



## TÜRKİYE'DE YERALTI BARAJLARININ UYGULANABİLİRLİĞİ VE "YERALTI BARAJLARI EYLEM PLANI" NIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ahmet APAYDIN

Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, TÜRKİYE  
[ahmet.apaydin@giresun.edu.tr](mailto:ahmet.apaydin@giresun.edu.tr)

(Geliş/Received: 19.08.2021; Kabul/Accepted in Revised Form: 18.01.2022)

**ÖZ:** "Yeraltı Barajı Eylem Planı" (YEP) 22 Temmuz 2019 tarihinde Tarım Bakanı tarafından kamuoyuna "Cumhuriyetin 100. Yılı Şerefine 100 Yeraltı Barajı" ve "Yerinde ve derinde depolama" sloganlarıyla duyurulan bir projedir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yürütülen bu eylem planına göre 2019-2023 yılları arasında Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde en az 100 yeraltı barajı ve yeraltı suyu yapay besleme tesisi yapılması planlanmıştır. Bu tür projeler için ülkemizde uygun yerler bulunmakla birlikte, eylem planının uygulanmasında bazı sorunlar bulunmaktadır. YEP başlangıcında Türkiye'de yeraltı barajları ve yeraltı suyu yapay besleme yöntemleri konusunda deneyimin sınırlı olması nedeniyle doğru yerlerin seçimi, en uygun projenin uygulanması ve işletme-bakım konusunda başarısızlıkların olması söz konusudur. Projede karar vericiler tarafından belirlenen sınırlı süre ve skor hedefi uygulayıcıları acele davranarak hataya zorlayabilecek hususlarıdır. Bununla birlikte, Türkiye'de ve dünyadaki mevcut örneklerden mühendisler, yöneticiler ve üst düzey karar vericiler tarafından gerekli derslerin çıkarılması ve böylece uygulamaların en az hata ile gerçekleşmesi beklenmektedir. YEP, yukarıda belirtilen sorunlara rağmen, ülkemizde küçük ve orta ölçekli ihtiyaçları karşılamak amacıyla su kaynaklarının geliştirilmesi için bir fırsat olarak da düşünülebilir. YEP'den elde edilecek deneyimlerin, başarı ve başarısızlık yönleriyle gelecekte uygulanacak projelere aktarılması son derece faydalı olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Yeraltı barajı, Yapay besleme, İklim değişikliği, Kuraklık, Eylem planı, Türkiye

### Applicability of Underground Dams in Turkey and Evaluation of the "Underground Dams Action Plan"

**ABSTRACT:** The "Underground Dams Action Plan" (YEP) is a project announced to the public by the Minister of Agriculture on July 22, 2019, with the slogans "100 underground dams in honour of the 100<sup>th</sup> anniversary of the Republic" and "local and underground storage". According to this action plan carried out by the General Directorate of State Hydraulic Works (DSI), it was planned to construct at least 100 groundwater dams and groundwater artificial recharge facilities in various regions of Turkey between 2019 and 2023. Although there are suitable sites for such projects in our country, there are some problems in the implementation of the action plan. As of the beginning of the YEP, due to the limited experience in groundwater dams and groundwater artificial recharge methods in Turkey, there may be some failures in selection of the suitable sites, implementing the most appropriate project, and operating-maintenance. The limited time and score target determined by the decision makers in the project are the issues that can force the practitioners to make mistakes by acting hastily. However, it is expected that the necessary lessons will be learned by engineers, managers and senior decision makers from the existing examples in Turkey and in the world, so that the applications will be realized with the least mistakes. Despite some problems mentioned above, it will be extremely beneficial to transfer the

experiences to be gained from the YEP to the projects to be implemented in the future, in terms of success and also failure.

**Keywords:** *Underground dam, Artificial recharge, Climate change, Drought, Action plan, Turkey*

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çoğunlukla yarı kurak iklimin egemen olduğu Türkiye’de yıllık ortalama yağış kıyı bölgeleri ve yüksek dağ kuşakları haricinde 500 mm’yi geçmemekte, Anadolu’nun orta bölgesinde geniş bir alanda 400 mm’nin altına düşmektedir (Ceylan ve diğ., 2009; Selman ve diğ. 2019). Bu bölgelerde yağışlar genellikle daha çok kış ve ilkbahar mevsimlerinde görülmekte, ancak suya en çok yaz aylarında ve sonbaharın başlarında ihtiyaç duyulmaktadır.

Tarihsel dönemlerde ciddi kuraklıklar yaşanan Türkiye’de (Apaydın ve Ocakoğlu 2020; Altındaş 2018; Karademir 2014; Uyanık ve Sarı 2011; Erler 1997, 2010), iklim değişikliği nedeniyle kuraklıklar daha sık ve şiddetli hale gelmiş, su ihtiyacının artışı ile toplumu daha çok etkiler duruma gelmiştir. Örneğin, İç Anadolu Bölgesi’nde yer alan başkent Ankara’da yakın geçmişte kuraklıklar yaşanmıştır (Akbaş, 2014; Carter ve diğ. 2012; Evcimen ve Tiğrek, 2012; Ceyhan ve diğ. 2009). 1986-87, 1994, 2006-2008 ve 2015-2020 kuraklıklarında içme suyu barajlarındaki su rezervleri önemli ölçüde azalmış, alternatiflerin günümüzden daha sınırlı olduğu ilk üç kuraklıkta başkent ciddi bir su krizi yaşamıştır. Bu ve buna benzer kurak dönemlerde sadece Ankara ve diğer büyük şehirlerin değil, küçük yerleşimlerin de içme suyu kaynakları etkilenmiş, çoğunlukla tarımsal sulamada kullanılan kuyulardaki yeraltı suyu seviyeleri önemli ölçüde düşmüştür (Baris and Karadag 2007; Apaydın 2010, 2011, 2012). Bazı bölgelerde aşırı kullanımın da etkisi ile kalıcı düşüşler yaşanmıştır (Bozyiğit ve Tapur 2009; Göçmez ve İşçioğlu 2004). 2021 yılına gelindiğinde, Türkiye’nin birçok bölgesi için hem gıda ve su güvenliği hem de sucul ekosistemler yönüyle kuraklık olayının ilgili kurum ve kuruluşlar, sivil toplum örgütleri ve halk tarafından çokça konuşulduğu, basın ve medyada sık sık haber yapıldığı görülmektedir.

Aslında iklim değişikliği, küresel ısınma ve kuraklık konusu 21. Yüzyılın ilk yıllarından itibaren ülkemizde sürekli gündemde olan bir konudur. Yetkili resmî kurumlar, kuraklığa karşı yerel, bölgesel veya ülke çapında bazı önlemler almaya çalışmaktadır. Su kaynakları ve su temini konusunda sorumlu ve yetkili kurum olan DSİ tarafından kentlerin su ihtiyacının karşılanması, büyük ölçekli sulama ve enerji sağlama amaçlı irili ufaklı depolama tesisleri inşası hız kazanmıştır. Çoğunluğu kırsal kesime ve küçük-orta ölçekli sulamaya yönelik olarak ülke çapında veya bölgesel projeler de söz konusudur. "Bin Günde Bin Gölet" ve "Yeraltı Barajları Eylem Planı" ülke çapında iki güncel örnektir. İlki 2015 yılında tamamlanmış, ikincisi ise halen proje ve uygulama aşamasındadır.

Yeraltı barajları eylem planı (bu makalede kısaca YEP olarak kullanılacaktır), "Cumhuriyetin 100. Yılında 100 Yeraltı Barajı" sloganıyla 22 Temmuz 2019 tarihinde bir açılış toplantısıyla Tarım Bakanı tarafından kamuoyuna duyurulmuştur. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından yürütülen bu eylem planına göre, 2023 yılı sonuna kadar ülkenin çeşitli bölgelerinde en az 100 yeraltı barajı veya yeraltı suyu yapay besleme tesisinin inşa edilmesi hedeflenmiştir. Bakanlığın basın açıklamalarına ([www.turktob.org.tr](http://www.turktob.org.tr); [www.aa.com.tr](http://www.aa.com.tr); [www.gazeteduvar.com.tr](http://www.gazeteduvar.com.tr); [www.sabah.com.tr](http://www.sabah.com.tr); [www.tarimorman.gov.tr](http://www.tarimorman.gov.tr); erişim tarihi 01.05.2020)\_göre, bu proje ile yeraltında yaklaşık 50 milyon metreküp su depolanacaktır. Bu miktar 750 bin kişiye içme suyu sağlayabilecek veya 80 bin dekar araziye sulayabilecek kapasitededir. 60 milyon TL net tarımsal gelir artışı sağlanabileceği tahmin edilmektedir. Bir süre sonra Tarım Bakanı tarafından 15 Kasım 2019 tarihinde yapılan açıklamada, eylem planı kapsamında 10 yeraltı baraj inşaatının 2020 yılında başlayacağı ve 2021 yılında tamamlanacağı duyurulmuştur ([www.toki.haber](http://www.toki.haber), erişim tarihi 01.05.2021).

Yeraltı barajı, yeraltında inşa edilen bir perde gerisinde yeraltı suyunu depolamak veya var olan yeraltı suyunu arttırmak için inşa edilen bir bariyerdir. Hanson ve Nilsson (1986) ve Nilsson (1988) yeraltı barajlarını yapım şekli ve işlevlerine göre subsurface dam ve sand storage dam (sediment

depolama barajı) olarak ikiye ayırmışlardır. İlki (bazı yayınlarda underground dam kullanılır), yeraltı suyunu doğal akiferde depolamak için doğal zemin seviyesinin altına inşa edilir. Sediment depolama yapıları ise yer üstünde inşa edilir (Nilsson, 1988; Ertsen ve Hut, 2009). Yeraltı barajları genellikle su temini ve sahil akiferlerinde tuzlu su girişimini önlemek için inşa edilir. Su; topografik, jeolojik, teknik ve ekonomik koşullara bağlı olarak pompalama veya cazibe ile elde edilebilir (Apaydın 2014, 2019; Apaydın ve diğ., 2015).

YEP kapsamında yeraltı barajlarıyla birlikte yeraltı suyu yapay besleme yöntemlerinin uygulanması da söz konusudur. Kuraklığa karşı çözüm modeli olarak ilan edilen ve ülke gündeminde 2021 başına kadar sık sık yer alan YEP ile ilgili bazı sorunlar veya endişeler söz konusudur. Bu makalede YEP, ülkemizde son 20 yılda inşa edilen projelerden elde edilen deneyimler ışığında değerlendirilmektedir. Ayrıca sektördeki mühendislere, yöneticilere ve üst düzey karar vericilere bazı önerilerde bulunulmasını amaçlanmaktadır.

## **DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE YERALTI BARAJLARININ TARİHSEL GELİŞİMİNE KISA BİR BAKIŞ (A BRIEF OVERVIEW OF THE HISTORICAL DEVELOPMENT OF GROUNDWATER DAMS IN THE WORLD AND IN TURKEY)**

Suyu yeraltında depolamak yeni bir yöntem değildir. Roma döneminde Sardunya Adası ve Tunus'ta yeraltı barajlarının yapılmış olması (Ertsen & Hut 2009), bu işin Kuzey Afrika'da antik çağlardan beri yapıldığını göstermektedir. Son 50-60 yılda dünyanın pek çok bölgesinde, özellikle Güney ve Doğu Afrika ve Hindistan'da çeşitli büyüklükte yeraltı barajları yapılmaya başlanmıştır (Hanson & Nilsson 1986; Nissen-Petersen 1982; Nilsson 1988; Foster ve diğ. 2002; Zarkesh ve diğerleri 2012). Eski yeraltı barajlarının kapasiteleri yakın zamandaki barajlardan daha küçüktür ve kırsal küçük yerleşimlerde evsel ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Yeraltı barajları, 1990'lardan itibaren daha büyük yerleşim yerlerinin içme suyu ihtiyacının karşılanması ve geniş tarım alanlarının sulanması için inşa edilmiştir.

Literatürde, 20. yüzyılın son çeyreğinden önce inşa edilen yeraltı barajları ile ilgili çok az veri vardır. Nilsson (1988) tarafından yazılan "Küçük ölçekli su temini için yeraltı barajları" (Ground Water Dams for Small-Scale Water Supply) adlı kitap, dünyanın farklı bölgelerindeki uygulamaları ve teknikleri toparlayan önemli bir yayındır. Bu yayın, yeraltı barajları üzerinde çalışan sınırlı sayıda araştırmacı için en önemli rehberdir. Daha yakın tarihli başka bir yayın, Japonya Doğal Kaynaklar Ajansının (Japan Green Resources Agency) teknik referansdır (JGRA, 2004). Bunların haricinde, son 40 yılda dünyanın çeşitli bölgelerinde inşa edilen yeraltı barajları hakkında çok az yayın bulunmaktadır. Geçen yüzyılın ikinci yarısında İran'da (Hartung ve diğ. 1987) ve 2000-2001'de Hindistan'da (Raju ve diğ. 2006) birkaç adet, Kore'de son yüzyılda 6 yeraltı barajı inşa edilmiştir (Trust Builder 2007). 1990'lardan sonra Çin ve Japonya'da bazı büyük yeraltı barajları inşa edilmiştir (Nagata ve diğ. 1993; Ishida ve diğ. 2003; Apaydın, 2014), 1990'larda Brezilya'da kuraklığa karşı kırsal bölgelerde yaklaşık beş yüz küçük ölçekli yeraltı suyu depolama yapısı (Foster ve diğ. 2002; Foster ve Tuinhof, 2004) ve Kenya'da bazı sediment depolama barajları inşa edilmiştir (Hut ve diğ. 2007; Ertsen ve Hut, 2009). Dünyada son zamanlarda çeşitli amaç ve ölçekte su temini (Ishida ve diğ., 2011; Zarkesh ve diğ., 2012; Ouerdachi ve diğ., 2012; Raju ve diğ., 2013; Jamali ve diğ., 2013; Cantalice vd, 2016; Luiz vd, 2018) ve tuzlu su girişimini önlemek amacıyla (Kaleris ve Ziogas 2013; Botero-Acosta ve Donado 2015; Abdoulhalik ve Ahmed 2017; Chang vd, 2019) yeraltı barajları konusunda çalışmalar yapıldığı görülmektedir.

Türkiye'de eski Toprak ve Su Genel Müdürlüğü ile Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü 1960 ile 2003 yılları arasında bazı küçük yeraltı barajları inşa etmiştir. Bu barajlar sulama ve evsel su temini için kullanılmıştır. Çorum-Sungurlu Çavuşçayı havzasında (Çelik ve Yıldırım 2006), Çankırı-Alanpınar köyünde (Apaydın ve diğ., 2005) ve Ankara-Nallıhan-Kabaca köyünde (Apaydın ve Kaya 2017) bulunan eski yeraltı barajları bunlara örnektir. Bu yapılar, geçirimsiz bir perdenin arkasında yeraltı suyunu biriktiren ve cazibe ile bir iletim hattına aktaran yapılardır. Gövde genellikle beton veya kil dolgu şeklinde imal edilmiştir. Bazılarının gövdeleri geçirimsiz formasyona kadar inerken (Apaydın, 2014) bazılarında ise gövde askıda bırakılmıştır (Çelik ve Yıldırım, 2006).

2000’li yılların başında Türkiye’nin yarı kurak bölgelerinde çeşitli kurumlar tarafından daha büyük ve daha işlevsel yeraltı barajları inşa edilmiştir (Apaydın ve diğ., 2005; Apaydın 2009; Apaydın 2014; Apaydın ve diğ. 2015). Yahsihan (Kırıkkale) ve Malıboğazi (Ankara) yeraltı barajları, Türkiye’de 21. yüzyılın başlarındaki ilk deneyimlerdendir. İlki, Yahsihan ilçesinde 2003 yılından beri içme amaçlı kullanılmaktadır. Malıboğazi Yeraltı Barajı, sulama amacıyla 2004 yılında inşa edilmiştir. Su, her iki barajdan da cazibeyle elde edilmektedir. Öte yandan, çevredeki dört köye içme suyu sağlamak amacıyla 2005 yılında Kırıkkale’ye bağlı Aşağı Olunlu köyünde küçük bir yeraltı barajı inşa edilmiştir. Bahşılı yeraltı barajı, Bahşılı beldesinin içme suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 2009 yılında Kırıkkale Valiliği denetiminde Bahşılı Belediyesi tarafından inşa edilmiştir (Apaydın, 2014).

İskilip, İç Anadolu Bölgesi’nin kuzey sınırında yer alan, 20 binin üzerinde nüfusa sahip bir ilçedir. 2007 yılında DSİ tarafından içme suyu kapasitesini artırmak amacıyla ilçenin yakınında bir yeraltı barajı inşa etmek üzere bir araştırma başlatılmış, üç yıllık bir araştırmanın ardından 2010 yılında yaklaşık dört ayda yapımı tamamlanmıştır (Apaydın, 2014). Belediye yetkililerinden alınan bilgiye göre bu baraj İskilip’e yılda ortalama bir milyon metreküp suyu pompaj maliyeti olmadan sağlamaktadır. Pompa ile çalışan ve enerji maliyeti yüksek olan kuyular artık çalıştırılmamaktadır.

İç Anadolu’da 2003-2010 yılları arasında inşa edilen yeraltı barajları ile ilgili yayınlar ve basında çıkan haberler konuya az da olsa dikkat çekmiş, böylelikle yeraltı barajları inşa ederek su elde etme fikri DSİ ile birlikte valilik ve belediyelerin gündemine girmiştir. Sancar yeraltı barajı Eskişehir Valiliği tarafından Seyitgazi ilçesine 2007 yılında, Baskil yeraltı barajı ise Elazığ Valiliği tarafından 2011 yılında yapılmıştır (Apaydın, 2014). İlgililerden alınan yeni bilgilere göre her ikisi de sulama amaçlı olarak verimli bir şekilde çalışmaktadır.

Ülkemizde son zamanlarda uygulamaya konan ilginç projelerden biri Ankara’nın Elmadağ ilçesindeki Kargalı barajıdır. Bu barajın hem yerüstü hem de yer altı depolaması vardır (Apaydın ve Zengin 2016). İnşaat 2011 yılında başlamış ve baraj 2013 Aralık ayında hizmete girmiştir. Literatürde bu tür barajlara batık baraj anlamına gelen “submersible dam” (dos Santos ve Frangipani 1978; Silva ve Rego Neto 1992) adı verilmektedir.

Yukarıda belirtilen farklı özelliklere sahip yeraltı barajlarına ek olarak, az sayıda yeraltı suyu yapay besleme çalışmaları da bulunmaktadır. Ceylanpınar Ovaları Sulama Projesi (Güneydoğu Anadolu Bölgesi) bünyesinde yer alan 13 yeraltı suyu yapay besleme barajının planlama ve kesin proje çalışmaları 2013 yılında yapılmıştır. İki barajın (Cudi ve Büyük Cırcıp) yapımına 2013 yılında başlanmış ve 2015 yılında tamamlanmıştır. Diğer barajlar yeraltı suyu besleme ve taşkın kontrolü amaçlıdır. Büyük Cırcıp baraj rezervuarı, üst katmanda yaklaşık 15 m kalınlığa sahip akarsu çökeltilerini ve ardından 55 m derinliğe kadar geçirimsiz bir ana kaya (kireçtaşı) alt katmanını içerir. Kireçtaşının geçirimsizliği, alüvyonun hidrolik iletkenliği ve derenin güncel çökellerinden daha fazladır. (Ali ve Doğan 2017)’ye göre baraj gölünden yeraltı suyuna beslenim 10 hm<sup>3</sup>/yıldır.

Yukarıda kısaca özetlenen çalışmaların ardından DSİ, 2016 yılında Jeoteknik Etüt Şartnamesi’ni yeraltı barajları konusunu da kapsayacak şekilde güncellemiş ve yeniden yayınlamıştır (DSİ 2016). Ayrıca, YEP kapsamında "Yeraltı Barajı Teknik Raporu" ve "Yapay Besleme Teknik Raporu" kılavuzları hazırlanmıştır.

## **TÜRKİYE’NİN YERALTI BARAJI İHTİYACI VE YERALTI BARAJI YAPIMINA UYGUNLUĞU (NEED FOR GROEUNDWATER DAM AND SUITABILITY FOR GROUNDWATER DAM CONSTRUCTION OF TURKEY)**

Türkiye’de büyük ihtiyaçları karşılamak amacıyla su elde etmede klasik yöntem yerüstü barajlarında depolama, akarsulardan çevirme ve kuyulardan yeraltı suyunu pompalama şeklindedir. Ayrıca, kaynak suları da içme suyu ve tarımda kullanılmaktadır. Depolama yapısı olarak yeraltı barajları henüz yaygın değildir. Çoğu yerde, öncelikle jeolojik ve topografik koşulların uygun olmaması nedeniyle yerüstü barajlarının yapımı zordur. Başta arazi kaybı, sucul ekosistemlere etkileri, diğer çevresel etkiler, yüksek maliyet ve buharlaşma kayıpları gibi olumsuzluklar yerüstü barajları için önemli tartışma konularıdır.

Günümüzde Türkiye'de büyük depolama yapılarının inşaatı neredeyse tamamlanmıştır. Büyük ve orta ölçekli projelerin tamamlanmasından sonra küçük ve alternatif projelere yönelmek gerekmektedir. Öte yandan, özellikle sulama ve içme suyu amacıyla inşa edilen yerüstü depolamaları uzun ve şiddetli kuraklıklara karşı sürdürülebilir değildir. Özellikle yarı kurak iklime sahip bölgelerdeki küçük rezervuarlara giren akımlar yıllara göre çok değişiklik gösterebilmektedir. Su hacimlerinde yıldan yıla meydana gelen büyük değişimler ve düzensizlikler su kullanıcılarını ve dağıtıcılarını zorlamakta, bazen planlarını altüst etmektedir. Böylesine istikrarsız bir durum, sürdürülebilir su temini ve planlı tarımsal üretim için bir tehdit oluşturmaktadır. Yeraltı barajları, birçok yönden yerüstü barajlarına göre daha avantajlıdır. Buharlaştırma kaybının olmaması ve kuraklıklardan yerüstü depolamalarına göre daha geç etkilenme durumu önemli avantajlarıdır.

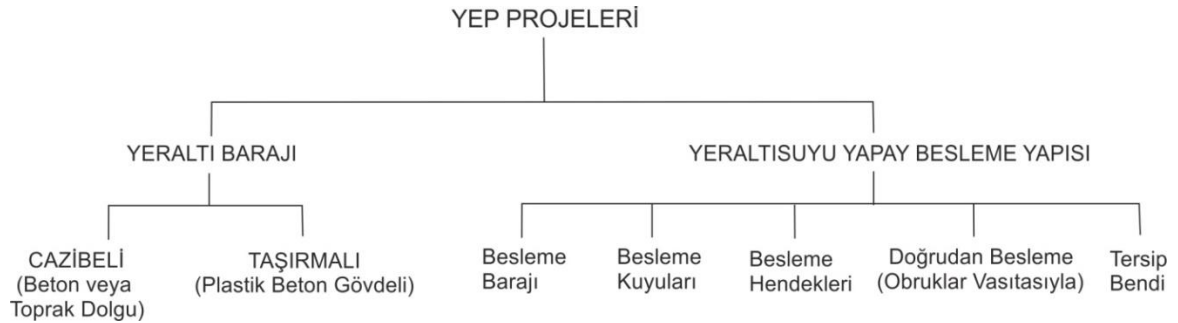
Türkiye'de su sağlayan kurumlara ve hükümetlere göre baraj yapımının temel nedeni su ve gıda güvenliğinin sağlanmasıdır. Türkiye çevresi hâlihazırda fiziksel ve ekonomik su kıtlığının yaşandığı bir bölgedir ve gelecekte kıtlık olgusunun derinleşeceği öngörülmektedir (Körbalta, 2019). Bu endişenin temel nedeni; nüfus artışı nedeniyle su talebinin artması ve iklim değişikliğinin doğurduğu olumsuzluklardır. Yeraltı barajları ve yeraltı suyu yapay besleme teknikleri yeraltı suyu seviyesinin aşırı kullanım nedeniyle düşük olması veya iklim salınımından dolayı dalgalanma olması koşullarında bir çözüm olarak düşünülebilir. Türkiye'nin birçok yerinde, özellikle Orta ve Doğu Anadolu'da, büyük akarsular boyunca uzanan vadiler geniş kesitlidir ve yeraltı barajı için uygun değildir. Ana vadilere bağlanan ikincil veya daha küçük vadiler boyunca alüvyon akiferlerin daraldığı yerler yeraltı barajının inşası için uygun olabilir. Ayrıca, jeojenik kökenli su kalitesi dağılımı da yeraltı barajı inşasını gerektirebilmektedir. Örneğin, Ankara-Kırıkkale-Çankırı-Çorum-Yozgat sınır bölgesinde, yeraltı suyu ve yerüstü suyu kalitesi genellikle Kızılırmak, Delice ve Budaközü ile bunlara bağlanan yan kolların alt bölgelerinde evaporitik formasyonlar ve drenaj sorunları nedeniyle tuzludur. Yan kolların vadileri boyunca üst havzalara doğru gidildikçe su kalitesi iyileşmektedir. Bu koşullarda tatlı suların yukarı bölgelerde yerüstü barajları ile birlikte yeraltı barajlarında depolanması uygun çözümlerden biri olabilir. Ayrıca, şiddetli yağışlardan sonra yüksek erozyon nedeniyle küçük vadiler boyunca sediment malzeme birikimi meydana gelmektedir. İnşa edilecek sediment depolama barajları (tersip bendi) hem jeolojik malzemeyi depolama görevi yapacak, hem de küçük ihtiyaçların karşılanması için su depolayabilecektir. Bu küçük ve düşük maliyetli yapılar aynı zamanda tarım alanlarını ve yerleşim yerlerini taşkınlarla karşı korumuş olacaktır. Öte yandan, kıyı bölgelerindeki akiferlerde tuzlu su girişimine karşı yeraltı barajları inşa edilebilir.

Yeraltı barajlarının, doğru teknik ve kaliteli malzemelerle inşa edilmesi halinde en az 50-60 yıl ömrü vardır. Üstelik, süresi dolduğunda barajın arkasına yeni bir baraj inşa etmek çoğu zaman mümkündür. Bu, yerüstü rezervuarları için çoğunlukla mümkün değildir. Özellikle tersip bentleri malzeme ile dolduğunda, arkasında yenilerini inşa etmek daha kolaydır. Bu tesisler, özellikle tarımsal sulama amaçlı olarak kullanılabilir.

#### **YERALTI BARAJLARI EYLEM PLANI'NIN GENEL ÖZELLİKLERİ (GENERAL FEATURES OF THE GROUNDWATER DAMS ACTION PLAN)**

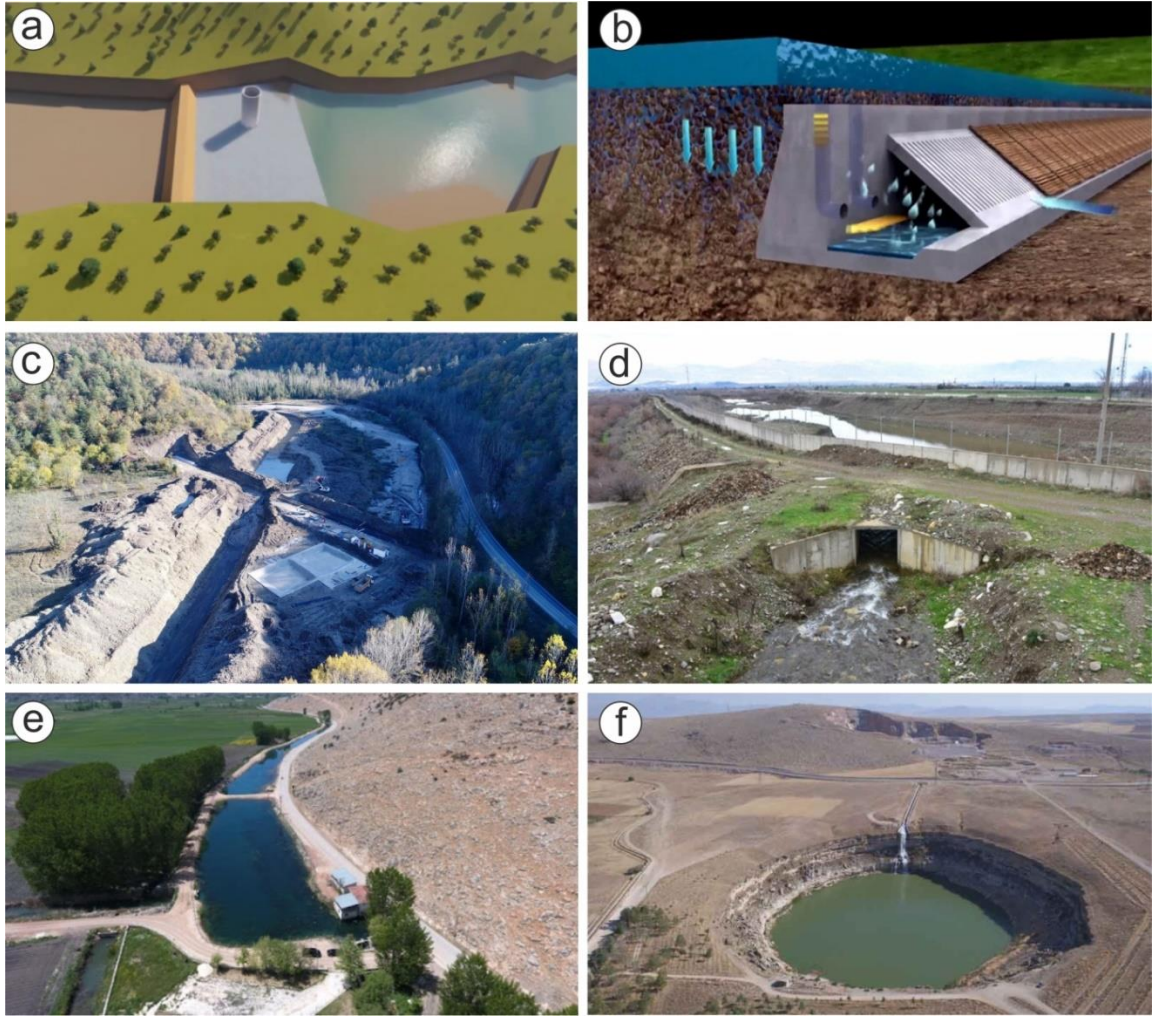
1955 yılında kurulan DSİ, ülkemizin çeşitli bölgelerinde birçok baraj ve gölet inşa etmiştir. Kurum, baraj projelerini ve inşaatlarını özel şirketlere yaptırmakta ve kontrol hizmetlerini kendisi yürütmektedir. YEP kapsamında yürütülen projelerde ise yöntem biraz farklıdır. Yer seçimi, jeolojik-jeoteknik araştırmalar, sondajlar, yerinde ve laboratuvar testleri ve ilgili diğer çalışmalar çoğunlukla DSİ tarafından yürütülmektedir. Ayrıca planlama ve proje raporlarının çoğu kurum tarafından hazırlanmakta, bir kısmı özel şirketlere yaptırılmaktadır. YEP kapsamında başlatılan projeler hakkında henüz bir yayın veya kamuoyu ile paylaşılan herhangi bir rapor bulunmamaktadır. Projedeki gelişmeler hakkında bilgi, basından ve kurum yetkilileri ile görüşülerek elde edilebilmektedir. Süreç dinamik olduğu için proje sayısı her an değişebilmektedir. Alınan bilgilere göre yeraltı barajı ve yeraltı suyu yapay besleme barajı olmak üzere iki ana proje türü söz konusudur (Şekil 1). Vadi alüvyonlarında yapımı planlanan veya inşaatı başlayan yeraltı barajları çoğunlukta. Bu yapıların çoğundan suyun cazibeyle

ile elde edilmesi amaçlanmaktadır. Anlaşıldığı kadarıyla, çok büyük bir kesit ve kalınlığa sahip akiferlerin yanı sıra, karmaşık modellerden kaçınılmaktadır. Örneğin plastik beton perde (slurry trench) gövde tipi şimdilik pek tercih edilmemektedir. Böyle bir yeraltı barajının inşaatına 2020 yılı sonunda Bartın’da, içme suyu amaçlı olarak başlanmıştır. Bartın ve Amasra ilçesine su sağlanması planlanan bu barajda gövde yüksekliği 40 m’dir. YEP kapsamındaki yeraltı barajları için gövde yapımında çoğunlukla kil ve betonun tercih edildiği görülmektedir. YEP kapsamında bulunan yeraltı suyu yapay besleme projeleri beş tiptir. Birincisi; yerüstü sularını yağışlı mevsimlerde akifer ile yüzeyde buluşturan ve besleme hendekleri vasıtasıyla yeraltına sızmayı sağlayan yapılardır. İzmir-Tire’de uygulaması yapılmıştır. Yeraltı suyu besleme yapılarından ikinci tip, daha önce Cırcıp’ta yapılan benzer şekilde beton veya toprak gövde arkasında depolanan yerüstü suyunun rezervuarda yeraltı suyunu beslemesi şeklindedir. Üçüncü tip yeraltı suyu besleme yöntemi ise, yerüstü sularını obruklar vasıtasıyla yeraltına verilmesidir. Bunun ilk örneği Mavi Tünel’den Hotamış depolamasına su ileten kanaldan tahliye prizi vasıtasıyla Timraş Obruğu’na doğrudan su verilmesidir. Besleme kuyuları yöntemi ise yerüstü sularının kuyu vasıtasıyla akiferle buluşturulmasıdır. Bunun bir örneği, Eskişehir-Seyitgazi’de uygulanmıştır. Kireçtaşı üzerindeki 7 m kalınlığındaki geçirimsiz alüvyal malzeme 15\*20 m’lik bir alanda sıyrılarak kaldırılmış, bu hendek içinde 40 m derinliğinde 12 inç boru çaplı kuyu inşa edilmiş, kuyu etrafı yuvarlak şekilli filtre malzeme ile doldurulmuştur. Mevsimsel akışlı olan dere bu besleme odasına yönlendirilerek suyun kuyu vasıtasıyla yeraltı suyunu beslemesi sağlanmıştır. İlk birkaç ay içinde bölgedeki yeraltı suyu seviyesinde belirgin bir yükselme gerçekleşmiştir. YEP kapsamında yukarıdaki yöntemlerin yanısıra, daha önce Antalya bölgesinde uygulanan, kaynakların boşalım kotunun yükseltilmesi suretiyle akifer içinde depolamanın artırılması şeklindeki model de uygulanmaya başlamıştır. Bunun bir örneği Antalya-Elmalı’da bulunan Kazanpınar kaynaklarıdır (Şekil 2). Ülkemizde sediment tutucu olarak inşa edilen yapıların su depolama amacıyla da kullanılabileceği dikkate alınarak, YEP kapsamındaki ilk örnekler İzmir ve Artvin’de uygulamaya konmuştur.



**Şekil 1.** YEP kapsamındaki proje çeşitleri

*Figure 1.* Project types within the scope of YEP.



**Şekil 2.** YEP kapsamındaki bazı projelerden görüntüler, a,b: yeraltı barajı modelleri ([www.trthaber.com](http://www.trthaber.com)), c: Bartın Bahçecik yeraltı barajı plastik beton perde inşaatı ([www.bartınmanset.com](http://www.bartınmanset.com)), d: İzmir-Tire yeraltı suyu besleme hendeklerine suyun verilışı ([www.yenisafak.com](http://www.yenisafak.com)), e: Boşalım kotu yükseltilen Elmalı-Kazanpınar kaynakları ([gollerbolgesigazetesi.com](http://gollerbolgesigazetesi.com)), f: Timraş Obruğu'na kanaldan su akıtılarak yapay besleme ([anadoludabugun.com.tr](http://anadoludabugun.com.tr), internet sitelerine son erişim tarihi 20.07.2021)

**Figure 2.** Images from some projects within the scope of YEP, a,b: models of groundwater dams ([www.trthaber.com](http://www.trthaber.com)), c: Construction of slurry wall dam for Bartın Bahçecik groundwater dam ([www.bartınmanset.com](http://www.bartınmanset.com)), d: Diversion of water to İzmir-Tire groundwater recharge ditches ([www.yenisafak.com](http://www.yenisafak.com)), e: Elmalı-Kazanpınar springs with increased discharge elevation ([gollerbolgesigazetesi.com](http://gollerbolgesigazetesi.com)), f: Artificial recharge by diversion of water into Timraş sinkhole from the transmission canal ([anadoludabugun.com.tr](http://anadoludabugun.com.tr), internet site access date 20.07.2021).

2021 yılının ilk günlerinde Tarım Bakanı tarafından yapılan açıklamada, 2020 sonu itibariyle 19 projenin inşaatının tamamlandığı, tamamlanmış proje sayısının kısa zamanda 25'e çıkacağı ifade edilmiştir. Bu açıklamaya göre tamamlanan projeler Çankırı'da 3, Konya, Manisa ve Bursa'da 2'şer adet olmak üzere, İzmir, Eskişehir, Antalya, Kütahya, Balıkesir, Nevşehir, Kayseri, Niğde, Malatya ve Kayseri'de bulunmaktadır. Bunun haricinde 17 projenin inşaat, 8 projenin ihale ve 50 projenin ise planlama-proje aşamasında bulunduğu, YEP kapsamındaki projelerin toplam maliyetinin 1 milyar lira olarak öngörüldüğü, projelerin tamamlanmasıyla 40 milyon metreküp su depolama, 600 bin kişiye içme suyu olanağı, 60 bin dekar arazinin sulanması ve 45 milyon lira gelir artışı gibi faydalar sağlanacağı ifade edilmiştir ([www.aa.com.tr](http://www.aa.com.tr)). Aynı tarihli açıklamaya göre, 2023 yılı sonuna kadar tamamlanması planlanan projelerin il bazında dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Bu haritada 100 adet olan sayının, 2020 yılı Kasım ayında yapılan açıklamada 2023'e kadar 150'ye çıkarılacağı ifade edilmiştir ([tr.sputniknews.com](http://tr.sputniknews.com)).

Bu sayı, 23 Ocak 2021 tarihinde Cumhurbaşkanı tarafından da kamuoyuna duyurulmuştur (posta.com.tr, erişim tarihi 20.07.2021)



Şekil 3. YEP kapsamında gerçekleştirilmekte olan projelerin 2021 yılı başında illere dağılımı

Figure 3. Distribution of the YEP projects to the provinces at the beginning of 2021

### YEP'İN BAŞARISINI ETKİLEYEBİLECEK BAZI HUSUSLAR (SOME ISSUES THAT MAY AFFECT THE SUCCESS OF THE YEP)

#### Uzman Personel Durumu (Qualified Personnel Issue)

22 Temmuz 2019'da başlayan ve 2023 yılı sonunda tamamlanacak olan YEP'in süresi dört yıldır. 2019 yılından önce tamamlanan birkaç proje bu eylem planına dâhil edilmiştir. Ön hazırlıklar, yer seçimi, planlama ve proje tasarımı için zaman biraz kısadır. Üst yöneticiler tarafından planlanan, süre ve skora dayalı projelerde genellikle kaybedilecek zaman yoktur ve yöneticiler ve karar vericiler tarafından işlerin olabildiğince hızlı yapılması istenir. Ancak bu tür projeler aceleye getirilmemelidir. Bunlar, çok yönlü düşünülmesi gereken ve yer seçiminden inşaata kadar üzerinde çok çalışılması gereken işlerdir. Daha yer seçimiyle ilgili çalışmalara bile başlamadan bir sayı hedeflenmesi ve bu hedefin kamuoyuna duyurulması ister istemez araştırmacılar ve uygulayıcılarda bir baskı oluşturabilmektedir. Başlangıçta belirlenen sayıya ulaşamamanın başarısızlık olarak algılanacağından endişe duyulması pek de uygun olmayan yerlerin seçilmesi, proje hataları, hatta inşaatın aceleye getirilmesi gibi yanlışlara neden olabilmektedir.

YEP öncesinde Türkiye’de yeraltı barajları konusunda çalışan araştırmacı, uygulayıcı veya akademik yönden çalışan kişi sayısı çok az olduğundan yayın potansiyeli sınırlıdır. Erişilebilir ilk yayınlar Yılmaz (2003) ve (Önder ve Yılmaz 2005) 'dir. İlki, Türkiye’de yeraltı barajları üzerine yazılmış ilk yüksek lisans tezidir. Ankara, Kırıkkale ve Çorum’da 2003-2004 sonrası birkaç yeraltı barajının inşası ile az sayıda tez ve yayınlar üretilmiştir (Apaydın ve diğ. 2005; Apaydın ve diğ. 2009a, b; Peksezer 2010; Sayit ve Yazıcıgil 2012, Apaydın 2009, 2014, 2019).

Türkiye’de bugüne kadar inşa edilen yeraltı barajlarında toprak dolgu ve beton gövde tipi tercih edilmiştir. Plastik beton (slurry trench) yöntemi Türkiye’de yeraltı barajları için yeni uygulama olmakla birlikte ülke genelinde çeşitli yerüstü barajlarında başarıyla uygulanmıştır. Kamu ve özel sektörde bu konuda belirli bir deneyim oluşmuştur. İnşa edildikten sonra en az 5-6 yıl geçmesine rağmen barajların gövde veya batardo altındaki plastik beton perdeden kaynaklı kaçaqların yaşanmaması, bu yöntemin



yeraltı barajlarında da uygulanabilmesi konusunda cesaret vericidir. YEP'in başlangıcında Türkiye'nin yeraltı barajları ve yeraltı suyu yapay besleme konusunda deneyimi yukarıda belirtilen çalışmalarla sınırlı kalmıştır. Birçok mühendisin ve hatta yöneticinin konu ile tanışması YEP ile olmuştur.

### **Uygun Yer Seçimi (Suitable Site Selection)**

Yer seçimi, yeraltı barajı için en önemli konudur. Yeraltı barajları için yer seçim metodolojisi, çeşitli yönlerden yüzey barajlarından farklıdır. Yüzey barajları için istenmeyen bazı koşullar, örneğin alüvyal kum-çakıl çökelleri gibi gözenekli ve geçimli bir jeolojik oluşumun bulunması, yeraltı barajlarında arzu edilen bir husustur. Ancak suyun depolanacağı akiferin kalınlığı önemli bir ölçüttür. Çok kalın olursa inşaat maliyeti artar, çok ince olursa yeterince su depolanamaz. Yeterli genişlik ve kalınlığa, uygun beslenme koşullarına, yüksek depolama katsayısına ve hidrolik iletkenliğe sahip bir akifer, akiferin altında geçirimsiz-düşük geçirimli bir ortam, gövde inşa edilebilecek yerde akiferin daraldığı bir kesit (düşük maliyetli için tercih edilir), yüksek kaliteli yeraltı suyu ve yüksek kaliteli ve düşük maliyetli inşaat malzemesi, bir yeraltı barajının inşası için minimum gerekliliklerdir.

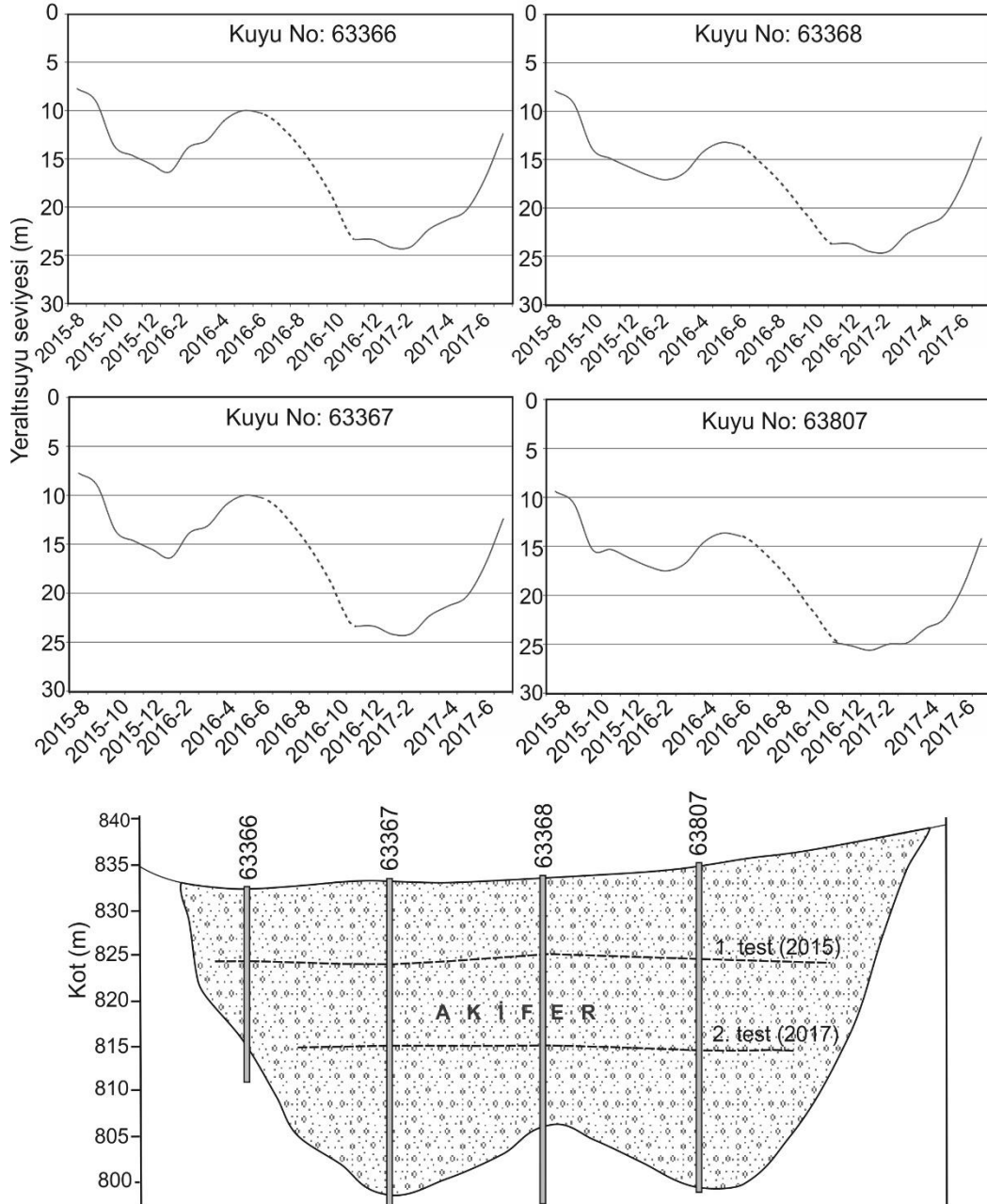
Yeraltı barajları için inşaat öncesi çalışmalar, seçilen baraj sahasında sadece yer seçimi ve jeolojik haritalama, jeofizik araştırma, topografik haritalama, araştırma sondajı, akifer testleri vb. ile sınırlı değildir. Akiferin tamamını ve hatta tüm havzayı kapsayan bazı ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Ayrıca, yer seçimi yapılırken özellikle mansap (akış aşağı) bölge üzerindeki olası etkiler araştırılmalıdır. İnşa edilecek bir yeraltı barajının olası etkileri önceden araştırılmalı ve su hakları garanti altına alınmalıdır. Ayrıca rezervuardaki yeraltı suyu seviyesinin yükselmesi nedeniyle bataklık oluşabilmektedir. Türkiye'de 2000'li yıllarda inşa edilen örneklerde böyle bir olumsuzluk söz konusu olmamıştır. Bu barajların bazılarında (Maliboğazı ve İskilip) gövdesi doğal zeminden en az 2 m aşağıda yer almakta ve gövde üzeri, rezervuarda yükselen suyun yerüstüne çıkmadan rahatlıkla taşabilmesi için gözenekli iri malzeme ile doldurulmuştur. Ancak topografik eğimi az olan yerlerde rezervuardaki su seviyesinin yükselip bataklık oluşturabileceği her zaman akılda tutularak, proje buna göre uygulanmalıdır. Yeraltı barajlarının verimli bir şekilde çalışabilmesi için baraj havzasındaki su kullanımının, özellikle mambadaki kuyulardan su çekilmesinin sınırlandırılması gerekmektedir. Bu amaçla koruma alanı oluşturularak Resmî Gazete'de ilan edilmelidir. Bu ilan ayrıca havzanın tamamındaki kirleticileri kontrol etmek veya önlemeye yönelik hükümleri de kapsamalıdır. Yeraltı suyu yapay besleme yöntemlerinin başarısı beslemeyi yapacak su, besleme yöntemi ve beslenecek sistem olmak üzere üç faktöre bağlıdır. Yeterli kaynak var ise, beslenecek akiferi yerinde testlerle iyi tanımlamak, buna göre en uygun yer ve yöntemi belirlemek gerekir.

### **Elde Edilebilecek Suyun Hesabı ve Mevsimsel Değişikliklerin Analizi (Estimation of Obtainable Water and Analysis of Seasonal Changes)**

Yeraltı suyu beslenimi ve yeraltı barajından elde edilebilecek su miktarının hesaplanması zor bir işittir. Barajın inşa edileceği gözenekli ortamın fiziksel ve hidrolik olarak tanımlanması yeterli olmayıp, meteorolojik koşullara bağlı olarak beslenmenin zamanla değişimini araştırmak gerekir. Bunun için çok yönlü saha ve laboratuvar çalışmaları yapmak gerekir. Yeraltı suyu sistemleri genellikle kuraklığa yüzey suyu kütlelerine göre daha geç tepki verir. Ancak, özellikle kurak veya yarı kurak bölgelerde yeraltı suyu seviyesi ve buna bağlı olarak debilerde kurak ve yağışlı dönemlerde belirgin değişiklikler önemli bir sorundur ve planlama aşamasında bu durum dikkate alınmalı, sistemin mevsimsel davranışı yeterli süre izlenmelidir. Bunun için en az 2-3 yıl veri toplanmalı, elde edilen verilerin iklim döngüsü içinde hangi koşulları temsil ettiği iyi analiz edilmelidir.

Yarı kurak bölgelerde yağışlı ve kurak dönem arasında yeraltı suyu seviyesi farklılığının en yeni örneklerinden biri, Ankara'nın Nallıhan ilçesinde 2015-2017 yılları arasında yer seçimi ve planlama aşaması hidrojeolojik etütleri yapılan Kabaca yeraltı baraj sahasıdır. Baraj eksen yerinde açılan pompaj ve gözlem kuyularındaki su seviyeleri 2015 Temmuz ayından itibaren periyodik olarak izlenmiştir. 2015

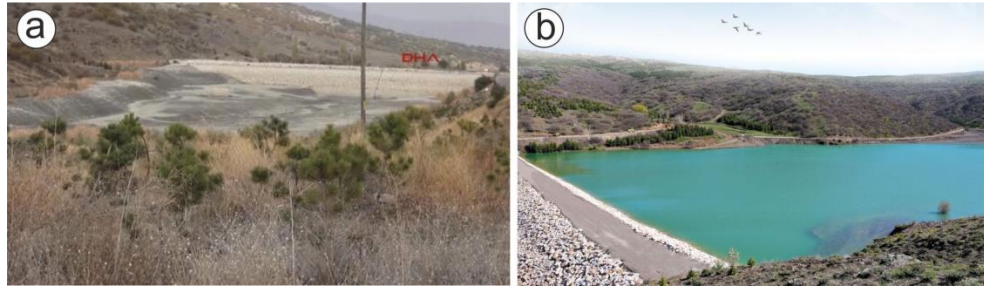
yılında pompalama testi yapılmış ve akifer kesitinden geçen su miktarı analitik yöntemlerle hesaplanmıştır. 2016-2017 yıllarında yaşanan kuraklık sonucunda kuyulardaki su seviyesinin önemli ölçüde düşmesi (doygun kalınlığın azalması) üzerine (Şekil 4) ikinci bir pompalama testi daha yapılmıştır. Yağışlı dönem testinde (Temmuz 2015) doygun kalınlık, kum-çakıl akiferinin toplam kalınlığının üçte ikisi iken, kurak dönem testinde (Haziran 2017) üçte birine düşmüştür. Hesaplamalarda yağışlı dönem koşulunda hesaplanan debi kurak dönem koşullarında yarıya düşmüştür (Apaydın ve Kaya 2017).



**Şekil 4.** Kabaca (Ankara-Nallıhan) yeraltı baraj yerinde yeraltı suyu seviyesinin zamanla bariz değişimini gösteren hidrograflar ve kurak ve yağışlı dönemde yapılan iki pompaj deneyinde su tablasının konumu (Apaydın ve Kaya 2017)

**Figure 4.** Hydrographs showing the obvious change of groundwater level over time at the groundwater dam site in Kabaca (Ankara-Nallıhan) and the position of the water table in two pumping tests conducted during the dry and wet periods (Apaydın and Kaya 2017)

2000'li yıllarda Türkiye'de inşa edilen yeraltı barajlarında elde edilen su debisi ve yeraltı suyu seviyesi kısa süreli veya tek seferlik ölçümler şeklinde yapılabilmektedir. Düzenli kayıtlar alınabilmiş olsaydı, ayrıntılı analizler yapılabilirdi. Yine de bazı deneyimler söz konusudur. Örneğin, Maliboğazı yeraltı barajı 2004 yılı sonunda yapıldığında debi 30 l/s iken 2005 yılı yaz mevsiminde sulama mevsimi sonunda 13 l/s'ye düşmüştür. 2006 ile 2010 yılları arasında birkaç defa ölçülen debi 15-30 l/s arasında gerçekleşmiştir. Bölge 2010-2012 yıllarında önceki 5-6 yıla göre iyi yağış aldığından, barajda debinin Temmuz 2012'de 60 l/s'ye yükseldiği görülmüştür. Mevsimsel değişime başka bir örnek ise Elmadağ Kargalı barajıdır. Hem yeraltı, hem de yerüstü depolaması olan barajın yerüstü rezervuarı içme amaçlı kullanım nedeniyle 2016 yılı Haziran ayında tamamen boşalmış ancak alttaki akiferden bir süre daha su elde edilmeye devam edilmiştir. Ertesi yıl gerçekleşen yağışlarla baraj rezervuarı tekrar dolmuştur (Şekil 5).



**Şekil 5.** Elmadağ-Kargalı Barajı'nın 2016 yılı Haziran ayında kurumuş (DHA.com) ve 2018 yılında tekrar dolmuş hali (kentvebakan.com.tr, erişim tarihi 20.07.2021)

*Figure 5. Elmadağ-Kargalı Dam, which was dried in June 2016 (DHA.com) and filled again in 2018 (kentvebakan.com.tr, accessed 20.07.2021)*

### **En Uygun Gövde Tipi ve Su Alma Yönteminin Seçimi (Selection of the Most Appropriate Dam Type and Water Intake Method)**

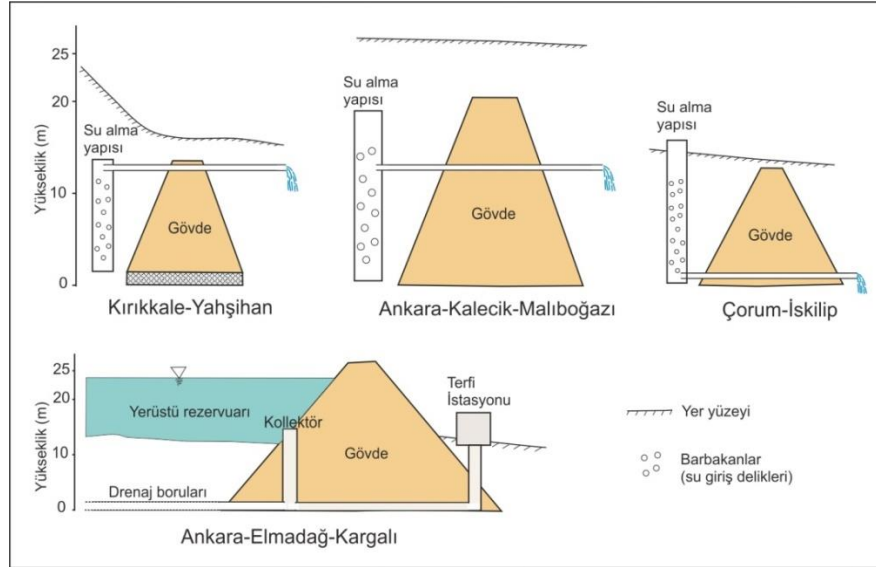
Yer seçimi ile en uygun ve en ucuz su alma yöntemine (cazibeli veya pompajlı seçenek) karar vermek, su temini için bir diğer önemli işittir. Bu bağlamda, su alma tesisinin yeri, varsa kuyuların sayısı ve yerleri planlanmalıdır. Üstelik inşaat maliyeti de önemlidir. Bu, temel olarak arama ve sondaj, akifer testleri, inşaat malzemesi, nakliye, kazı hacmi, su alma yapısı (cazibeli akış durumunda) veya işletme kuyuları, pompalar ve enerji beslemesine bağlıdır. Yukarıda bahsedilen her bir bileşen, uzmanlık ve iyi bir planlama gerektirir.

Baraj gövde tipinin seçimi amaca, işleve ve malzeme koşullarına göre belirlenir. Baraj tipi ne olursa olsun (toprak veya kaya dolgu, beton, klasik harç, plastik beton vb.) Su temini için bir yeraltı barajında en önemli konu suyun nasıl elde edileceği ve tesisin nasıl işletileceğidir. Pompajlı projelerde iş, baraj arkasındaki rezervuardaki üretim kuyuları ile yer altı suyunun sızdırmazlığını sağlayacak gövdenin inşası ve pompalanmasından ibarettir. Cazibeyle su elde edilecekse suyun nereden alınacağı (alttan, ortadan veya gövde üzerinden taşımali), su alma yapısının nasıl inşa edileceği, suyun nasıl iletileceği ve yeryüzüne nasıl ve nerede çıkarılacağı proje aşamasında belirlenir.

Akiferin topografyası ve konumu, cazibeli ve pompajlı yeraltı barajı için belirleyicidir. Örneğin yüksek eğimli vadilerde alüvyal akiferlerde inşa edilen yeraltı suyu barajlarında, baraj arkasında önemli bir ek hacim kazanılamayacağı için dipten su alınmasına gerek yoktur. Böyle bir durumda su, baraj gövdesinin ortasından bir boru ile veya kret üzerinden taşarak alınabilir. Ancak düşük eğimli vadilerde ve kalın akiferlerde kuyulardan pompaj ve cazibeli yöntem düşünülebilir. Cazibeli yöntem seçilirse suyun mümkün olduğunca derinden alınması ve böylece su alma kotu üzerinde akifer hacminin fazla olması tercih edilmelidir.

Böyle bir durumda su alma yapısı ne kadar derine inşa edilirse, cazibe ile o kadar fazla su alınabilir. Bununla birlikte, su alma seviyesi daha derine düştükçe, boru hattı için kazı hacmi ve maliyeti

artmaktadır. Kuyulardan pompalama planlanıyorsa, kuyu yerlerinin seçimi için detaylı bir hidrojeolojik çalışma yapılır. Bu çalışmalardan elde edilen verilere göre en uygun tasarım, yapım ve işletme yöntemi belirlenir. Türkiye’de son 20 yılda yapılan yeraltı barajlarının tamamına yakını cazibelidir. Sadece Elmadağ Kargalı barajı, dağıtım deposuna terfi ile işletilmektedir (Şekil 6, Çizelge 1).



**Şekil 6.** Türkiye’de YEP’den önce inşa edilen bazı yeraltı barajlarında su alma yöntemleri

*Figure 6.* Water intake methods in some groundwater dams built before the YEP in Turkey

**Çizelge 1.** Şekil 6’daki yeraltı barajlarına ait bazı bilgiler

*Table 1.* Data on the groundwater dams in Fig. 6

	Yahşihan	Malıboğazi	İskilip	Elmadağ
Yeri	Kırıkkale	Ankara-Kalecik	Çorum	Ankara
İnşa yılı	2003	2005	2010	2012
Amacı	İçme	Sulama	Sulama	İçme
Akifer	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon	Alüvyon
Gövde tipi	Beton+homojen	Kil çekirdekli kum-çakıl	Kil çekirdekli kum-çakıl	Kil çekirdekli kaya
Gövde yüksekliği (m)	14	20,6	13	26
Kret uzunluğu (m)	20	50	55	213
Kapasite (hm <sup>3</sup> /yıl)	0,7	1,0	1,0	2,5
İnşa eden	İl Özel İdaresi	DSİ	DSİ	ASKİ
İşleten	Yahşihan Belediyesi	Sulama Birliği	İskilip Belediyesi	Elmadağ Belediyesi

### Malzeme ve İmalat Kalitesi (Materials and Construction Quality)

Yeraltı barajlarında geçirimsiz perdenin akiferin tabındaki geçirimsiz formasyona ulaşması gerekir. Dünyadaki başarısız yeraltı barajlarında temel sorun baraj gövdesinin altından kaçaklardır (Nilsson 1988, Hanson ve Nilsson 1986, Apaydın 2014).

Kazı çukuruna gelen suyun drenajı, güvenli, hızlı ve kaliteli bir inşaat için çok önemlidir. Çözüm, kazı çukurunun akış yukarısında bir kuyu açmak veya gerekirse proje aşamasında açılan kuyular işletme amacıyla kullanılabilir. Yüzer pompalar ise baraj gövdesinin arkasında geçici havuzlar

oluşturularak çalıştırılabilir. Örneğin, Malıboğazı ve Kargalı yeraltı barajında güvenli kazı ve kaliteli inşaat için sırasıyla 60 l/s ve 200 l/s üzerindeki suyu tahliye etmek için yüzer pompalar kullanılmıştır. Yeraltı barajlarında dolgudaki malzeme kalitesi ve sıkıştırma konularındaki standartlar yer üstü barajlarıyla aynıdır. Nilsson (1988) dolgu tip yeraltı barajlarında yerüstü barajlarına göre daha ince bir gövdenin yeterli olacağı belirtmekte ancak bir oran veya belirli bir kalınlık vermemektedir. Yeraltı barajlarında gövde menba ve mansaptan akifer malzemesi ile desteklenmiş olduğundan, yerüstü barajlarındaki kadar hassas bir şev stabilitesi, devrilme analizi gibi çalışmalara gerek duyulmamaktadır. Gövdenin inşa edilip etrafının doldurulmasıyla güvenli hale gelmesi sağlanmaktadır. Beton, plastik beton veya enjeksiyon yöntemlerinde ise standartlar yöntemlere göre değişmektedir.

Gövde inşaatı için akifer kalın ise kazı ve dolgu maliyeti yüksek olacağı için plastik beton (slurry wall) yöntemi uygulanabilir. Böylelikle daha büyük ihtiyaçları karşılayacak büyük boyutlu yeraltı barajları inşa ederek geçmişte inşa edilmiş olanlardan daha fazla su depolamak mümkündür. Dünyada kaya ortamlarında inşa edilen bazı yeraltı barajlarında enjeksiyon perdesi ve kesişen kazık yöntemi uygulanmıştır (Ishida ve diğ., 2011; Apaydın 2014). Hangi yöntem uygulanırsa uygulansın standartlara uygun imalat yapılması esastır.

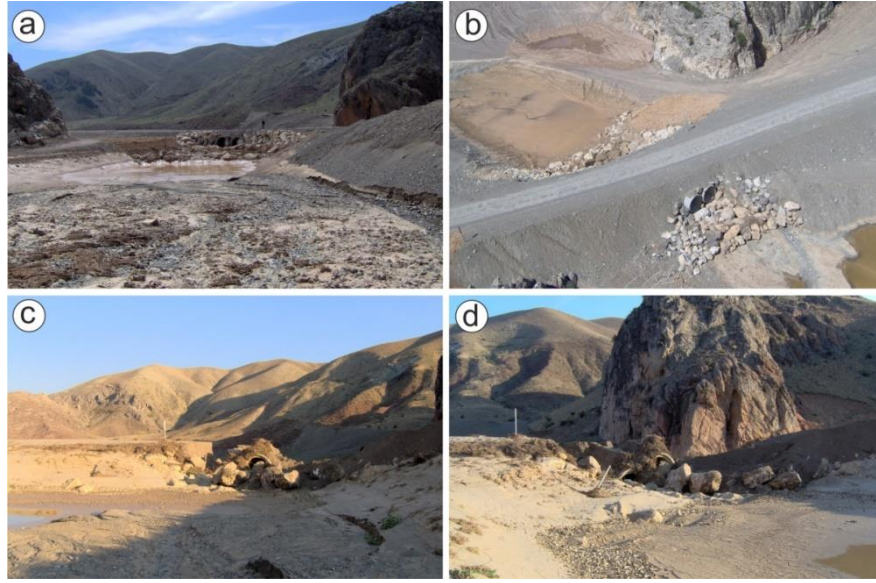
### **İzleme, İşletme ve Yönetim (Monitoring, Operation and Management)**

İzleme (monitoring), su depolama yapılarında yer seçimi, projelendirme ve inşaat kadar önemlidir. İzlemeyle elde edilen veriler o tesis için olduğu kadar gelecekteki başka projeler için de değerlidir. Ne yazık ki, küçük su yapılarında izleme genellikle ihmal edilmektedir. Türkiye'de son yıllarda inşa edilen yeraltı barajlarının sürekli izlenmesi gerçekleştirilememiştir. Rezervuar su seviyesi sadece Malıboğazı (Apaydın 2009) ve İskilip (Apaydın 2014) yeraltı barajlarında bir süre izlenebilmiştir.

Cazibeli yeraltı barajlarında, debi ve su seviyesi uzun süre ölçülerek akarsulardakine benzer bir anahtar eğri oluşturulabilir. Anahtar eğrisi oluşturulduktan sonra, hangi seviyeye karşılık akiferden ne kadar su alınabileceği, sistemin kuraklığa veya yağışlı yıllarda yüksek beslenmeye nasıl tepki vereceği gibi sorular cevaplandırılabilir.

Yeraltı barajları yer altında olmasına rağmen sel ve taşkınlardan zarar görme olasılığı vardır. Ankara-Kalecik-Malıboğazı yeraltı barajı böyle bir duruma maruz kalmıştır. Baraj inşaatından bir yıl sonra (2005) meydana gelen selde yerüstündeki yapılar (gözlem kuyuları, eksen yerinde yüzeysel akışı sağlayan büzler) sel nedeniyle hasara uğramış, gerekli onarımlar yapılmıştır (Şekil 7). Bu tür bir duruma karşı önlemleri önceden almak gerekmektedir.

Yeraltı suyu yapay besleme barajlarının ve besleme hendeklerinin tabanında bir süre sonra kil-silt malzemeden oluşan kaymak tabakası oluşmakta ve bu tabaka rezervuardan akifere beslenmeyi engellemektedir. Bu tabakanın zaman zaman sıyrılarak temizlenmesi gerekebilmektedir. Yapay besleme kuyularında ise tıkanma olayına karşı önlemler alınmalı, mümkün olduğunca askıda katı maddeden arındırılmış su ile besleme yapılmalıdır. Tesislerin bu yönüyle sürekli gözlem altında tutulması ve bakım-onarımının yapılması uygulamanın başarısı için önemlidir.



**Şekil 7.** Maliboğazi yeraltı barajının inşa edilip çevre düzenlemesi yapıldıktan (Nisan 2005) hemen sonraki (a ve b) ve 5 ay sonra (Eylül 2005) taşkından hasar gören hali (c ve d)

*Figure 7. States of the Maliboğazi groundwater dam just after the construction and landscaping (April 2005, a and b), and after the flood damage (September 2005, c and d)*

## SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSION AND EVALUATION)

Yeraltı barajları çoğunlukla yerel ihtiyaçları karşılayabilecek kadar küçük kapasiteli depolama yapılarıdır. Yerüstü barajlarına göre gövde hacmi daha küçük, sanat yapıları yönünden daha sade ve bu nedenle inşaat maliyeti daha düşüktür. Yerüstü barajlarına göre daha sade, daha ucuz ve genellikle daha küçük boyutlu olmalarına rağmen araştırma teknikleri yönünden daha karmaşık olabilmektedir. En uygun yer seçimi, su potansiyelinin doğru hesaplanması, mevsimsel etkiler, sınır koşulları ve işletme seçenekleri gibi projelendirmeye esas verilerin analizi bu konuda uzman kişiler tarafından yapılabilir. Bunun için en temel koşul; hidrojeoloji konusunda uzmanlık ve yeraltı barajları konusunda bilgiye sahip olunmasıdır. Yeraltı suyu yapay besleme yöntemleri çok değişik şekillerde uygulanabilmektedir ve seçilen yönteme göre dahi uzmanlık ve deneyim gerektirmektedir.

Yeraltı barajları ve yeraltı suyu yapay besleme yöntemlerinin uygulanabilmesi için ülkemizde uygun yerler bulunmaktadır. Bu tür yerlerin araştırılması ve uygulanması son derece olumludur. Ancak YEP’in uygulanmasında bazı sorunlar bulunmaktadır. YEP başlangıcında Türkiye’de yeraltı barajları ve yeraltı suyu yapay besleme yöntemleri konusunda deneyimin sınırlı olması nedeniyle özellikle doğru yerlerin seçimi ve en uygun projenin uygulanması konusunda başarısızlık ihtimali vardır. Projede karar vericiler tarafından belirlenen sınırlı süre ve skor hedefi uygulayıcıları acele davranarak hataya zorlayabilecek diğer hususlardır. Yine de Türkiye’de ve dünyadaki mevcut örneklerden mühendisler, yöneticiler ve üst düzey karar vericiler tarafından gerekli derslerin çıkarılması ve böylece uygulamaların en az hata ile gerçekleşmesi beklenmektedir. YEP’den beklenmesi gereken diğer bir husus ise, elde edilecek deneyimlerin başarı ve başarısızlık yönleriyle sektör ile paylaşılarak, bu deneyimlerin gelecekte uygulanacak projelere aktarılabilmesidir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Abdoulhalik, A., Ahmed, A.A., 2017. The effectiveness of cutoff walls to control saltwater J. Environ. Manage. 199, 62–73.
- Akbaş, A., 2014. Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar, Coğrafi Bilimler Dergisi. Cbd 12 (2), 101- 118.

- Ali, E., Doğan, A., 2017. Modeling of Büyük Cırcıp Groundwater Recharge Dam using HYDRUS-1D, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi ( European Journal of Science and Technology)*, Cilt 7, No. 11, S.7-17.
- Altındaş, E.T., 2018. 19. yüzyılda Osmanlı Devleti'nde Yaşanan Kuraklığın Ankara'ya Yansıması, *Çanakkale Araştırmaları Türk Yılığ*, sayı 24, 1-3.
- Apaydın, A., Demirci Aktaş, S., Ekinci, O., 2005. Su Kaynaklarının Değerlendirilmesinde Farklı Bir Yaklaşım: Yeraltı Barajları, II. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 153-165, 21-24 Eylül 2005 Gümüşhane-İzmir.
- Apaydın, A. Zengin E., 2009. Maliboğazı Groundwater Dam: An Alternative Model for Semi-Arid Regions of Turkey, *Environmental Earth Sciences*, (2), 339-345.
- Apaydın, A., Demirci Aktaş, S., Kaya, S., 2009a. Yeraltında Su Depolama: Yeraltı Barajları, *Mavi Gezegen, Popüler Yerbilim Dergisi*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayını, Sayı 14, 44-53.
- Apaydın, A., 2012. Dual Impact on the Groundwater Aquifer in the Kazan Plain (Ankara-Turkey): Sand-Gravel Mining and Over-abstraction, *Environmental Earth Sciences*, Volume 65, Number 1, 241-255, DOI: 10.1007/s12665-011-1087-8.
- Apaydın, A., 2011. Groundwater Legislation in Turkey: Problems of Conception and Application, *Water International*, International Water Association (IWRA) Volume 36, Number 3, 314-327.
- Apaydın, A., 2010. Response of Groundwater to Climate Variations: Fluctuations of Groundwater Level and Well Yields in the Halacılı Aquifer (Cankiri-Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment*, 165:653–663.
- Apaydın, A., 2014. Yer Seçiminden İşletmeye Yeraltı Barajları, DSİ Genel Müdürlüğü Destek Hiz. Daire Başkanlığı Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü, (basılı kitap) ISBN:978-605-64763-0-3, web:<http://www.dsi.gov.tr/docs/yayinlarimiz>
- Apaydın, A., Demirci Aktaş, S., Kaya S., 2015. Ankara-Çankırı-Çorum Bölgesinde Yeraltı Barajları Konusunda Güncel Gelişmeler, MÜHJEO'2015 Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Mühendislik Jeolojisi Derneği ve KTÜ Jeoloji Müh. Bölümü Ortak Etkinliği, 3-5 Eylül 2015 Trabzon, Bildiriler kitabı, 397-404.
- Apaydın, A., Zengin E., 2016. A combined surface and groundwater storage project: the Elmadag dam, Turkey, *Quarterly Journal of Eng. Geology and Hydrogeology*, (Technical Note) doi:10.1144/qjgeh2015-096, Vol. 49, pp. 237–243.
- Apaydın, A., Kaya, S., 2017. Ankara- Nallıhan-Kabaca yeraltı barajı jeoteknik planlama raporu, DSİ 5. Bölge Müdürlüğü, 46 s
- Apaydın A., 2019. Vadi Alüvyonlarında İnşa Edilecek Yeraltı Barajlarında Su Alma ve İşletme Seçeneklerinin Bir Analizi, DSİ Teknik Bülteni, Sayı: 131, 21-33.
- Apaydın A., Ocakoglu F., 2020. Response of the Mogan and Eymir lakes (Ankara, Central Anatolia) to global warming: Extreme events in the last 100 years, *Journal of Arid Environments*, 183 (2020) 104299, <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104299>.
- Baris, M.E. and Karadag, A.A., 2007. Water resources management issues in Turkey and recommendations, *Journal of Applied Sciences*, 7 (24), 3900–3908.
- Botero-Acosta, A., Donado, L.D., 2015. Laboratory scale simulation of hydraulic barriers to seawater intrusion in confined coastal aquifers considering the effects of stratification. *Procedia Environ. Sci.* 25, 36–43.
- Bozyiğit, R., Tapur T., 2009. Konya Ovası ve Çevresinde Yeraltı Sularının Obruk Oluşumlarına Etkisi, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, sayı 21, 137-155.
- Cantalice, J.R.B., Piscoya, V.C., Singh, V.P., et al., 2016. Hydrology and water quality of a underground dam in a semiarid watershed. *Afr. J. Agric. Res.* 11 (28), 2508–2518.
- Carter, F., Tigrek S, Kibaroglu A., 2012. Water supply crisis in Ankara: Review and comparison of the “1995 master plan report on Ankara water supply project”, *Scientific Research and Essays Vol.* 7(3), pp. 288-299, DOI: 10.5897/SRE10.833..

- Ceylan, A, Turgu E, İnal İ, Mollamahmutoğlu A, Aydoğan A., 2009. Türkiye’de Son Yıllarda Gözlenen Kuraklık Hadiselerinin Değerlendirilmesi, Su Vakfı Dergisi, Su Kaynakları, 2, 1-11.
- Chang, Q., Zheng T, Zheng X, Zhang B, Sun Q, Walther M., 2019. Effect of subsurface dams on saltwater intrusion and fresh groundwater discharge, Journal of Hydrology 576, 508–519.
- Çelik., M., Yıldırım, T., 2006. Hydrochemical evaluation of groundwater quality in the Çavuşçayı basin, Sungurlu-Çorum, Turkey, Environmental Geology, 50, 323-330.
- DHA, 2016. Ankara Türkiye'nin ilk 'Kargalı Yeraltı Barajı' Kurudu, [www.haberler.com](http://www.haberler.com), (son erişim tarihi 29 Mayıs 2021)
- dos Santos, J.P. & Frangipani, A. 1978. Barragens Submersas—Uma Alternativa para o Nordeste Brasileiro. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, São Paulo, Vol. 2. Anais ABGE, 1, 119–126.
- DSİ, 2016. Jeoteknik Etüt Şartnamesi, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 132 s.
- Erlor, M.Y., 1997. Ankara ve Konya Vilayetlerinde Kuraklık ve Kıtık (1845 ve 1874 Yılları), Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 287 s.
- Erlor, M.Y., 2010. Osmanlı Devleti’nde Kuraklık ve Kıtık Olayları (1800-1880), (1. Baskı). İstanbul: Libra Yay. 400 s.
- Ertsen, M., Hut R., 2009. Two waterfall do not hear each other. Sand-storage dams, sciences and sustainable development in Kenya. Physics and Chemistry of the Earth, 34, 14-22.
- Evcimen, T.A., Tiğrek Ş., 2011. Susuz Başkent; Ankara, II. Su Yapıları Sempozyumu - 16-18 Eylül, Bildiriler kitabı, 303-315, Diyarbakır.
- Foster, S, Azevedo, G. Baltar A., 2002. Subsurface dams to augment groundwater storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience” World bank, GWMAE Case Profile Collection, Vol. 5, P. 5.
- Foster, F., Tuinhof A., 2004. Brazil, Kenya: Subsurface dams to augment groundwater storage in basement terrain for human subsistence, World Bank Sustainable Groundwater Management Lessons from Practice, pp. 1–8.
- Göçmez, G., İşçioğlu A., 2004. Konya Kapalı Havzasında Yer altı Suyu Değişimleri, I. Yeraltı Suları Ulusal Sempozyumu (23-24 Aralık, Konya) Bildiriler Kitabı, s.19-28.
- Hanson, G., Nilsson A., 1986. Groundwater dams for rural-water supplies in developing countries. Ground Water, vol 24, no:4, 497-506.
- Hartung, F.K., Gh. R., 1987. Historische Talsperren im Iran. in Garbrecht, Günther, Historische Talsperren, 1, Stuttgart: Verlag Konrad Wittwer, pp. 221–274.
- Hut R, Ertsen M, Joeman N, Vergeer N, Winsemius H, Giessen N., 2007. Effects of sand storage dams on groundwater levels with examples from Kenya. Physics and Chemistry of the Earth 33 (2008) 56–66.
- Ishida, S., Kotoku, M., Abe, E., Fazal, M.A., Tsuchihara, T., Imaizumi M., 2003. Construction of subsurface dams and their impact on the environment. RMZ - Materials and Geoenvironment, 50, 149–152.
- Ishida, S., Tsuchihara, T., Imaizumi, M., 2006. Fluctuation of NO<sub>3</sub>-N in groundwater of the reservoir of the Sunagawa Subsurface Dam, Miyako Island, Japan, Paddy Water Environ 4: 101–110.
- Ishida, S., Tsuchihara, T., Yoshimoto, S., Imaizumi M., 2011. Sustainable use of groundwater with underground dams. Japan Agricultural Research Quarterly, 45(1): 51-61.
- Jamali, I.A., Olofsson, B., Mörtberg, U., 2013. Locating suitable sites for the construction of subsurface dams using GIS. Environ. Earth Sci. 70 (6), 1–15.
- JGRA, 2004. Technical Reference for Effective Groundwater Development, Japan Green Resources Agency (J-Green), <http://www.green.go.jp>.
- Kaleris, V.K., Ziogas, A.I., 2013. The effect of cutoff walls on saltwater intrusion and groundwater extraction in coastal aquifers. J. Hydrol. 476, 370–383.
- Karademir, Z, 2014. İmparatorluğun Açlıkla İmtihanı (1550-1660), Kitap yayınevi, 373 s.



- Körbalta, H., 2019. Türkiye’de yerel su güvenliği, *Güvenlik Bilimleri Dergisi*, Mayıs 2019, Cilt:8 Sayı:1, 55-84, DOI:10.28956/gbd.562965.
- Luiz, D.S.G.J., Vieira, F.P., Mannathal, H.V., 2018. Use of electrical resistivity tomography in selection of sites for underground dams in a semiarid region in southeastern Brazil. *Groundwater Sustain. Dev* S2352801X17301868.
- Nagata, S., Enami, N., Nagata, J., Katho, T., 1993. Design and construction of cutoff walls for subsurface dams on Amami and Ryukyu islands in the most southwestern part of Japan. *IAH Selected Papers on Environmental Hydrogeology*, 4, 229–245.
- Nilsson, A., 1988. *Groundwater dams for small-scale water supply*, Intermediate Technology Publications Ltd. London, pp. 69.
- Nissen-Petersen E., 1982. *Rain Catchment and water supply in rural Africa: A manual*. Holder&Stoughton, Great Britain. 83 p.
- Ouerdachi, L., Boutaghane, H., Hafsi, R., Boulmaiz Tayeb, F., Bouzahar, F., 2012. Modeling of underground dams Application to planning in the semi-arid areas (Biskra, Algeria), *Energy Procedia* 18, 426-437.
- Önder, H., Yılmaz, M., 2005. Underground dams, A tools of sustainable development and management of groundwater resources. *European Water*, 11(12): 35-45.
- Peksezer, A., 2010. *Artificial recharge of groundwater In Küçük Menderes Basin. A thesis submitted to the graduate school of Natural and Applied Sciences of The Middle East Technical University*, 113 p.
- Peksezer, A., Yazıcıgil, H., 2011. Yapay yeraltı suyu beslenimi: Küçük Menderes havzasından bir örnek, 64. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri kitabı, 25-29 Nisan, Ankara.
- Sayit, A.P., Yazıcıgil H., 2012. Assessment of artificial aquifer recharge potential in the Kucuk Menderes River Basin, Turkey, *Hydrogeology Journal*, Volume 20:755-766.
- Raju, N.J., Reddy, T.V.K., Munirathban, P., 2006. Subsurface dams to harvest rainwater—a case study of the Swarnamukhi River basin, Southern India *Hydrogeology Journal* 14: 526–531.
- Raju, N.J., Reddy, T.V.K., Muniratnam, P., Gossel, V., Wysick, P., 2013. Managed aquifer recharge (MAR) by the construction of subsurface dams in the semi-arid regions: a case study of the Kalangi river basin, Andhra Pradesh. *J. Geol. Soc. India* 82 (6), 657–665.
- Santos, J.P., Frangipani, A., 1978. Barragens Submersas-Uma Alternativa Para Nordeste Brasileira, in *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, Vol. 2, Sao Paulo, 119-126 (Anais ABGE, 1).
- Selman, A., Şimşek, M., Çetinkaya, G., Öztürk, M.Z., 2019. Erinç Yağış Etkinlik İndisi’ne Göre Belirlenen Türkiye İklim Bölgelerinin Rejim Karakteristikleri, 1. İstanbul Uluslararası Coğrafya Kongresi Bildiri Kitabı, 20-22 Haziran, 2019, İstanbul, 752-760.
- Silva, D.A., Rego Neto, J., 1992. Avaliação de Barragens Submersíveis para Fins de Exploração Agrícola no Semi-árido. In: *Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem*, Natal, Anais ABID, 1, 9, 335–361.
- Uyanık, N., Sarı, M., 2011. Cumhuriyet döneminde yaşanan kuraklık felaketleri üzerine bir değerlendirme, *Tarihin Peşinde-Uluslararası Tarih ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, Yıl:2011, Sayı: 5, 141-176.
- Yılmaz, M., 2003. *Control of groundwaters by underground dams . A thesis submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of The Middle East Technical University*, 80 p.
- Zarkesh, MMK., Ata D., Jamshidi, A., 2012. Performance of underground dams as a solution for sustainable management of Drought, *Journal of Biourbanism*, 1-45.