

ARAŞTIRMA MAKALESİ Orta Anadolu bölgesinde kuraklıkla mücadelede alternatif öneri: Yeraltı barajları

Yazışma yazarı:
Ahmet APAYDIN
aapaydin@dsi.gov.tr

Ahmet APAYDIN¹, Sibel DEMİRCİ AKTAŞ¹, Selin KAYA¹

¹ DSI V. Bölge Müdürlüğü Eskişehir yolu 8. km ANKARA

Referans:
Apaydin A., Aktaş S.D., Kaya S. (2009),
Orta Anadolu bölgesinde kuraklıkla
mücadelede alternatif öneri: Yeraltı
barajları, İklim Değişikliği ve Çevre, 2,
13-25

Makale Gönderimi : 1 OCAK 2009
Online Kabul : 1 ŞUBAT 2009
Online Basım : 1 MART 2009

Özet Orta Anadolu Bölgesinin Çankırı, Çorum, Kırıkkale ve Ankara illerinde genel topografik yapı; Kızılırmak, Yeşilirmak, Sakarya ırmaklarının oluşturduğu en düşük kota sahip geniş ana vadiler ve ovalar ile bunlara ulaşan akarsuların ve onların yan kollarının oluşturduğu nispeten dar vadiler şeklindedir. İlçe, belde ve köy halindeki yerleşim birimleri çoğunlukla bu yan vadilerin ana vadiye açılan bölümlerinde veya orta kesimlerinde bulunmaktadır.

Özellikle Ankara, Çankırı, Çorum ve Kırıkkale illerindeki birçok yan havzada genel olarak orta yukarı bölümlerde metamorfikler, kristalin kayalar ve volkanikler gibi yüzey ve yeraltısuyu kalitesini bozmayan jeolojik formasyonlar ile tatlı su içeren alüvyon akiferleri yer almakta olup, yan havzaların aşağı bölümlerinde ve ana vadiler ile ovalarda ise evaporitik çökellerin yaygın olması nedeniyle sularda tuzlanma sorunu bulunmaktadır. Havza yukarılarına doğru gidildikçe su kalitesi iyileşmekte, ancak yağış havzası ile akiferin alanı daralarak ve kalınlığı azalarak küçülmekte; bunun sonucu olarak da yeraltısuyu potansiyeli azalmaktadır. Ayrıca, yeterli hacme ve beslenme koşullarına sahip olmayan havza yukarısındaki vadi alüvyonları hem aşırı kullanımdan, hem de kuraklıktan çok çabuk etkilenmektedir. Bu tür alanlarda uzun yıllar önce inşa edilen drenaj tesisleri son yıllarda yaşanan kuraklık nedeniyle yeraltısuyu seviyesinin düşmesi sonucunda tamamen askıda kalmış ve kullanılamaz duruma gelmiştir. Bazı tesislerden ise yılın ancak yağışlı aylarında su elde edilebilmekte, suya en çok ihtiyaç duyulan aylarda su seviyesinin düşmesi sonucunda faydalanılamamaktadır. Su ihtiyacını kuyulardan elde eden yerleşim birimleri ise benzer şekilde su seviyesinin düşmesi nedeniyle ya pompalarını daha derine kurarak çözüm aramakta veya kuyularını derinleştirmektedirler. Ancak bu bölgelerde akiferler sıg olduğundan (çoğunlukla 15-20 m) kuyuların derinleştirilmesi bir sonuç vermemektedir. Sonuç olarak, bu tür dar vadilerde baraj, gölet gibi yüzey depolamalarıyla birlikte tatlı yeraltısuyunun havza aşağılarına giderek tuzlanmasını önlemek veya akiferlerde daha fazla su depolayarak yerleşim birimlerine sağlıklı ve sürdürülebilir su sağlamak amacıyla yeraltı depolama projelerinin de uygulamaya konması gerekmektedir.

Yeraltı barajları vadilerin daraldığı yerlerde ve genellikle taneli akiferlerde inşa edilmektedir, ancak özellikle Japonya'da kireçtaşlarında enjeksiyon perdesi şeklinde inşa edilen yeraltı barajları da bulunmaktadır. Yapılan işlem; akifer içinde geçirimsiz taban birimi üzerine oturtulan bir perde inşa edilerek yeraltısuyu akımının engellenmesi ve bu perde gerisinde suyun depolanması veya doğal halde hareket eden yeraltısuyunun akışını engelleyerek akiferin doygun kalınlığının artırılmasıdır. Depolanan yeraltısuyu topografik, jeolojik, teknik ve ekonomik koşullara bağlı olarak cazibeyle veya çoğu kez kuyulardan pompajla kullanıma sunulmaktadır.

Bu çalışmada, yeraltı barajlarının Orta Anadolu Bölgesindeki yan vadilerde yapılabilişliği hidrolojik, hidrojeolojik, teknik ve ekonomik koşullar çerçevesinde tartışılmış ve bölgenin özellikleri dikkate alındığında yeraltı baraj projelerinin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alüvyon akifer, kuraklık, Orta Anadolu, yeraltı barajı.

An Alternative Action Against Drought in Central Anatolia: Groundwater Dams

Abstract General topographic relief is characterized by large valleys in lower parts of Kızılırmak, Yeşilirmak and Sakarya rivers and narrower secondary valleys of smaller streams in Çankırı, Çorum, Kırıkkale and Ankara province of the Central Anatolia Region. Most of the settlements are located in central or lower parts of the secondary valleys.

Groundwater quality is rather good because the metamorphics, igneous and volcanic rocks and alluvium aquifers crop out in the upper parts of the most secondary ba-

sins of Ankara, Çankırı, Çorum and Kırıkkale. However, evaporitic sediments crop out in the lower parts of the secondary valleys and in the main river valleys and large plains, which causes salinity problems in the groundwater and surface water resources. Groundwater quality is getting better through the upper parts of the basins, on the contrary groundwater potentials are becoming small due to lessened basin and aquifer areas. On the other hand, alluvium in the upper parts of the valleys which has no sufficient volume and recharge conditions can easily be affected by draughts and exploitations. In such an area, the old drainage structures dried due to the draughts in recent years. Some structures can supply water only in wet seasons due to the declined water table. The pumps are lowered in the wells or the wells deepened due to the declined water level in the settlements which gain their water demands by wells. However, deepening the wells can't yield any advantage, because aquifer thicknesses are insufficient (generally 15-20 m). Consequently, groundwater dams must be constructed in such narrow valleys in addition to the traditional surface dams, in order to prevent the groundwater flow to downstreams and to store extra groundwaters in the aquifers and finally to supply sustainable water for the settlements.

Groundwater dams are usually constructed in the upstream side of granular aquifers extend behind the narrow valleys, but there are some groundwater dams which were constructed in limestones by constructing grout curtains in Japan.

The operation is; to locate an impervious cut-off wall to hinder the groundwater flow and to store more water in the aquifer or to increase the saturated thickness of aquifer by hindering the flow of groundwater. Stored water can be abstracted in the wells by pumping or gravitational flow if possible according to the existing topographic, geologic, technical and economic conditions.

In this study, applicability of groundwater dams in the secondary valleys in Central Anatolia in point of geological, meteorological and technical view was discussed and finally it was decided that groundwater dam projects are applicable in this region.

Keywords. Arsenic, toxicological effects, drinking water.

1. Giriş

Dünyanın yarı kurak iklime sahip bölgelerinde olduğu gibi, Türkiye'nin özellikle iç bölgelerinde de yağışlar yetersiz olup (250-500 mm) yıldan yıla çok dengesizdir. Ayrıca yağışların yılın belirli döneminde gerçekleşmesi ve kurak dönemin uzun olması nedeniyle, bu bölgede suların yağışlı mevsimlerde depolanmasında ve kurak mevsimlerde veya yıllarda kullanıma sunulmasında sorunlar yaşanmaktadır. Özellikle son yıllarda yaşanan kuraklık bu sorunu daha da büyötmektedir.

Orta Anadolu Bölgesinde Kızılırmak, Sakarya, Delice gibi büyük akarsular ve bazı ana kolların çevresindeki alanların dışında yüzey sularının yetersiz olması nedeniyle yeraltısuyu kullanımı daha yaygındır. Küçük şehirlerin çoğunun, ilçelerin, beldelerin ve köylerin tamamının içme-kullanma suları kaynaklar ve kuyular aracılığıyla yeraltısularından karşılanmaya çalışılmaktadır. Ancak, yaşanan uzun süreli kuraklıklar nedeniyle kaynak debilerinin azalması ve yeraltısuyu seviyesinin hem kuraklık, hem de aşırı kullanım nedeniyle düşmesi, suyun elde edilmesini teknik ve ekonomik yönden güçleştirmektedir. Bu nedenlerle, bu tür alanlarda bulunan vadi alüvyonlarında baraj, gölet gibi yüzey depolamalarıyla birlikte akiferlerde daha fazla su depolayarak yerleşim birimlerine sağlıklı ve sürdürülebilir su sağlamak amacıyla yeraltı depolama projelerinin de uygulamaya konması gerekmektedir.

Özellikle Brezilya ve Japonya ile bazı Ortadoğu ülkeleri başta olmak üzere dünyanın birçok bölgesinde yeraltısuyu depolamak veya depolanan yeraltısuyu arttırmak üzere başvurulan bir yöntem olan yeraltı barajları vadilerin daraldığı yerlerde ve genellikle taneli akiferlerde inşa edilmektedir (Nilsson, 1988). Ancak özellikle Japonya'da kireçtaşlarında enjeksiyon perdesi şeklinde inşa edilen yeraltı barajları da bulunmaktadır (Nilsson, 1988). Yapılan işlem; akifer içinde geçirimsiz taban birimi üzerine oturtulan bir perde inşa edilerek yeraltısuyu akımının engellenmesi ve bu perde gerisinde suyun depolanması veya doğal halde akiferde belirli bir doygun kalınlığa ve hidrolik eğime sahip bir şekilde vadi boyunca hareket eden yeraltısuyunun akışını engelleyerek akiferin doygun kalınlığının artırılması ilkesine dayanmaktadır. Depolanan yeraltısuyu topografik, jeolojik, teknik ve ekonomik koşullara bağlı olarak cazibeyle veya çoğu kez kuyulardan pompajla kullanıma sunulmaktadır.

Yeraltı barajı inşası yoluyla su kaynaklarının geliştirilmesi konusu dünyada 30-40 yıldır

üzerinde çalışılan bir konu olmasına rağmen, Türkiye’de henüz yeterince uygulamaya konmamıştır. Özellikle Japonya, Hindistan, Güney ve Doğu Afrika ve Brezilya’da yeni teknikler geliştirildiği ve uygulandığı görülmektedir (Nilsson, 1988). UNESCO, Afrika’da birkaç barajın yapımını desteklemiştir. Uygun yerler seçildiğinde ve teknolojisine uygun bir şekilde inşa edildiğinde yeraltı barajlarının başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür (Nilsson, 1988).

Dünyada yeraltı barajlarının en fazla inşa edildiği ve bu konuda en fazla deneyimin yaşandığı ülke büyük bir olasılıkla Brezilya’dır. Ülkenin sadece Pernambuco eyaletinde 1990’lı yıllarda 500 adet küçük ölçekli yeraltı barajı inşa edilmiştir (Foster, 2002). Bu barajlar içme ve sulama suyu sağlamada kullanılmaktadır.

Japonya, özellikle kaya akiferlerinde enjeksiyonla büyük boyutlu yeraltı barajlarının inşa edildiği bir ülkedir. 1990 yılından sonra, Japonya Tarım Arazilerini Geliştirme Ajansı (JALDA), Miyakojima Adalarında, dünyanın en büyükleri olacak iki adet yeraltı barajı inşa etmiştir. Miyakojima (Japonya) adasındaki iki yeraltı barajının yıllık toplam depolama kapasitesi 20 milyon m³tür. Bu proje dünyanın en büyük yeraltı barajı projesidir. Proje, 2001 yılında tamamlanmıştır. Cut-off perdesi enjeksiyonla inşa edilmiştir. 147 adet sondaj kuyusundan pompajla elde edilen su çiftlik havuzlarına aktarılmakta ve oraldan da adanın tamamına dağıtılmaktadır (Ishida, vd, 2003). Bu barajlardan sonra Japonya’nın batısındaki Ryukyu ve Amami adalarında da yeraltı barajlarının yapımı planlanmıştır (Nagata vd. 1993). Ayrıca, Waite, Tengakuma, Tunegami, Kabasima, Minafuku ve Kaki adalarında yeraltı barajları inşa edilmiştir (Nagata vd. 1994). Bunların haricinde, Nakajima adasında fore kazık yöntemi ile bir baraj daha inşa edilmiştir.

Ülkemizde ise Toprak-Su Teşkilatı ve daha sonra Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen küçük ölçekli yeraltı barajlarının bulunduğu bilinmektedir. Vadi alüvyonlarında inşa edilen bu yapılar depolamadan çok, yeraltısuyu akışını cazibe ile iletim hattına çeviren bent şeklindeki yapılardır. Bunlarda çoğunlukla beton veya kil perde kullanılmıştır. Bu projelerin çoğunluğunda geçirimsiz perde ana kayaya kadar oturtulmuş, bir kısmında da alüvyon içinde askıda bırakılmıştır. Bu yapılar köylerin içme suyu veya küçük ölçekli sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla inşa edilmiştir.

Ülkemizde yakın zamanlarda vadi alüvyonlarında inşa edilen yeraltı barajlarından ilki DSİ V. Bölge Müdürlüğü tarafından Köy Hizmetleri Kırıkkale İl Müdürlüğü’nün makine yardımı ile Kırıkkale’nin Yahşihan ilçesinde inşa edilen yeraltı barajıdır. Yahşihan’a ve Kırıkkale Üniversitesine cazibe ile içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilen proje 2003 yılında tamamlanmıştır. Geçirimsiz granitler üzerindeki alüvyonda inşa edilen yeraltı barajında geçirimsiz gövde beton üzerinde kil çekirdekli zonlu toprak dolgudur. Diğer bir yeraltı barajı ise Ankara’nın Kalecik ilçesindedir. Kızılırmak’tan yapılan Gökçeören Pompaj Sulamasını cazibe ile takviye etmek amacıyla Maliboğazı mevkiinde inşa edilen yeraltı barajının ayrıntılı etütleri 2003-2004 yılında, baraj inşaatı 2004 yılı sonunda tamamlanmıştır. Zonlu toprak dolgu tipindeki barajın gövde yüksekliği 20,60 m, kret uzunluğu 50 m olup, Yahşihan yeraltı barajı gibi cazibelidir.

Orta Anadolu Bölgesinin Genel Özellikleri

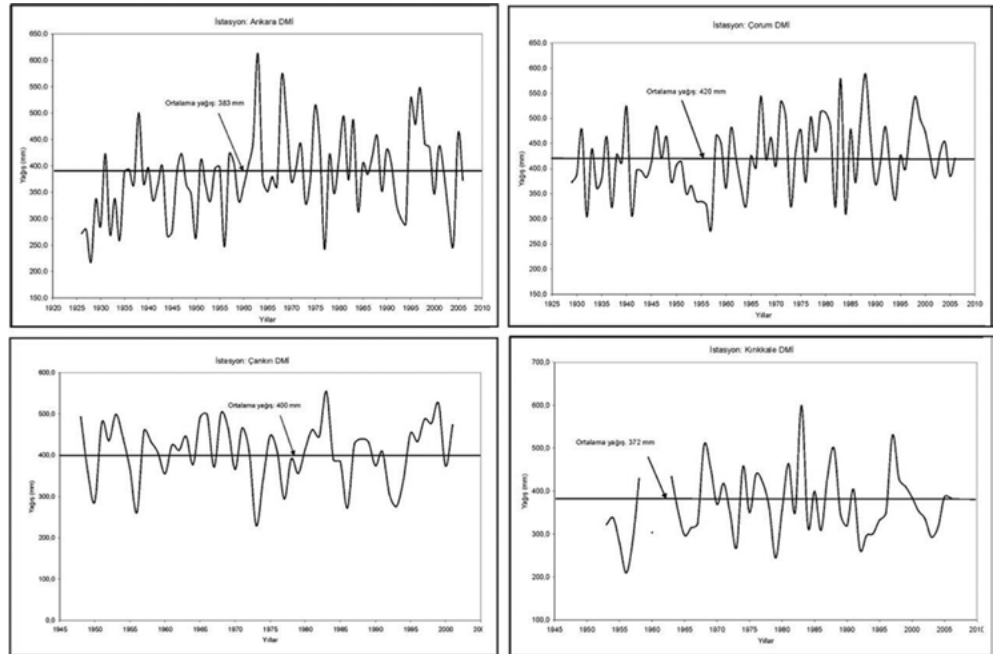
Orta Anadolu Bölgesinin Çankırı, Çorum, Kırıkkale ve Ankara illerinde genel topografik yapı; Kızılırmak, Yeşilirmak, Sakarya ırmaklarının oluşturduğu düşük kote sahip geniş ana vadiler ve ovalar ile bunlara ulaşan akarsuların ve yan kollarının oluşturduğu nispeten dar vadiler şeklindedir. İlçe, belde ve köy halindeki yerleşim birimleri çoğunlukla bu yan vadilerin ana vadiye açılan bölümlerinde veya orta-yukarı kesimlerinde bulunmaktadır.

Orta Anadolu bölgesi, Türkiye’nin en az yağış alan bölgesidir. Bölgede yıllık ortalama yağış 300-500 mm arasındadır (Şekil 1). Yağışlar yılın belirli aylarında (genellikle Aralık-Nisan) gerçekleşmekte, yaz ve sonbahar aylarında çok az yağış kaydedilmektedir. Yaz aylarında sıcaklığın da yüksek olması nedeniyle buharlaşma kayıpları da oldukça yüksektir. Yıllık yağışlar oldukça düzensiz olup, ortalamadan sapmalar oldukça belirgindir (Şekil 2). Bu özelliklere göre, Orta Anadolu Bölgesi yarıkurak bir bölge özelliğindedir. Orta Anadolu’nun kuzey bölümündeki Ankara, Kırıkkale, Çorum ve Çankırı illerinde yan havzaların orta-yukarı bölümlerinde metamorfikler, kristalin kayalar ve volkanikler gibi yüzey ve yeraltısuyu kalitesini bozmayan jeolojik formasyonlar ile tatlı su içeren alüvyon akiferleri yer almakta; yan havzaların alt bölümlerinde ve ana vadiler ile ovalarda ise evaporitik çökellerin yaygın olması nedeniyle tuzlanma sorunu bulunmaktadır (Şekil 3). Öyle ki birçok yan vadi alüvyonunda havza yukarisından havzanın ana havza ile birleşim yerine doğru inildikçe tatlıdan tuzluya doğru tedrici bir kalite değişimi gözlenmektedir.

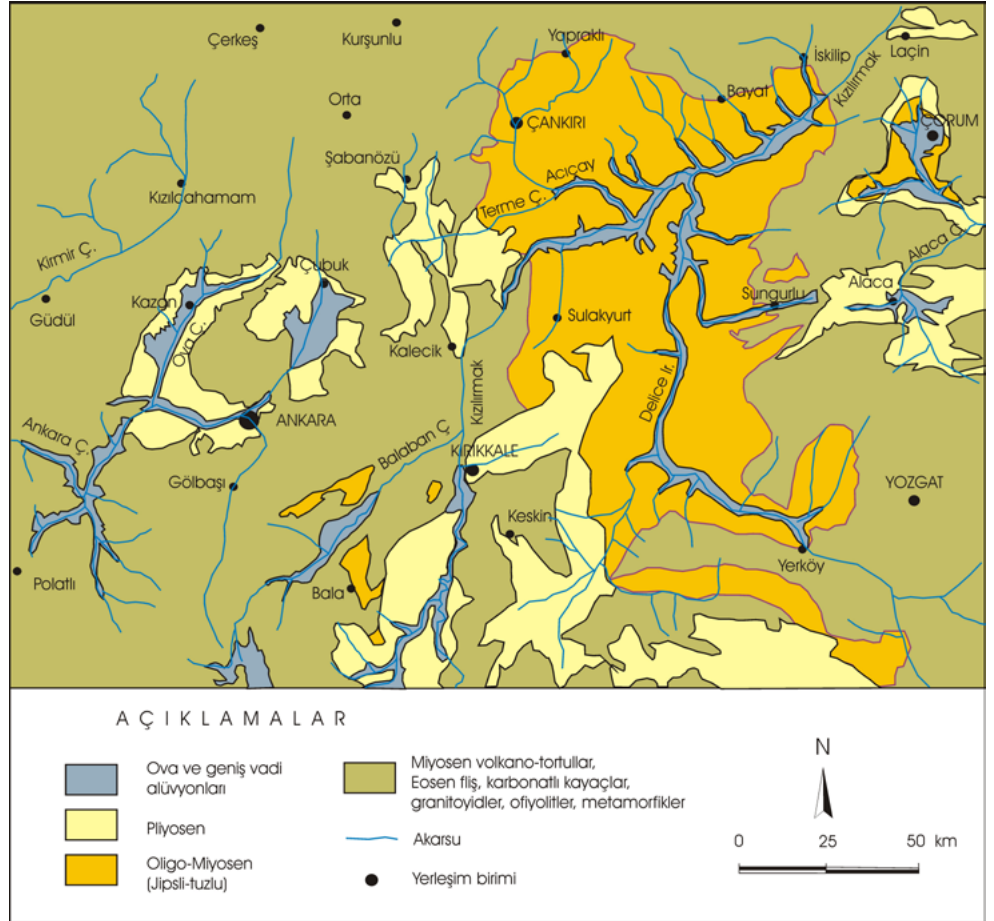


Şekil 1. Türkiye yağış haritası (Dünya ve Türkiye Coğrafya Atlası, D.B.R. yayını, 2002)

Yan havzaların aşağı bölümlerinde yeraltısularında özellikle içme-kullanma suyu yönünden tuzluluk sorunu bulunan yerleşim birimleri ihtiyaçlarını havza yukarılarından, çoğunlukla da başka yerleşim birimlerine ait arazilerden sağlamak zorunda kalmaktadırlar. Ancak havza yukarılarına doğru gidildikçe yağış havzası ile akiferin alanı daralarak ve kalınlığı azalarak küçülmekte, bunun sonucu olarak da yeraltısuyu potansiyeli azalmaktadır. Ayrıca yeterli hacme ve beslenme koşullarına sahip olmayan havza yukarısındaki vadi alüvyonları hem aşırı kullanımdan, hem de kuraklıktan çok çabuk etkilenmektedir. Bu tür alanlarda inşa edilen drenaj tesisleri son yıllarda yaşanan kuraklık nedeniyle yeraltısuyu seviyesinin düşmesi sonucunda tamamen askıda kalmış ve kullanılamaz duruma gelmiştir. Bazı tesislerden ise yılın ancak yağışlı aylarında su elde edilebilmekte, suya en çok ihtiyaç duyulan aylarda, su seviyesinin düşmesi sonucunda faydalanılmamaktadır. Su ihtiyacını kuyulardan elde eden yerleşim birimleri ise benzer şekilde su seviyesinin düşmesi nedeniyle ya pompalarını daha derine monte ederek çözüm aramakta veya kuyularını derinleştirmektedirler. Ancak bu bölgelerde akiferler sığ olduğundan (çoğunlukla 15-20 m) kuyuların derinleştirilmesi hidrojeolojik olarak faydasız olmakta, bu nedenle de su sıkıntısına çözüm bulunamamış olmaktadır.



Şekil 2. Orta Anadolu'daki bazı meteoroloji istasyonlarında yağışın zamanla değişimi



Şekil 3. Orta Anadolu'nun kuzey bölümünün genel jeoloji haritası (MTA 1:500000 ölçekli jeoloji haritalarından sadeleştirilmiştir)

3. Vadi Alüvyonlarında Yeraltı Barajı Yapımı İçin Kriterler ve Çalışma Aşamaları

3.1 Ön İnceleme ve Planlama Aşaması

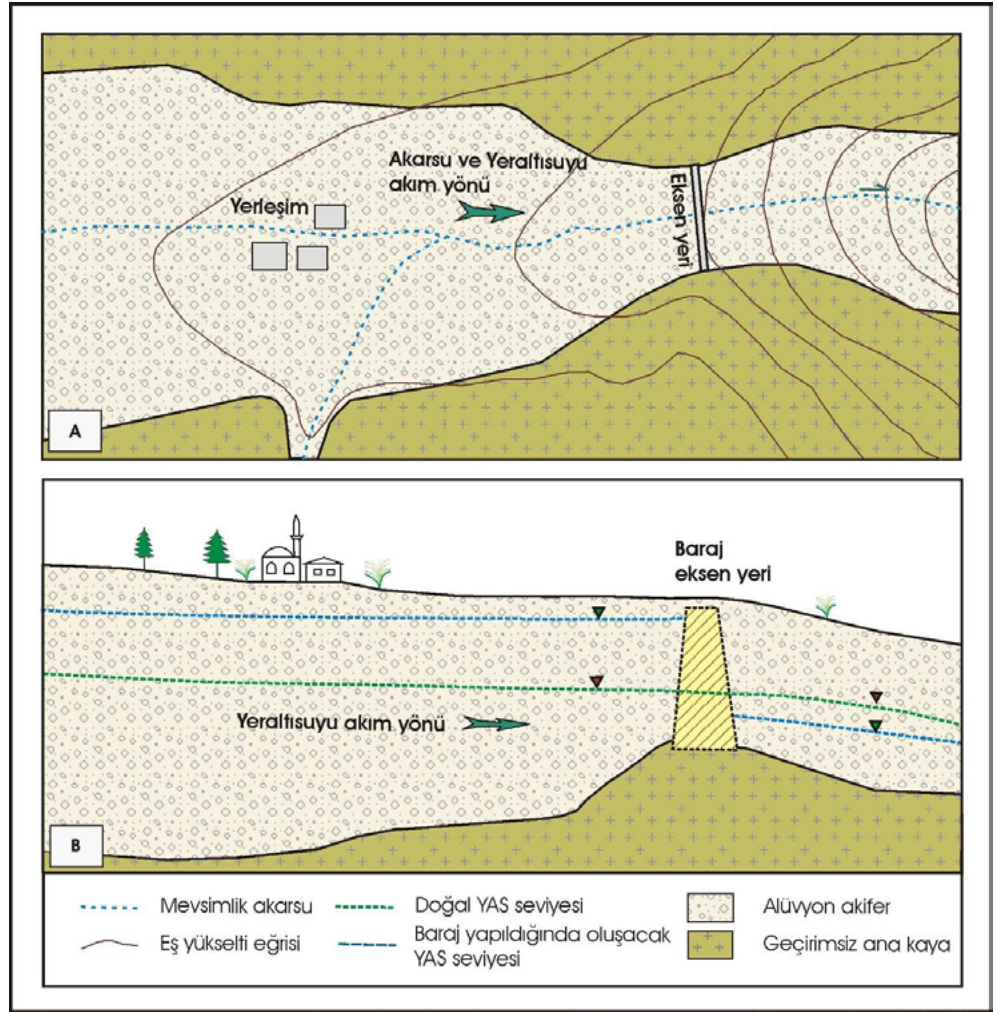
Yeraltı barajlarının inşa edilebilmesi için, yeterli kalınlık ve yayılıma sahip, alttan ve yanlardan geçirimsiz formasyonlarla sınırlı, depolama (S) ve hidrolik iletkenlik katsayısı (K) yüksek olan akifer formasyon, akiferin kesit alanının küçüldüğü dar bir boğaz bulunmalıdır (Şekil 4). Geçirimsiz perdenin inşaatında kil, beton veya sentetik malzemeler ile enjeksiyon sıvısı kullanılabilir.

Yer seçimi ve projelendirme yapılmadan önce, havza hidrolojisi ve hidrojeolojisi kapsamında yağış, yüzeysel akış, yeraltısuyu beslenimi konularının araştırılması gerekmektedir. İnşa edilecek gövdenin arkasında yeterli hacimde gözenekli ortam olsa bile, akiferin depolama alanında ve depolama alanı gerisinde beslenim koşullarının istenen nitelikte olması son derece önemlidir. Bunun için akiferin yayılımının geniş, süzülmenin fazla olması açısından akiferin ve varsa üzerindeki toprak örtünün iri taneli olması avantajdır. Ayrıca, akiferin boyutlarının yanında, depolama özellikleri (pompalama testleri ve lab. deneyleri ile belirlenebilir), taban formasyonunun geçirimsizliği, derinliği, yeraltısuyu seviyesi ve değişimi, depolanacak suyun nasıl elde edilebileceği (cazibeyle veya kuyulardan pompajla), cazibeli olarak yararlanılması mümkünse su alma yapısının kötü ve boru çapı, gövdenin inşası için geçirimsiz malzeme olanakları vb. konuların araştırılması ve projelendirmenin bu çalışmalardan elde edilen verilere göre yapılması gerekmektedir (Şekil 5). Ayrıca, yeraltısuyu kalitesinin (kimyasal, fiziksel ve bakteriyolojik açıdan) kullanma amacına uygunluğunun belirlenmesi gerekmektedir.

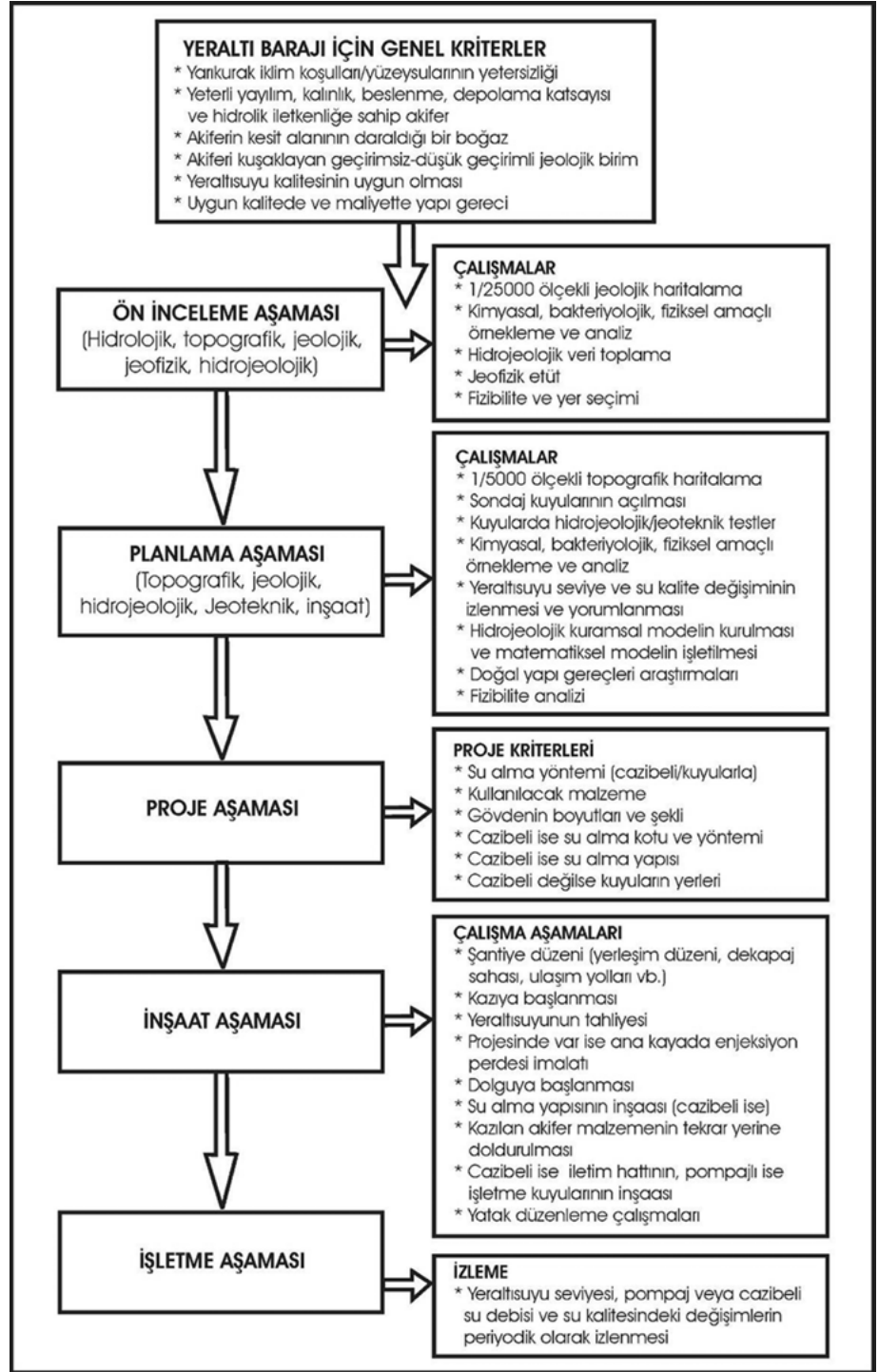
Vadi alüvyonlarında yeraltı barajlarının yapılabilmesi için aşağıdaki koşulların uygun olması yararlı olmaktadır.

- Kalınlığı genellikle 10-15 m'yi geçmeyen alüvyon ortamlar tercih edilmelidir. Ancak kazı güçlüğü ortadan kaldırıldığında, daha kalın alüvyonlarda da yeraltı barajı yapılabilir. Topografyanın uygun olması halinde, kalınlık arttıkça depolama hacmi ve dolayısıyla da yararlanılabilecek su miktarı artmaktadır.

- Akiferin depolama katsayısı (S) ve hidrolik iletkenliği (K) yüksek olmalıdır.
- Alüvyonun altında kazıyla ulaşılabilecek veya etkili enjeksiyon yapılabilecek derinlikte geçirimsiz ortam bulunmalıdır.
- Akiferin yüzey alanı ve beslendiği havza alanı geniş olmalı, ve/veya yağışlı aylarda akifere beslenimin olabileceği yeterli yüzeysel akışın olması veya akifere yan formasyonlardan beslenimin olması gerekmektedir.
- Kazıda ve dolguda ekonomi ve teknik güçlükler yönünden, akifer formasyonunun daraldığı ve kalınlığının azaldığı bir boğaz olmalıdır.
- Gövde inşa edildiğinde, gövde gerisinde suyun depolanabileceği yeterli büyüklükte yeraltı rezervuarı oluşabilmelidir. Bu, topografik eğimin az olması, perde gerisinde akiferin kalınlaşması ve yayılımının artması halinde mümkündür. Ancak bu koşul her durumda zorunlu değildir. Eğimin fazlalığından dolayı kret kotu altında kalan depolama hacmi az olsa dahi, akifer havza gerisine doğru geniş alanlara uzanıyorsa ve yeterli miktarda besleniyorsa, yeraltı barajı inşa edilmesi mümkündür.



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



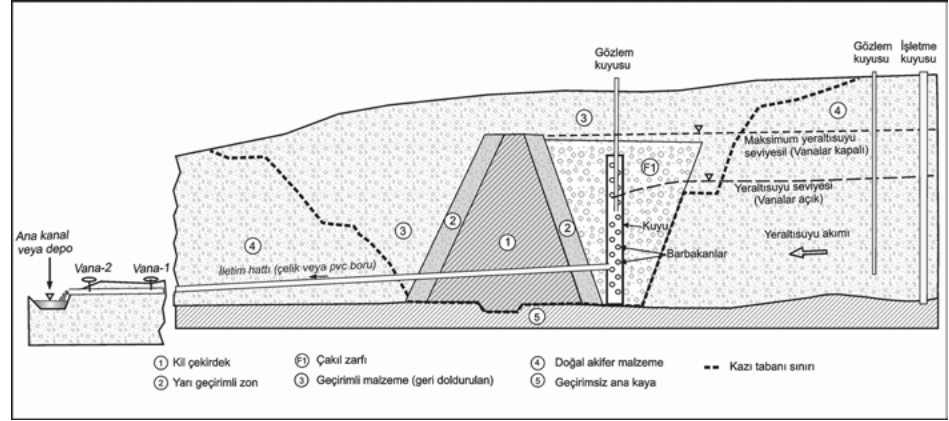
Şekil 5. Vadi alüvyonlarında yeraltı barajı yapımı için kriterler ve iş akış şeması önerisi

Fizibilite Analizleri ve Proje Aşaması

Yeraltı barajlarında geçirimsizliği sağlayacak olan perdenin inşaatında değişik türde doğal veya yapay malzemeler kullanılabilir. En çok kullanılanlar kil, beton, plastik, blok kaya veya bunların kombinasyonudur. Malzemenin seçiminde, yerüstü barajlarında olduğu gibi, doğal koşullar ile maliyet etkili olmaktadır.

Yeraltı barajlarında inşaat maliyetini etkileyen önemli kalemler geleneksel yüzey barajlarında olduğu gibi etüt ve sondaj çalışmaları, gövdede kullanılacak malzemenin türü, taşıma maliyeti, gövde ve iletim hattı kazıları, su alma yapısı veya sondaj kuyusu inşaatları, pompalar ve enerji tesisleridir. Her biri ayrı bir uzmanlık ve özel uzmanlık gerektiren bu çalışmaların planlaması yapılmadan fizibilite çalışmalarının yapılması mümkün değildir. Fizibilite çalışmaları sonucunda barajın boyutlandırılması yapılarak, işletme şekli belirlenmeli ve bunlara göre inşa edilecek ilave tesisler (su alma yapısı, cazibeli iletim hattı veya kuyular, pompalar vb) projeye ilave edilmelidir.

Ekonomiklik açısından, yüzey barajlarında olduğu gibi en ucuz malzeme kullanılmalıdır. Farklı tipteki barajların dizayn standartları baraj tipine göre değişmektedir. Genel olarak en ucuz yeraltı barajları yakın yöreden ve kazılan alandan sağlanabilen toprak dolgu barajlardır. Ancak, klasik beton kemer veya bulamaç hendeği (slury trench) yöntemleri uygulanarak da alüvyon vadilerinde yeraltı barajları inşa etmek mümkündür. Orta Anadolu alüvyon vadilerinde önerilen cazibeli ve aynı zamanda pompajlı yeraltı barajı tip projesi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Orta Anadolu vadi akiferlerinde önerilen dolgu yeraltı barajı modeli (cazibeli ve pompajlı)

3.3 İnşaat Aşaması

Akifer kalınlığı arttıkça, başka bir deyişle gövdenin oturtulacağı geçirimsiz formasyonun tavanı derinleştikçe kazı miktarı ve güçlüğü o ölçüde artmaktadır. Kazıda en önemli sorun şev stabilitesi ve su seviyesinin altına inildiğinde drenaj sorunudur. Drenaj, ya açılacak kuyulardan, ya da kazı çukurundan pompajla yapılabilir. Kazıdan çıkan ve kazılan yere tekrar konacak olan malzemenin geçici olarak depolanması da ayrı bir konudur. Baraj inşaatının bir an önce bitirilebilmesi için, kazı çalışmalarına başlamadan önce bütün hazırlıklar tamamlanmış, şantiye alanında yerleşim planı hazırlanmış, drenaj kuyuları açılmış, enerji, kazı makineleri ve taşıyıcı araçlar ve gerekli diğer araç-gereçler hazırlanmış olmalıdır.

Perde derinliği, makinelerin maksimum kazı derinliği olan 5-6'm den fazla ise kazı, ikinci, hatta üçüncü palye oluşturularak ve uygun şev eğimi verilerek güvenli bir şekilde yapılmalıdır. Kazıda dikkat edilecek diğer bir husus, kazılan malzemenin geçici olarak depolanabileceği alanların belirlenmesidir. Kazılan malzemenin bir bölümü geri doldurulacağından, ulaşım, makinelerin manevra alanı, şantiye yerleşimi ve diğer hususlar göz önüne alınarak kazı alanına mümkün olan en yakın yerlere boşaltılmalıdır.

Geçirimsiz perdenin yapımında kullanılan kil, standardına uygun su içeriği ve kuru birim hacim ağırlığında sıkıştırılmalıdır. Literatürde, yeraltı barajlarında kil perdenin yerüstü barajlarına göre daha ince inşa edilmesinin mümkün olduğu belirtilmekte, ancak bununla ilgili bir oran veya belirli bir kalınlık verilmemektedir.

Su, cazibe ile elde edilecekse, su alma yapısı dolgunun inşaatı sırasında projesinde belirtilen kota inşa edilir. Bunun için genellikle gövde arkasına etrafı kaba taneli çakıl malzeme (çakıl zarfı) ile kuşaklanan bir keson kuyu inşa edilerek iletim hattının ucu gövde içinden keson kuyuya bağlanmaktadır. Su alma yapısının kotu, topografik yapıya bağlı olarak iletim hattı için yapılacak kazı miktarına ve suyun götürüleceği sulama alanının veya havuz/depo gibi ikinci depolama yapılarının kotuna bağlıdır. Su alma yapısı ne kadar derine inşa edilirse, cazibe ile alınabilecek su o kadar fazla olacaktır. Ancak, su alma yapısı derine indikçe iletim hattı boyunca kazı maliyeti ve kazı güçlüğü de artmaktadır. Barajdan kuyular açılarak pompajla yararlanılması planlanmışsa, kuyu yerlerinin seçimi için ayrıntılı çalışmalar (jeofizik çalışmalar sonucunda araştırma kuyuları ve pompalama testleri) yapılmalı, bu çalışmalardan elde edilen verilere göre matematiksel model kurularak optimum işletme koşulları belirlenmelidir.

Eğer baraj eğimli bir arazide inşa edilmişse veya gövde yüksekliği fazla ise cazibe ile su alınması daha kolaydır. Ancak akifer ince taneli malzemeden oluşuyorsa (hidrolik iletkenliği düşükse) cazibe ile su elde edilecek şekilde su alma yapısı inşa edilmiş olsa da, istenen miktarda su elde edilemeyebilecektir. Bu durumda, geniş çaplı kuyulardan pompajla çekim yapılması gerekmektedir. Aslında, yeraltı barajlarının mümkünse her iki su elde etme yöntemine göre inşa edilmesinde yarar görülmektedir.

3.4 İnşaat Sonrası İşletme Aşaması

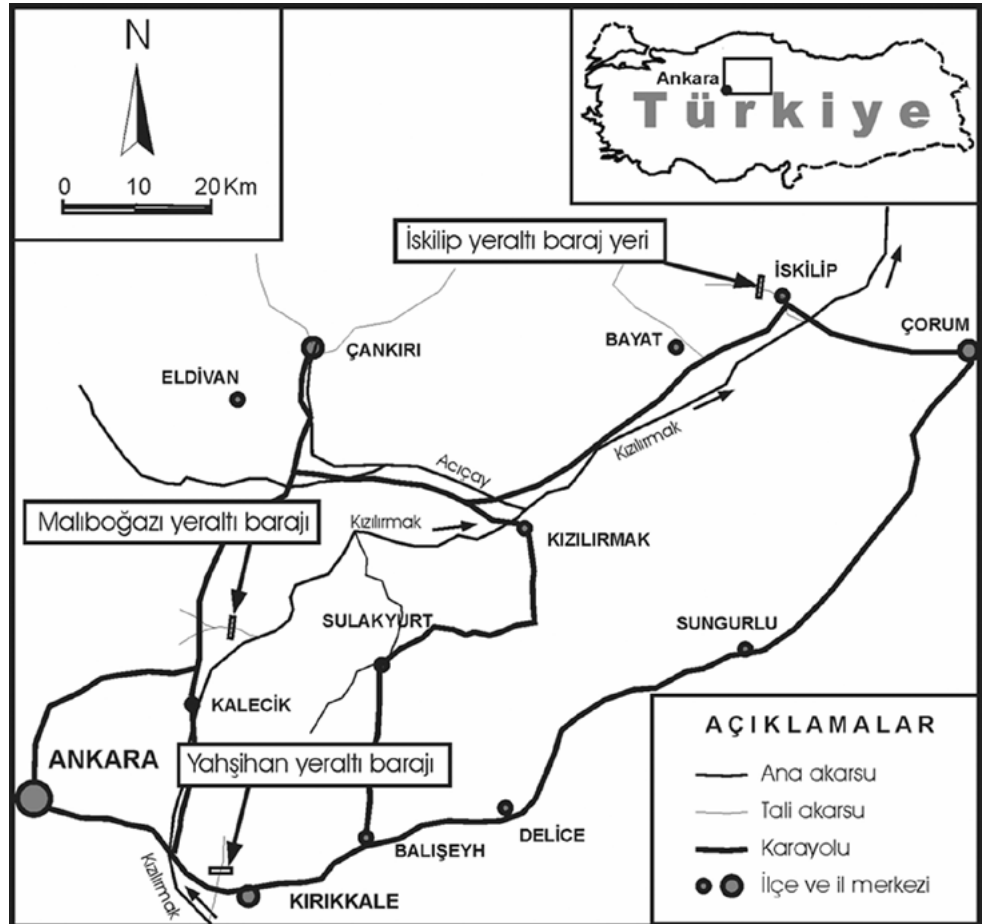
Yeraltı barajlarında inşaat sonrasında yapılması gereken çalışmalar ve ölçümler yerüstü barajlarındakine benzerdir. Yerüstü barajlarında, baraj gölündeki su seviye değişimini gözlemek amacıyla kurulan eşel sistemine benzer şekilde, akiferde yeraltısuyu seviye değişimini periyodik olarak ölçerek kaydetmek amacıyla gözlem kuyuları açılmalıdır. Gözlem kuyularının yerleri ve sayısı, akiferin boyutlarına, heterojenliğine, yeraltı barajının kullanma şekline (kuyularla veya cazibe ile) göre belirlenmelidir. Çekilen veya cazibe ile alınan debiye karşılık akiferde su seviyesindeki düşüm veya beslenme dönemindeki yükselimler kaydedildiğinde, akiferin davranışı daha net bir şekilde ortaya konacak, aynı zamanda da işletmede yaşanacak belirsizlikler ve güçlükler ortadan kaldırılmış olacaktır. Özellikle yağışların düzensiz ve yetersiz olduğu bölgelerde ölçümlerin sık aralıklarla yapılması son derece önemlidir. Cazibe ile su elde edilen yeraltı barajlarında debi değişimi ile birlikte akiferdeki su seviye değişimi de periyodik olarak kaydedilmelidir.

4. Mevcut Baraj Örnekleri ve Önerilen Proje

4.1 Mevcut Örnekler

Ülkemizde Toprak-Su Teşkilatı ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından inşa edilen küçük ölçekli yeraltı barajlarının bulunduğu bilinmektedir. Vadi alüvyonlarında inşa edilen bu yapılar depolamadan ziyade, gövde gerisine gelen yeraltısuyu akışını toplayıp cazibe ile iletim hattına çeviren bent şeklindeki yapılardır. Bunlarda çoğunlukla beton veya kil perde kullanılmıştır. Bu projelerin çoğunluğunda geçirimsiz perde ana kayaya kadar oturtulmuş, bir kısmında da alüvyon içinde askıda bırakılmıştır. Bu yapılar köylerin içme suyu veya küçük ölçekli sulama suyu ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla inşa edilmiştir.

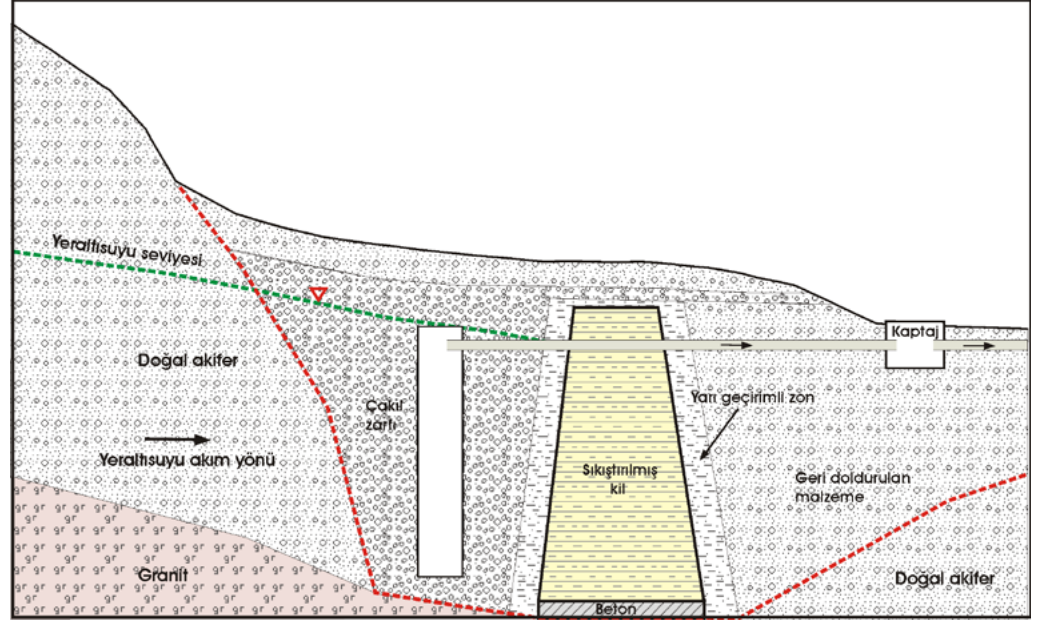
Orta Anadolu bölgesinde vadi alüvyonlarında inşa edilen yeraltı barajlarına ilk örnek, DSİ V. Bölge Müdürlüğü tarafından Köy Hizmetleri Kırıkkale İl Müdürlüğü'nün makine yardımı ile Kırıkkale'nin Yahşihan ilçesinde inşa edilen yeraltı barajıdır (Şekil 7). Yahşihan'a ve Kırıkkale Üniversitesine cazibe ile içme suyu sağlamak amacıyla inşa edilen baraj 2003 yılında tamamlanmıştır. Geçirimsiz granitler üzerindeki alüvyonda inşa edilen yeraltı barajında gövde; beton üzerinde kil çekirdekli zonlu toprak dolgudur (Tablo 1; Şekil 8).



Şekil 7. Orta Anadolu'da son yıllarda inşa edilen ve etüt çalışmaları süren yeraltı barajlarının yerlerini gösteren harita

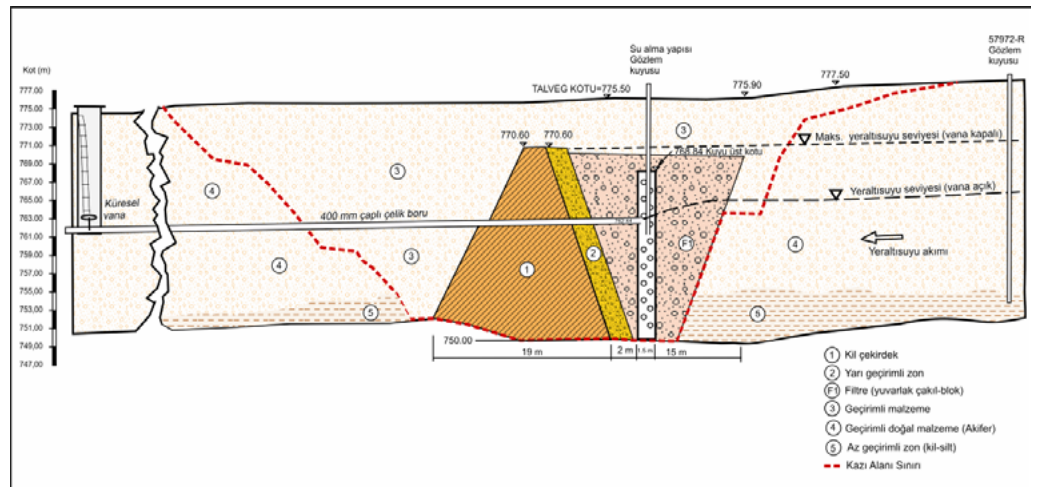
Tablo 1. Yahşihan (Kırıkkale) yeraltı barajına ait bilgiler (Apaydın vd., 2005)

Tipi	Kil çekerdeklili zonlu toprak
Kazı derinliği (talvegden)	Maks. 34 m
Gövde yüksekliği	Temelden 14 m (beton tabya dahil)
Su alma yapısı yeri	Temelden 12 m
Kret uzunluğu	20 m
Akifer	Alüvyon
Geçirimsiz temel kaya	Granit
Debi (ortalama)	20-30 l/s
Bitiş yılı	2003



Şekil 8. Yahşihan yeraltı barajının kesiti

Diğer bir yeraltı barajı ise Ankara'nın Kalecik ilçesindedir. Kızılırmak'tan yapılan Gökçeören Pompaj Sulamasını cazibe ile takviye etmek amacıyla Malıboğazı mevkiinde inşa edilen yeraltı barajının ayrıntılı etütleri 2003-2004 yılında, baraj inşaatı 2004 yılı sonunda tamamlanmıştır. Zonlu toprak dolgu tipindeki barajın gövde yüksekliği 20,60 m, kret uzunluğu 50 m olup, Yahşihan yeraltı barajı gibi cazibelidir (Şekil 9; Tablo 2).



Şekil 9. Malıboğazı yeraltı barajının kesiti

Tablo 2. Malıboğazı (Kalecik) yeraltı barajına ait bilgiler (Apaydın vd., 2005)

Gövde tipi	Kil çekirdekli zonlu toprak dolgu
Maksimum kazı derinliği	26 m
Gövde kazısı	80 600 m ³
Kret uzunluğu	50 m
Gövde yüksekliği	20.60 m
Gövde taban kotu	750.0 m
Kret kotu	770.60 m
Su alma kotu (cazibeli)	762.44 m
İletim hattı	2 km, 400 mm çaplı çelik boru
Yağış alanı	80 km ²
Debi (l/s)	25-30 l/s
Rezervuar uzunluğu	500 m
Rezervuar ort. genişliği	60-70 m
Rezervuar yüksekliği (aktif)	10 m
Depolama katsayısı=Özgül verim	0.15
Aktif depolama (tahmini)	50 000 m ³
Toplam depolama (tahmini)	100 000 m ³
Baraj inşaatı başlangıcı-bitişi	Ağustos, 2004- Aralık, 2004

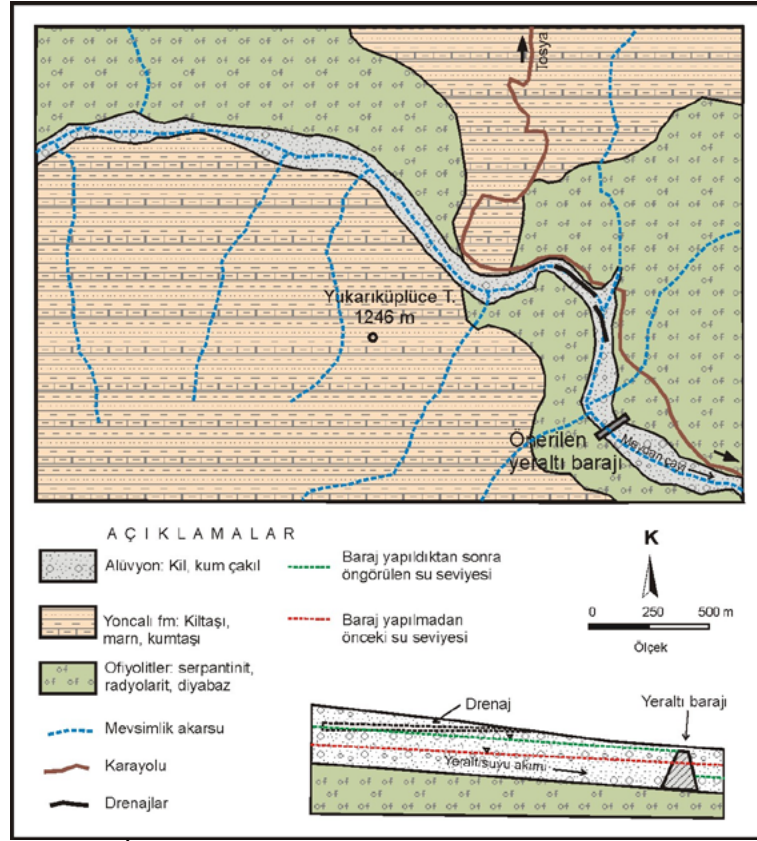
4.2 Önerilen Proje: İskilip (Çorum) Yeraltı Barajı

Çorum'a bağlı İskilip Belediyesi içme suyu ihtiyacını ilçenin kuzeyinde ve kuzeybatısındaki alüvyonda açılan sondaj kuyularından ve Meydan çayında inşa edilen drenaj tesislerinden elde etmektedir. Ancak, kurak aylarda kuyuların verimleri azalmakta ve drenajlar yeraltısuyu seviyesinin düşmesi sonucunda doygun zonun üzerinde kalarak kurumaktadır. İlçenin cazibeli su miktarını arttırmak amacıyla, drenajların 500 m akış aşağısında bulunan boşazda bir yeraltı barajı inşa edilmesi önerilmiş ve 2007 yılı sonu itibarıyla ön inceleme çalışmaları tamamlanmıştır.

Meydan çayı vadisi boyunca uzanan alüvyon, ilk incelemelere göre kaba taneli (kumlu, çakıllı, bloklu) olduğundan akifer özelliğindedir. Alüvyonun altında ofiyolitler bulunmaktadır. Yeraltı barajı inşa edilmesi planlanan yerin 500 m akış yukarısında iki adet drenaj tesisi bulunmakta olup, Belediye yetkililerinden alınan bilgilere göre drenajlardan ancak bahar aylarında su elde edilebilmektedir. Yeraltı barajının yapılmasıyla, gövde gerisinde yeraltısuyu seviyesinin yükseltilmesi suretiyle drenajlardan yıl boyunca faydalanılması ve buna ek olarak da gövde alt kotuna inşa edilecek su alma yapısından ilave bir su elde edilmesi hedeflenmektedir. Ön inceleme çalışmalarından elde edilen bilgilere (Tablo 1) göre, yeraltı barajında planlama aşaması çalışmalarına başlanabileceği sonucuna varılmıştır (Şekil 10). Planlama aşamasında açılacak pompaj ve gözlem kuyularından elde edilecek verilere göre, barajın yapılabilirliği matematiksel modelle de test edilecektir.

Tablo 3. İskilip yeraltı barajına ait bilgiler

Yeri	Meydan çayı vadisi
Koordinatları	618500-4518350
Yağış alanı	48 km ²
Akifer	Az kumlu, çakıllı, bloklu alüvyon
Anakaya	Ofiyolit
Eksen genişliği	40 m
Akifer kalınlığı	15 m (ortalama)
Akifer alanı	0.53 km ²
Akiferin beslenmesi	Yağış, yüzeysel akış ve yan formasyonlardan
Akiferin depolama katsayısı (özüml verimi)	0.20 (tahmini)



Şekil 10. İskilip yeraltıbarajı jeoloji haritası ve hidrojeolojik kesiti

5. Sonuçlar ve Öneriler

Yeraltı barajları kırsal kesimdeki insanlara daha kaliteli ve sürekli su sağladığından çok önemlidir. Örneğin, Brezilya'nın Mutuca bölgesinde inşa edilen barajlarda, bir veya birkaç yılda elde edilen gelir, maliyeti amorti etmektedir (Foster, 2002). DSİ tarafından Ankara'nın Kalecik ilçesinde inşa edilen Malıboğazı yeraltı barajında hem yaklaşık 40 ha arazi sulanmakta, hem de Kalecik Pompaj sulamasından 75 000 Kwh enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Maliyeti düşürmek için daha ucuz malzemeden yapılabilme imkanlarının araştırılması son derece önemlidir.

Ülkemizde özellikle Orta Anadolu'da alüvyon vadilerinde yeraltı barajı için uygun yerler bulunmaktadır. Yan vadi alüvyonlarında yeraltı barajları inşa edilerek, buralardaki yerleşim birimlerine içme-kullanma ve küçük ölçekli sulama suyu sağlanabilecek ve aynı zamanda, havza üst kotlarından gelen tatlı yeraltısularının havza alt bölgelerine inerek tuzlanması önlenmiş olacaktır. Ayrıca, taşkın koruma amacıyla inşa edilen tersip bentlerinden su depolama amacıyla da yararlanılması düşünülmelidir. Bu yapılarda küçük köyler ve beldelerin içme suyu ihtiyacını karşılamaya yetecek miktarda yeraltısuyu depolamak mümkün olabilmektedir. Ancak, projeler havzanın yeraltı-yerüstü su potansiyeli ve suya olan talepler dikkate alınarak entegre su planlaması çerçevesinde uygulamaya konmalıdır.

Yeraltı barajlarının yer seçiminde jeolojik-hidrojeolojik ve sondaj çalışmalarıyla akiferin ve bent yerinin geometrisi, ana kayanın geçirimsizliği, geçirimsiz ana kayanın derinliği ortaya konmalıdır. Bunun için akiferde ve gerekirse yamaçlarda sondajlar açılarak testler yapılmalıdır. Hidrojeolojik amaçlı açılacak kuyularda pompalama deneyleri yapılarak inşa edilecek bent yerine gelen su miktarı hesaplanmalıdır. Gövdenin inşa edilmesi sonucunda, akiferde su seviyesi yükseltildiğinde ne kadar su depolanacağı ve bu suyun cazibe ile elde etme imkanları ve bunun için kazı maliyeti hesaplanmalıdır. Baraj gövdesi mutlaka geçirimsiz zemine oturtulmalıdır.

Yeraltı barajlarının projelendirme aşamasında su elde etme seçeneklerinin hem fiziksel arazi koşulları, hem de maliyet açısından güçlükleri dikkate alınarak iyi bir fizibilite çalışmasının yapılması ve projelendirmenin bu fizibilite verilerine göre yapılması son derece önemlidir.

Baraj inşaatının bir an önce tamamlanabilmesi için, şantiye alanında yerleşim planı hazırlanmış, drenaj kuyuları açılmış, enerji, kazı makineleri ve taşıyıcı araçlar ve gerekli

diğer araç-gereçler hazırlanmış olmalıdır. Kazı süresince su problemi yaşanmaması için kazı alanının membainası ve gerekiyorsa mansabına açılmış olan kuyulardan, kazı süresince pompalarla yeraltısuyu kazı alanı dışına tahliye edilerek su tablası düşürülmelidir. Kazı güvenliğini sağlamak için palyeli kazı yapılmalı ve yamaç eğimleri stabilizeyi sağlayacak şekilde oluşturulmalıdır. Kazıdan çıkan malzemenin çoğu gövde inşa edildikten sonra tekrar yerine konacağından, taşkın vb. etkilerden mümkün olduğunca uzak, ancak kazı alanına mümkün olduğunca yakın bir alana düzgün bir şekilde depolanmalıdır.

Baraj tamamlandıktan sonra debi ve akiferde su seviye ölçümleri periyodik olarak yapılarak, barajın işlevini ne ölçüde yerine getirdiği test edilmeli ve akiferin davranışı sürekli olarak izlenmelidir. Yeraltı barajlarından başarılı sonuçlar alınabilmesi için, ön incelemeden inşaat sonrasına kadar olan bütün çalışmalarda özellikle hidrojeoloji ve mühendislik jeolojisi konusunda uzman mühendislerle inşaat mühendisi ve diğer mühendislerin koordineli çalışması zorunludur.

ÖNEMLİ NOT: Bu makale “Kuraklık ve Su Yönetimi Toplantısı”, 15 – 16 Mayıs 2008’de sunulmuş ve Bildiri Kitabında basılmıştır.

Apaydın, A., Aktaş, S.B., ve Kaya, S., 2008. “Orta Anadolu Bölgesinde Kuraklıkla Mücadelede Alternatif Öneri: Yeraltı Barajları”, Kuraklık ve Su Yönetimi Toplantısı Bildiri Kitabı, 15-16 Mayıs, ss. 184-198.

Kaynaklar

- 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, Gümüş-İzmir.
- Foster, S., 2002, Subsurface Dams to Augment Groundwater Storage in Basement Terrain for Human Subsistence-Brazilian Experience, World Bank Case Profile Collection No:5,5p.
- Ishida, S., Kotoku, M., Abe, E., Fazal, M.A., Tsuchihara, T. And Imaizumi, M., 2003, Construction of Subsurface Dams and Their Impact on the Environment, RMZ-Materials and Geoenvironment, Vol. 50, No. 1, pp. 149-152.
- Nagata, S., Enami, N., Nagata, J. and Katho, T., 1993, Design and Construction of Cut-off Walls for Subsurface Dams on Amami and Ryukyu Islands in the Most Southwestern Part of Japan, Hydrogeology, Selected Papers, Vol.4, pp. 229-245.
- Nagata, S., Azuma, K., Asano, M., Nishijima T., Shiiba, H., Yang, D.S.. and Nakata, R., 1994, Nakajima Subsurface Dam, Proceedings of 21st Annual Conference, Sponsored by the Resources Planning and Management Div./ASCE May 23-26, Denver, Colorado.
- Nilsson, A., 1988, Groundwater Dams for Small-Scale Water Supply, IT Publication, 69 pp.
- Önder, H. ve Yılmaz, M., 2004, Yeraltı Su Kaynaklarının Sürdürülebilir İşletilmesi ve İdaresinde Yeraltı Barajlarının Önemi, Yapı Dünyası, Aylık Mesleki Bilim Teknik Haber Dergisi, Eylül 2004/102, 41-49.
- Santos, J-P. dos and Frangipani, A., 1978, “Barragens Submersas - Uma Alternativa Para Nordeste Brasileira,” in Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Vol. 2, “São Paulo,” pp. 119-126 (Anais ABGE, 1).
- UNESCO, 1984, Project Newsletter No.2, Major Regional Project on the Rational Utilisation and Conservation of Water Resources of Rural Areas of Africa (South of the Sahara), Paris, pp.5,6,7 and 10.