ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bozok University, Geological Engineering Department, Yozgat/Turkey

<sup>2</sup>General Directorate of State Hydraulic Works, 7th Regional Directorate, Samsun/Turkey

ersin.kolay@bozok.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7118-5722,

burakcinar2016@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6620-7352

**Abstract:** Factors such as population growth and climate change lead states to use water resources efficiently and to seek new water resources. In this context, the construction of underground dams in arid and semi-arid regions comes to the fore. In this study, the technical features, advantages and disadvantages of underground dams were mentioned. At the same time the historical development of underground dams and some applications in Turkey were explained. In addition, the studies carried out for the implementation of an underground dam in an alluvium with almost no groundwater are given. In case the underground dam is built, it is foreseen that agricultural irrigation can be done in summer with a suitable flow rate to be selected.

**Keywords:** Sinop, Water, Underground Dam, Groundwater

## Su Temininde Yeraltı Barajları: Örnek Bir Çalışma

**Özet:** Nüfus artışı ve iklim değişikliği gibi etmenler, devletleri su kaynaklarını verimli kullanmaya ve yeni su kaynakları arayışına yöneltmektedir. Bu kapsamda kurak ve yarı-kurak bölgelerde yeraltı barajlarının inşa edilmesi gündeme gelmektedir. Bu çalışmada yeraltı barajlarının teknik özelliklerine, avantaj ve dezavantajlarına değinilmiş, aynı zamanda da yeraltı barajlarının tarihsel gelişimi ve Türkiye’deki uygulamalar ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Ayrıca neredeyse hiç yeraltı suyu bulandırmayan bir alüvyonda yeraltı barajı uygulanması için gerçekleştirilen çalışmalar verilmiştir. Yeraltı barajının inşa edilmesi durumunda, seçilecek uygun bir debi ile yaz aylarında tarımsal sulama yapılabileceği öngörülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Sinop, Su, Yeraltı Barajı, Yeraltı Suyu

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):

Ersin, K., Öztürk, B., ‘Underground Dams in Water Supply: A Case Study’, Elec Lett Sci Eng, vol. 17(2), 2021, 76-88.

### 1. Giriş

Kıtlık ve açlığın dünyayı ciddi olarak tehdit ettiği 21. yüzyılda toprak ve su en önemli stratejik maddeler olarak kabul edilmektedir. Dünyadaki toplam su miktarı 1,4 milyar km<sup>3</sup> olup, bu suyun %97.5’i tuzlu su, geriye kalan %2.5’i tatlı su kaynaklarından oluşmaktadır. Tatlı suların da ancak %0.3’ü göllerde, akarsularda, barajlarda ve göletlerde bulunmaktadır. Su tüketiminin %73’ü sulamada kullanılmaktadır. 1995 yılı itibarıyla dünyada sulanan tarım alanları 253 milyon hektar iken, 2025 yılında 330 milyon hektara ulaşması beklenmektedir. Dünyamızda 1.4 milyar insan yeterli içme suyundan yoksundur. 2.3 milyar kişi sağlıklı suya ulaşamamaktadır ve yılda 7 milyon kişi su ile ilgili hastalıklardan ölmektedir [1]. Su stresi; yıllık yenilenebilir su miktarının, yıllık kullanıma oranı ile hesaplanmaktadır. Buna göre Dünya’da 37 ülkenin “Son Derece Yüksek Stres” sınıfında kaldığı belirlenmiştir [2]. Türkiye’de yıllık ortalama yağış yaklaşık 574mm olup, yılda ortalama 450 milyar m<sup>3</sup> suya tekabül etmektedir. Günümüzdeki teknik ve ekonomik şartlar çerçevesinde, çeşitli maksatlara yönelik olarak tüketilebilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama toplam 94 milyar m<sup>3</sup>’tür. 18 milyar m<sup>3</sup> olarak belirlenen yeraltı suyu potansiyeli ile

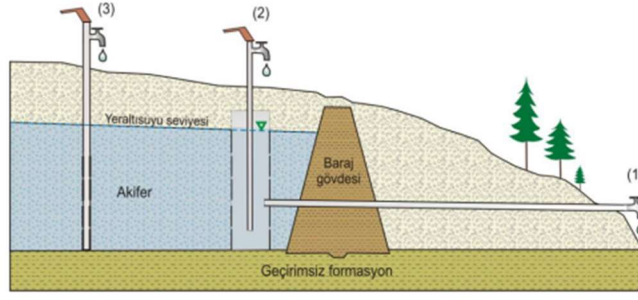
birlikte ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m<sup>3</sup> olup, 57 milyar m<sup>3</sup>'ü kullanılmaktadır. Bunun 44 milyar m<sup>3</sup>'lük miktarı tarımsal sulamada, 13 milyar m<sup>3</sup>'ü ise içme, kullanma ve sanayi suyu olarak kullanılmaktadır [3]. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1652 m<sup>3</sup>, 2009 yılında 1544 m<sup>3</sup>, 2020 yılında ise 1346 m<sup>3</sup> olmuştur. Bu verilere bakıldığında Türkiye, su baskısı yaşayan ülkeler arasında yer almaktadır. Özellikle kurak ve yarı-kurak bölgelerde suyun önemi nedeniyle, yenilikçi ve bilimsel yöntemlerle suyun optimal kullanılması gerekmektedir. Coğrafik ve iklimsel şartlar göz önünde tutularak su kaynaklarının yönetilmesi öncelikli olup, daha iyi ve daha hızlı sonuçlar vermektedir [4-6]. Genel uygulama olarak, yağışlı dönemlerde su depolanmakta ve kurak dönemlerde kullanılmaktadır. Ülkemizde ihtiyaç duyulan su; baraj, gölet gibi depolamalı tesislerden karşılanabildiği gibi, doğal bir depolama sunan akiferlerden de karşılanabilmektedir. Bu nedenle suyun tasarruflu ve optimum bir şekilde kullanılması için depolamalı tesisler yapılması büyük önem arz etmektedir.

Dünyanın birçok yerinde yeni su kaynakları sağlayabilmek için yeni teknikler geliştirilmektedir. Yeraltı barajları da bu teknolojilerden birisi olup 1970'lerden beri Japonya, Brezilya, Hindistan ve Afrika'da uygulanmaktadır [7]. Ülkemizde de, iklim değişikliğine bağlı kuraklık ile etkin mücadele kapsamında yeraltı barajlarının yapımına daha fazla önem verilmeye başlanmıştır. Bu kapsamda; DSİ tarafından "Yeraltı Barajları ve Suni Besleme Eylem Planı" devreye sokularak yeraltı suyu rezervinin korunması ve artırılması amacıyla en az 100 adet proje geliştirilmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle, yeraltı barajları son yıllarda adından sıkça söz edilen bir depolama tesisi olarak ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, ülkemizin güncel su politikasında da yer alan yeraltı barajlarının genel özelliklerinden bahsederek, Sinop ili, Durağan ilçesi, Çayağzı köyü arazilerinin sulama suyu ihtiyacını karşılaması planlanan Sinop-Durağan-Çayağzı Yeraltı Barajını örnek bir çalışma olarak irdelemektir.

## **2. Yeraltı Barajları**

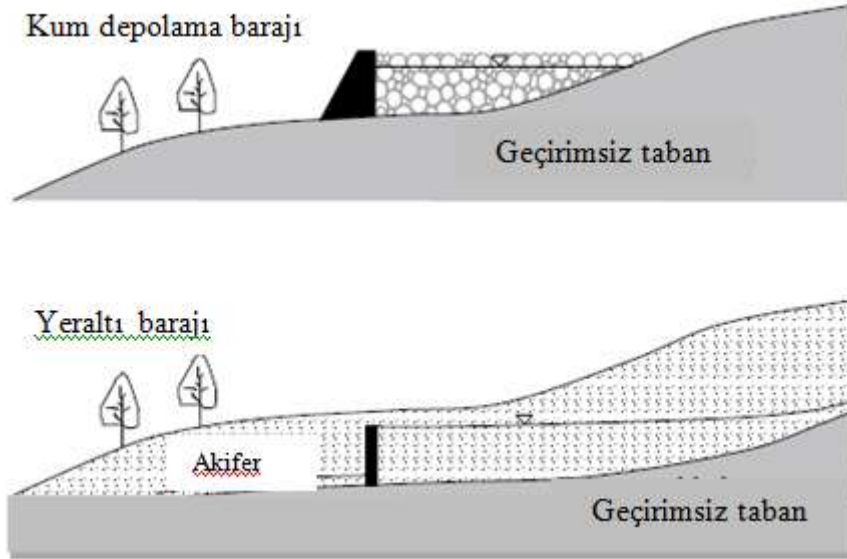
Yeraltı barajları, yüzeyin altında suyu bloke etmek, yönlendirmek ve yeraltı suyunun seviyesini yükseltmek için, genellikle çok fazla drenajın olduğu geçici nehir yataklarında inşa edilir [8- 9]. Yeraltı barajı, yeraltı suyu akımına karşı geçirimsiz bir perde oluşturmak suretiyle suyun geçirimsiz formasyon üzerinde bulunan akifer içinde depolandığı yeraltı mühendislik yapısıdır [10]. Yeraltı barajları, genellikle sığ kalınlıklar sunan taneli akiferlerde yapılmakta olup, bazen kırık-çatlak sistemi gelişmiş ve akifer özellikleri taşıyabilen kaya ortamlarda da yapılabilmektedir [7]. Burada esas olan, geçirimsiz bir alt sınır koşulunun sağlanmasıdır. Bu koşulu sağlayan ortamlarda su, taneli ya da kırık-çatlaklı akiferlerde önü geçirimsiz bir perde vasıtasıyla kesilerek depolanmaktadır. Bu geçirimsiz perde, sıkıştırılmış kil dolgu, slurry-trech (bulamaç hendeği), beton-betonarme duvar ya da enjeksiyon gibi farklı şekillerde oluşturulabilmektedir (Şekil 1).

Yeraltı barajları için birinci problem baraj inşaatı için uygun yerin seçilmesidir. Bu problem sosyal, ekonomik, jeolojik ve hidrolojik faktörler nedeniyle ortaya çıkmaktadır [4]. Yeraltı barajlarında en önemli husus, suyun depolanabileceği akiferin sınırlarının ve hidrolik özelliklerinin tespitidir. Yerüstü barajlarında aksin yerinde akarsu debilerinin doğrudan ölçümü ve rezervuar alanının haritalanması suretiyle depolama hacminin hesaplanması yeraltı barajlarına göre daha kolaydır. Çünkü her şey yeryüzünde ve görünebilir durumdadır. Ancak yeraltı barajlarında durum farklıdır ve oldukça zordur. Yeraltı barajlarında yapılan çalışmalar hidrojeoloji bilim dalının uygulama alanına girmekte olup, özel ihtisas gerektirmektedir [10].



**Şekil 1.** Yeraltı Barajı ve Su Alma Çeşitleri- 1: Cazibe ile su alma, 2: Keson kuyudan pompaj ile su alma, 3: Su sondaj kuyusundan pompaj ile su alma [11]

Yeraltı barajlarının inşa edilebilmesi için, yeterli kalınlık ve yayılıma sahip, alttan ve yanlardan geçirimsiz formasyonlarla sınırlı, depolama ve hidrolik iletkenlik katsayısı yüksek akifer, tercihen akiferin kesit alanının küçüldüğü dar bir boğaz bulunmalıdır [10]. Hanson ve Nilsson [12] yeraltı barajlarını, yeryüzü seviyesinin altında inşa edilen böylece doğal akiferin suyunu hapseden ve suyu sedimentlerin arasında depolayan kum depolama barajları olarak iki grupta incelemektedir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Kum depolama ve yüzey altında inşa edilen yeraltı barajları [15]

Dünyada ilk yerüstü barajının M.Ö. 4000 yıllarında Nil nehri üzerinde inşa edildiği tahmin edilmektedir. Uzunluğu 110m ve yüksekliği 12m olan bu baraj sulama ve içme suyu elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Dünya'nın en eski yeraltı barajları arasında sayılan ve ülkemiz sınırları içerisinde Çorum-Alacahöyük'teki Gölpınar Hitit Barajı M.Ö. 1245'te inşa edilmiş olup 1930'lu yıllarda yapılmaya başlanan arkeolojik kazı ve çalışmalar sonucunda keşfedilmiştir. Yakın tarihlerde ise dünyanın birçok bölgesinde, özellikle de Japonya, Hindistan, Güney ve Doğu Afrika ve Brezilya'da yeni teknikler geliştirildiği ve uygulandığı görülmektedir. UNESCO, Afrika'da birkaç barajın yapımını desteklemiştir. Yeraltı barajı 20. yüzyılın sonlarında popüler ve yaygın olmaya başlamıştır. Avrupa ülkelerinden Almanya, Fransa ve İtalya'da yeraltı suyunu depolamak amacıyla yeraltı barajları inşa edilmiştir [10]. Japonya'da 1990 yılında yapılan Fukusato Yeraltı Barajı bunlara bir örnektir.

Ülkemizde de çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından yeraltı barajları inşa edilmiştir. Bunların bazılarında ait kısa bilgiler aşağıda verilmiştir:

- Kırıkkale-Yahşihan Yeraltı Barajıdır. Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu tipte yapılan barajın temelden yüksekliği 14 m'dir (Şekil 3).



**Şekil 3.** Kırıkkale-Yahşihan Yeraltı Barajı gövde kazılarında görünüm [10]

- Ankara-Malıboğazı Yeraltı Barajı 2005 yılında, Kil Çekirdekli Zonlu Dolgu olarak çamurtaşları üzerine inşa edilmiştir. Barajın temelden yüksekliği 20.60 m'dir.

- Çorum-İskilip Yeraltı Barajı 2010 yılında Kil Çekirdekli Yarı Geçirimli Toprak Dolgu tipte yapılmış olup temelden yüksekliği 13 m'dir.

- Şanlıurfa Büyük Çırçıp-1 Yeraltı Barajı 2017 yılında kireçtaşları üzerinde alüvyon içerisine beton gövde tipinde inşa edilmiş olup temelden yüksekliği 26 m, talvegten yüksekliği ise 12m'dir.

## **2.1. Yeraltı Barajlarının Bazı Avantaj ve Dezavantajları**

Geleneksel yüzey barajlarıyla kıyaslandığında yeraltı barajlarının bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır [7,10,11,13-15]. Bunların bazıları aşağıda özetlenmiştir:

Avantajları;

- Yeraltı barajları genellikle gömülü yapılar olması nedeniyle çok daha ince ve dik şev eğimleri ile ve dolu savaksız inşa edilebilmektedir. Böylece, yerüstü barajlarına göre daha az kazı ve dolgu maliyeti oluşturmaktadır.

- Yeraltı barajlarında su, yerin altında depolanacağı için yer üstünde herhangi bir toprak kaybı meydana gelmemektedir. Böylece kamulaştırma maliyetleri oldukça düşüktür.

- Yeraltı barajında su yüzeyde tutulmadığı için, tehlike oluşturmamakta, baraj inşaatı sonrasında da bölge eskiden olduğu gibi kullanılabilir.

- Yeraltı barajları, jeolojik koşulların geleneksel baraj yapımı için kötü olduğu ve yeraltı suyunun mevcut haliyle kullanılamadığı durumlarda su kullanımına izin verir.

- Yeraltı barajları, deniz suyunun tatlı su akiferine girmesini önler.
- Pompayla yeraltı barajından alınan su, barajın memba tarafında kullanıldığında tekrar rezervuara gelecektir.
- Yeraltı barajlarında yapının gömülü olması nedeni ile gövdede yıkılma ve ani su boşalımı beklenmediğinden taşkın riskini en aza indirmektedir.
- Yerüstünde aktif bir depolama olmadığı için, oluşabilecek sedimantasyonla ekonomik ömrü kısalmamaktadır.
- Yeraltı barajlarında, buharlaşmaya bağlı su kaybı olmamaktadır. Ayrıca bu barajlar, çevresel kirlenmelerden de direkt olarak etkilenmemektedir.

#### Dezavantajları;

- Suyun depolanacağı akifer her noktada homojen olamayacağı için hidrojeolojik parametrelerin hassas olarak belirlenebilmesi de güçtür. Buna rağmen akifere ait depolama katsayısı ve permeabilite gibi bazı parametreler akiferin tamamını temsil edecekmiş gibi genelleştirilmektedir.
- Yeraltı barajlarında depolanacak su miktarı oldukça düşük olabilmektedir.
- Mansap tarafındaki akiferler barajda su tutulmasından etkilenebilir.
- Mansapta yeraltı suyu seviyesinin düşürülmesi sübidansa neden olabilir.
- Mansap tarafında yeraltı suyu seviyesinin düşmesi deniz suyu intrüzyonuna neden olabilir.
- Yeraltında suyun tutulması ve depolanması, çevre akiferlerde sıvılaşma riskini artırabilir.
- Memba ve mansap tarafındaki su seviyesi değişimleri bitki örtüsü, toprak fauna ve florasında değişikliklere neden olabilir.
- Yeraltı suyunun depolanması ve tutulması zemin boşluk basıncının artırır. Bu da altyapılar üzerindeki kaldırma basıncının da artmasına neden olur.
- Suyun mansap yönüne aktarılması maliyetlidir. Pompajla su çekiminde kullanılan elektrik, maliyeti yükseltirken, cazibe ile su alımında da su alma yapısının gömülü olduğu derinliğe bağlı olarak iletim hattı kazıları yine maliyeti yükseltmektedir.
- Yapının gömülü olması nedeni ile oluşabilecek muhtemel su kaçaklarının tespiti oldukça zordur. Bu durum, oluşabilecek işletme-bakım maliyetlerini de yükseltmektedir.

## **2.2. Yeraltı Barajlarında Yer Seçimi**

Yeraltı barajlarının inşa edileceği bölgelerin bazı teknik yeterliklere sahip olması beklenir. Osuga [13] ve JGRC [16] bu teknik detayları aşağıdaki gibi özetlemiştir:

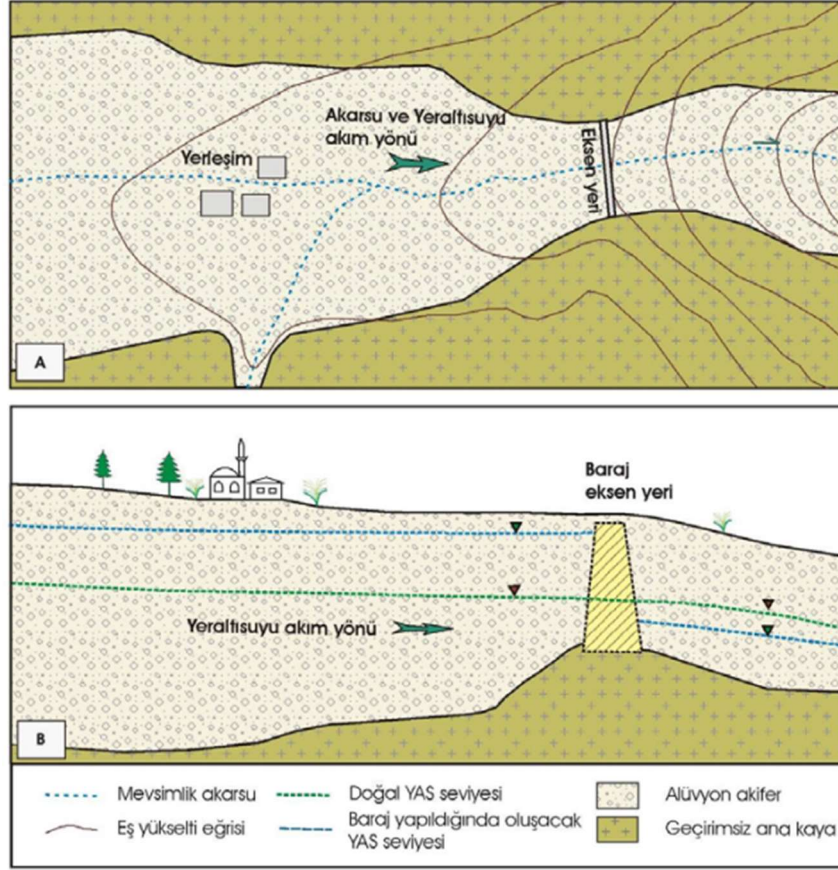
- Jeolojik katmanların (Rezervuar katmanlarının) efektif porozitesi ve hidrolik iletkenliği yeraltı suyunun toplanması ve depolanmasına izin vermelidir.

- Gerekli depolamanın sağlanabilmesi için rezervuarın altında daha düşük geçirgenliğe sahip bir temel olmalıdır.
- Temel katmanının derinliği baraj ekseninin inşa edilebileceği derinlikte olmalıdır.
- Planlanan su hacmine ulaşabilmek için yeterli yeraltı suyu boşalımı (beslemesi) bulunmalıdır.
- Yeraltı suyu kullanım ihtiyacı az (yeterince) olmalıdır.
- Su kalitesi uygun olmalıdır.
- Mansap tarafta etkisinin az olması gerekir.

Yeraltı barajları için en iyi ortam, tepeler ve tepeler arasındaki geçiş bölgesindeki dar vadiler ve hafif eğimli ovalar olarak tanımlanmıştır. Bu yumuşak eğim %0.2-%4 olarak belirtilmekle birlikte %16'ya kadar çıkmaktadır [17]. Hemen hemen her su yapısında olduğu gibi yeraltı barajları da özellikle vadilerin daraldığı ve geçirimsiz bir jeolojik yapının bulunduğu ortamlarda inşa edilmektedir. Buradaki amaç kazı ve buna bağlı olarak dolgu miktarını olabildiğince azaltmak ve geçirimsiz bir alt sınır koşulu ile su kaybını en aza indirmektir. Buna ilave olarak, yeraltı barajının yapılacağı havzaya ait hidrolojik verilerin de, rezervuarı besleyecek nitelikte olması beklenmektedir. Yeraltı barajlarında depolanacak su miktarı, akifer olarak kullanılacak jeolojik ortamla doğrudan ilişkilidir. Özellikle alüvyonlarda inşa edilecek yeraltı barajlarında, alüvyonu oluşturan taneler arasındaki boşluklarda su depolanacağı için, ince malzeme oranının düşük olması istenmektedir. Bu şekilde depolanacak su miktarı artacağı gibi, akifer içerisindeki su iletimi de artacağı için alınabilecek su miktarı daha fazla olacaktır. Yeraltı barajlarında rezervuar hacmi; alüvyonun yayılımı ve kalınlığına bağlı olduğu gibi aynı zamanda topoğrafik eğime de bağlıdır. Genel manada, gövde membasında eğim ne kadar düşük olursa, yeraltındaki maksimum su kotunun da o kadar geniş alanlara yayılacağı bilinmelidir. Suyun mansap yönüne cazibeyle aktarılması halinde ise mansapta topoğrafik eğimin fazla olması istenmektedir. Böylece, alüvyonun altında derin bir noktadan su alma yapısıyla alınan su, mansap yönüne yer altından borular vasıtasıyla iletilerek, yeryüzüne ulaştırılacaktır. Mansap eğimi ne kadar fazla olursa, iletim hattı yeryüzüne o kadar kısa mesafede ulaşacak ve kazı maliyetleri de o oranda azalacaktır (Şekil 4).

Yeraltı barajı yapımının yer seçiminde gövdenin imal edileceği doğal yapı malzemelerinin yakınlığı da önem arz etmektedir. Ancak, özellikle kesit alanı nispeten dar yerlerde dolgu tipte baraj yapımının daha maliyetli olabileceği durumlar da ortaya çıkabilmektedir. Kullanılacak malzeme alanına ait varsa kamulaştırma bedeli, işletme-taşıma maliyetleri, ruhsatlandırma ve diğer bazı resmi işlemlerden kaynaklanabilecek ilave maliyetler ve dolgu tipteki gövdeye ait kazı-dolgu miktarları göz önünde bulundurulduğunda, farklı çözümler ile gövde tasarımına gitmek zaman zaman daha ekonomik bir çözüm olabilmektedir.





Şekil 4. Vadi alüvyonlarında yeraltı barajı inşa etmek için ideal şartlar (A:Harita, B:Kesit) [11]

### 2.3. Yeraltı Barajlarında Suyun Mansapa Aktarılması

Yeraltı barajlarından suyun yeryüzüne ulaştırılması iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Bunlar; suyun cazibe ile elde edilmesi ya da suyun pompaj yöntemi ile yeryüzüne çıkarılmasıdır [10]. Cazibe ile su elde etme yönteminde, gömülü bir su alma yapısı ve buna entegre edilen bir iletim hattı ile su mansaptan yer yüzüne ulaştırılabilmektedir. Ancak burada su alma yapısının ve iletim hattının kotu çok büyük önem arz etmektedir. Su alma yapısı ne kadar derine inşa edilirse, iletim hattı da buna bağlı olarak o kadar derinde imal edilmek zorundadır. Topoğrafik eğimin mansapta artış göstermesi halinde, iletim hattı kazıları kısa mesafede tamamlanarak su, yeryüzüne ulaştırılabilmektedir. Aksi durumda ise iletim hattı mansapta çok daha uzakta yeryüzüne ulaşacak ve bu da inşaat maliyetlerini oldukça artıracaktır. Göl alanında biriktirilen su, pompaj yöntemi ile de yeryüzüne ulaştırılabilmektedir. Ancak bu yöntemde inşaat maliyetleri her ne kadar diğer yöntemle kıyasla daha az olsa da, işletme aşamasında elektrik tüketimine bağlı giderler oldukça fazla olabilmektedir. Burada önemli olan, ihtiyaç duyulan su miktarı ve akiferin verimine bağlı olarak suyun çekileceği en uygun debiyi belirleyebilmektir.

### 3. Bir Örnek Çalışma: Çayağzı (Durağan-Sinop) Yeraltı Barajı

Sinop ili, Durağan ilçesi, Çayağzı köyü arazilerinin (Şekil 5) sulama suyu ihtiyacının yeraltı ve yerüstü su kaynaklarıyla karşılanması amacıyla yeraltı barajı yapılması planlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda yeraltı barajının yer seçimi, aks yerindeki alüvyonun kalınlığının, litolojik özelliklerin, su depolama kapasitesinin ve yeraltı barajının yapılabilirliğinin araştırılması amacıyla DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından 2021 yılında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.





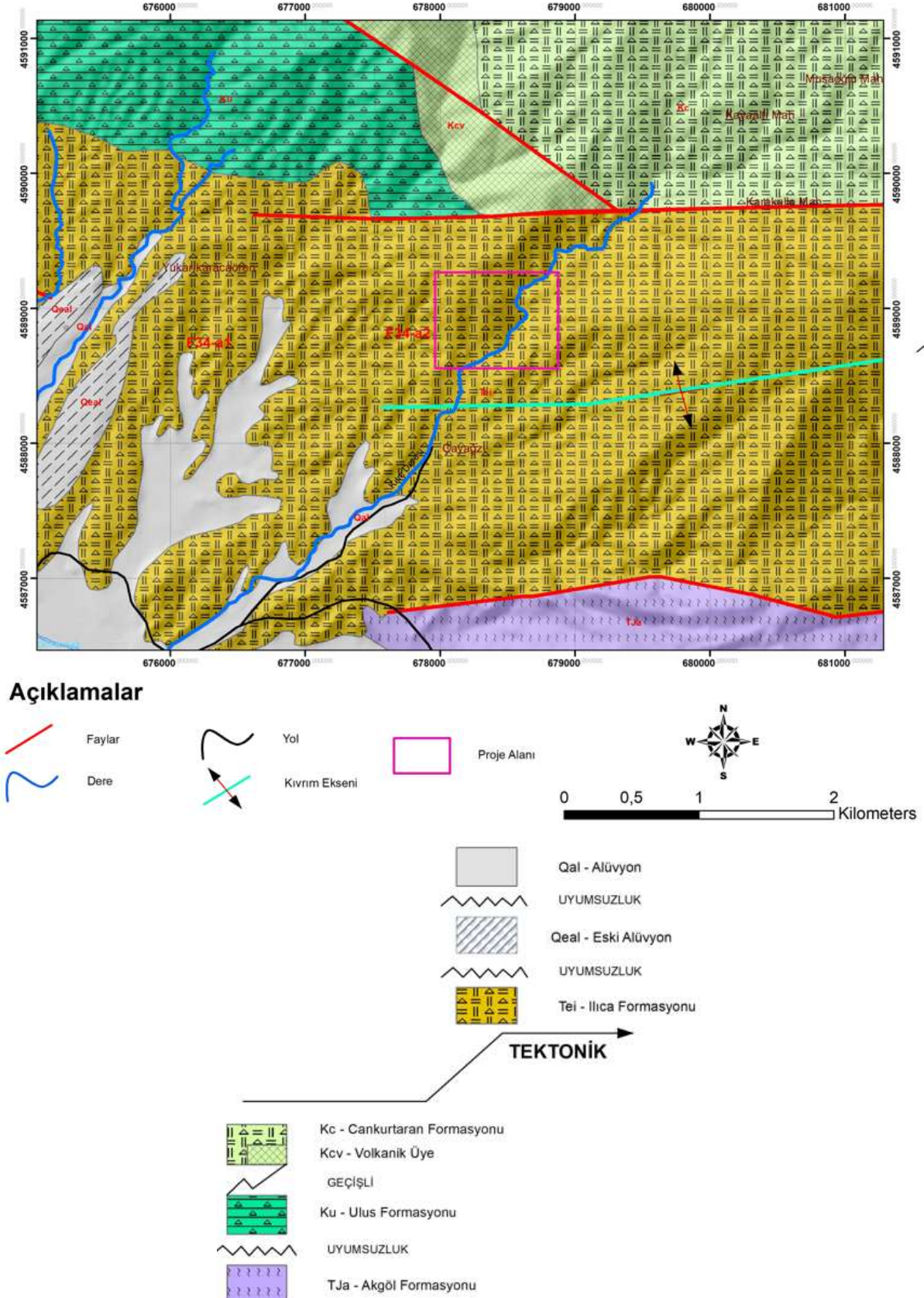
### **3.2. Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları**

Yeraltı barajının planlandığı bölgede, baraj gövdesinin oturacağı alanda taşıma gücü analizleri ve gövde için kazı şevlerinin duraylılık analizleri ve yapı malzemesi çalışmaları yapılmıştır. Ancak bu çalışmanın içeriğine uygun olarak sadece rezervuardaki hidrojeolojik özellikler özetlenerek verilmiştir. Baraj aks yeri ve rezervuar alanında toplam 8 adet temel sondaj kuyusu açılarak (Şekil 7), alüvyonun yayılımı ile kalınlığı belirlenmiştir. Ayrıca alüvyon ve altındaki temel kayanın geçirimsizlik özellikleri araştırılmıştır. Açılan sondajlarda aks yerinde tespit edilen alüvyonun kalınlığı en derin 13m olarak belirlenmiştir. Göl alanında ise 16m'ye varan kalınlıklarda olduğu görülmüştür [18].

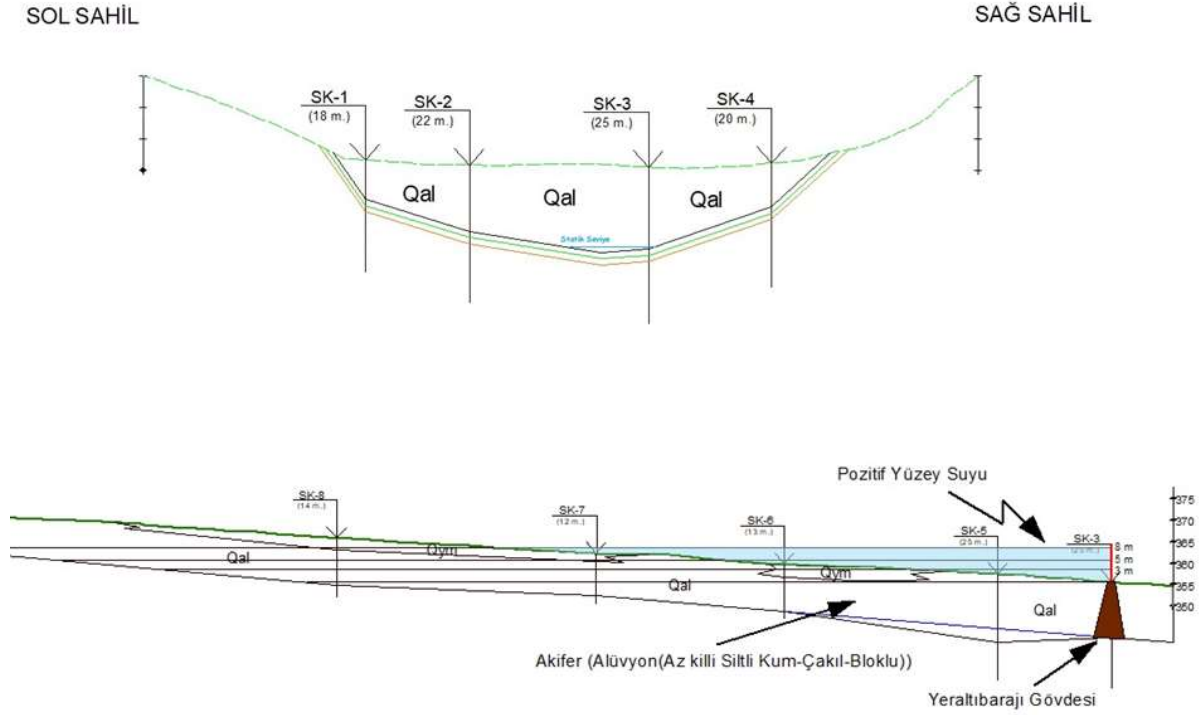
Aks yerinde yapılan basınçsız su testi (permeabilite) deneylerinde geçirimsizlik (K) değerleri  $8.97E-04$  -  $8.07E-02$  cm/s arasında belirlenmiştir. Buradan hareketle aks yerinde bulunan alüvyonun geçirimsiz-çok geçirimsiz olduğu anlaşılmaktadır. Yine aks yerinde yapılan ve alüvyon altındaki kilittaşlarında gerçekleştirilen basınçlı su testi (BST) deneylerinde de  $0.61$  –  $5.08$  L (Lugeon) arasında değişen değerler ile karşılaşmıştır. Yapılan deneylerde ana kayanın %9'u geçirimsiz, %86'sı az geçirimsiz, %5'lik bir kısmı ise geçirimsiz seviyeden oluşmakta olup çok geçirimsiz bir seviyeye rastlanmamıştır. Açılan temel sondaj kuyularında yapılan basınçlı/basınçsız su deneylerine göre alüvyonun geçirimsiz-çok geçirimsiz, alüvyon altındaki temel kayanın ise ağırlıklı olarak geçirimsiz ve az geçirimsiz özellik sunmasıyla alanın ideal bir yeraltı barajı yeri olabileceği kanaatine varılmıştır.

Temel sondajlardan elde edilen yeraltı su seviyelerinin mevsim itibariyle çok düşük olması nedeni ile su sondaj kuyuları açılarak pompaj testlerinin yapılması uygun görülmemiştir. Bu nedenle alüvyonun hidrojeolojik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yerinde geçirimsizlik deneyi (stand-pipe) gerçekleştirilmiştir. Alüvyonda gerçekleştirilen bu deneylerde  $7.37E-03$  ve  $1.05E-02$  cm/sn ortalama geçirimsizlik değerleri elde edilmiştir. Ayrıca yerinde su değiştirme deney yöntemi ile alüvyona ait porozite değerleri %20-22 arasında bulunmuştur. Serbest akifer olması nedeniyle depolama katsayısının poroziteye eşit olduğu kabul edilmiştir. Stand-pipe deneyinden elde edilen geçirimsizlik değerleri kullanılarak Darcy Yasası'na göre aks kesitinden alınabilecek su miktarı hesaplanmıştır. Buna göre, 80 m aks uzunluğuna sahip yeraltı barajı kesitinden alınabilecek su miktarı  $407.53$ – $580.61$  m<sup>3</sup>/gün olarak hesaplanmıştır. Baraj rezervuarında bulunan alüvyonun hacmi  $104.960$  m<sup>3</sup> olup depolama katsayısının %20 alınması durumunda  $20.922$  m<sup>3</sup> su depolanabilecektir.

Çayağzı Yeraltı Barajı yerinde açılmış olan herhangi bir su sondaj kuyusu, keson kuyu, kaynak vb. yeraltı suyu temin noktası bulunmamaktadır. Bu nedenle özellikle söz konusu alanın ana besleyici unsuru olan dereden su numunesi alınmış ve analizleri yaptırılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; pH 7.89, elektriksel iletkenlik (EC) 806 µS, bor 0.162 mg/L, RSC 1.29, SAR 1.16 ve sulama suyu sınıfı T3-A1 olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. İnceleme alanı ve çevresi genel jeoloji haritası [18]



Şekil 2. Aks yeri ve rezervuar boy kesiti ile sondaj yerleri [18]

#### 4. Tartışma ve Sonuçlar

Dünya üzerindeki nüfus artışı, insanoğlunun konforuna olan düşkünlüğü, tarım, hayvancılık ve enerji sektörlerindeki gelişmeler gibi faktörler tatlı suya olan ihtiyacı hızla artırmaktadır. Bunun yanında küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeni ile tatlı suya ulaşmak da gittikçe zorlaşmaktadır.

Dünya üzerindeki pek çok ülke tatlı su ihtiyacını karşılamak için yeryüzü barajları gibi geleneksel yapıların yanında yeraltı barajlarını da gündemlerine almaktadır.

Literatürdeki birçok çalışma geleneksel baraj inşası için beslenmenin ve jeolojik şartların uygun olmadığı yarı-kurak bölgelerde yeraltı barajı yapılmasının daha uygun ve ekonomik olabileceğini belirtilerek alternatif bir çözüm sunmuştur.

Bu kapsamda hidrolik döngüdeki sudan daha fazla faydalanabilmek adına yeraltı barajlarının öneminin artacağı açıkça görülmektedir. Birçok ülkede olduğu gibi ülkemizde de yeraltı barajlarının inşası gündemde olup, inşası devam eden birçok yeraltı barajı da bulunmaktadır.

Bu çalışmada yeraltı barajlarının genel özelliklerinden, geçmişten günümüze yapılan uygulamalardan bahsedilerek, yeraltı barajlarının teknik özelliklerine, yeryüzü barajlarına olan avantaj ve dezavantajlarına değinilmiştir.

Çalışmada verilen örnek uygulamada, çalışma alanındaki yaklaşık 16m kalınlığa sahip, yaz aylarında neredeyse hiç su bulandırmayan bir alüvyona yeraltı barajı inşa edilmesi için gerçekleştirilen çalışmaların bir kısmı özetlenmiştir. Alüvyon birimin gözeneklilik, depolama katsayısı ve iletkenlik gibi hidrojeolojik özelliklerine göre planlanan alanda bir yeraltı barajı inşa edilmesi durumunda, 20.922 m<sup>3</sup> su depolanabilecektir. 80m aks uzunluğuna sahip yeraltı barajı kesitinden 407.53–580.61 m<sup>3</sup>/gün'lük debi ile T3-A1 kalitesinde sulama suyu temin edilebileceği hesaplanmıştır. Sonuç olarak bütün bu veriler değerlendirildiğinde, yeraltı barajından uygun bir

çekim debisi planlaması ile yaz ayları boyunca sulama suyunun temin edilebileceği anlaşılmaktadır.

## **6. Katkı Belirtme**

Yazarlar bu makaledeki örnek çalışmanın alındığı “Sinop-Durağan-Çayağzı Yeraltı Barajı Planlama Aşaması Jeoteknik Etüd Raporu”nun hazırlanmasında emeği olan Jeoloji Mühendisi Mehmet Türkmen’e teşekkür eder.

## **7. Referanslar**

- [1] Atalık, A., “Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri”. Bilim ve Ütopya, 139: 18-21, 2006.
- [2] Gassert, F., Landis M., Luck M., Reig P., and Shiao, T., “Aqueduct Global Maps 2.0.” Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute, 2013.
- [3] DSİ, Toprak su kaynakları, 2021. <https://dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/754.14.10.2021>.
- [4] Ebrahimi, J., Moradi, H.R., Chezgi, J., “Prioritizing suitable locations for underground dam construction in south-east of Bushehr Province”, Environmental Earth Sciences, 80:680, 2021.
- [5] Ngigi, S.N., “What is the limit of up-scaling rainwater harvesting in a river basin”, hys Chem Earth Parts A/b/c 28(20–27):943–956, 2003.
- [6] Gomes, J.L, Vieira, F.P., Hamza, V.M., “Use of electrical resistivity tomography in selection of sites for underground dams in a semiarid region in southeastern Brazil”, Groundw Sustain Dev., 7:232–238, 2018.
- [7] Nishigaki, M., Kankam-Yeboah, K., Komatsu, M., “Underground Dam Technology in Some Parts of the World”, J. Groundw. Hydrol., 46, 113–130, 2004.
- [8] Telmer K., Best, M., “Underground dams: a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions”, TERRA, 1(1):63–65, 2004.
- [9] Lima, A.D.O., Lima-Filho, F.P., Dias, N.D.S., Reis Junior, J.A.D., Sousa, A.D.M., “Gpr 3D profile of the adequateness of underground dams in a sub-watershed of the Brazilian Semiarid”, Revista Caatinga, 31(2):523–531, 2018.
- [10] Apaydın, A., 2014, “Yer Seçiminde İşletmeye Yeraltı Barajları”, 245 s., DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 2014.
- [11] Apaydın A., Aktaş S.D., Kaya S., “Orta Anadolu bölgesinde kuraklıkla mücadelede alternatif öneri: Yeraltı barajları”, İklim Değişikliği ve Çevre, 2, 13-25, 2009.
- [12] Hansson, G., Nilsson, A., “Groundwater dams for rural water supplies in developing countries”, Ground Water, Vol.24, No.4, pp. 497- 506 , 1986.



- [13] Osuga, K., “The development of groundwater resources on the Miyakojima Islands In: Freshwater Resources in Arid Lands”, Eds: Uilto, JI & J. Schneider, United Nations University, Tokyo, 1997.
- [14] Prinz, D., Singh, A.K., “Technological Potential for Improvements of Water Harvesting, Study for the World Commission on Dams, Cape Town, South Africa”, Report: Dams and Development, 2000.
- [15] Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Imaizumi, M., “Sustainable use of groundwater with underground dams”, Japan Agricultural Research Quarterly, 45(1): 51-61, 2011.
- [16] Japan Green Resources Agency (JGRC), “Policy for Creating Plans for Subsurface Dams”, eds. Hasegawa, T. et al., Guide to Water Resource Development Using Subsurface Dams, pp. (2-1), (2-13), 2006.
- [17] Nilsson, A., “Groundwater Dams for Small-scale Water Supply”, Intermediate Technology Publications Ltd., London, 66p, 1988.
- [18] Öztürk, B., Türkmen M., “Sinop-Durağan Çayağzı Yeraltı Barajı Jeoteknik Etüt Raporu”, DSİ 7. Bölge Müdürlüğü, SAMSUN, 2021.