

Su Yapılarının Projelendirilmesinde Jeotekniğin Önemi ve Çarpıcı Örnekler

Dr. Erdal Şekercioğlu

Ensu Mühendislik ve Müşavirlik Ltd. Şti.
Harbiye Mah. Şehit Alaattin Saraç Yakupoğlu Sok. No:53/6 Dikmen-Ankara
Tel: 0312 4797411
erdal.sekercioğlu@ensu.com.tr

Öz

Su yapılarının projelendirilmesi ve inşaatında jeoteknik çalışmalar ve elde edilen verilerin değerlendirilmesi oldukça önemli olup bu durumun aksaması halinde önemli sorunlar yaşanmaktadır. Bu çalışmada yurdumuzda ve diğer ülkelerde su yapılarının inşaatı sırasında veya sonrasında yaşanan problemler, nedenleri ve uygulanan çözüm yöntemleri anlatılmaktadır. Dünyada bu konudaki olumsuz örneklerin başlıcalarını, Amerikadaki Teton Barajı ile İtalyadaki Vajont barajı oluşturmaktadır. Bu iki barajda da proje aşamasında elde edilen veriler yeterince dikkate alınmamış ve tüm dünyaca bilinen yıkılma olayları yaşanmıştır. Yurdumuzda ise yıkılan bir baraj yoktur. Ancak jeolojik nedenlere bağlı olarak gelişen büyük su kaçakları olmuştur. Keban Barajı ile May Barajı bu konudaki en önemli örnekleri oluşturmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Geçirimlilik, Enjeksiyon perdesi, Karstlaşma, Borulanma, Heyelan,

Giriş

Jeoloji biliminin mühendislik işlerinde söz sahibi oluşu bütün dünyada yeni olmakla birlikte yurdumuzda çok daha kısa bir tarihe sahiptir.

Mühendislik jeolojisi, mühendislik biliminin ana bilim dallarından bir tanesini oluşturur. Bu bilim dalında özellikle son 50-60 yıl içinde büyük gelişmeler kaydedilmiştir. Artık kayaç tanımlamaları uluslararası standartlaşmış parametreler ve simgelerle belirtilmektedir. Böylece bir proje üzerinde çalışan jeoloji mühendisi ile inşaat mühendisi birbirini daha iyi anlayabilmekte ve başarılı projeler geliştirmektedir.

Bu nedenle bir jeoloji mühendisinin herhangi bir su yapısının projelendirilmesinde ne tür araştırmalar yapacağını, inşaat mühendisinin de jeoloji mühendisinin elde ettiği bilgileri ne şekilde kullanacağını çok iyi bilmesi gerekir. Özet olarak ani konuda çalışan iki meslek üyesinin birbirlerinin dilini anlaması ve diğer meslek hakkında az da olsa temel bilgilere sahip olması gerekir.

Geçmişte jeolojik etütler daha çok başarısızlıkla sonuçlanan mühendislik yapılarının onarılması ve tartışılması amacı ile yapıldı. Ancak zaman içinde yaşanan tecrübeler jeolojik etütlerin, projenin başlangıcında ilk adım olarak yapılması gereken bir iş olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Barajcılığın tarihçesi incelendiğinde ortaya çıkan olumsuzlukların temelinde jeolojik etüt eksikliğinin veya belirlenen jeolojik özelliklerin gerektiği şekilde dikkate alınmadığının bulunduğu görülür. Bu konuda ne yazık ki dünyada olduğu gibi yurdumuzda da bazı kötü örnekler bulunmaktadır.

Sorunların Başlıca Nedenleri

Su yapısı inşaatlarında ortaya çıkan sorunlar incelendiğinde başlıca sebeplerin,

- Proje çalışmaları sırasında gerekli jeolojik ve jeoteknik çalışmaların gerektiği şekilde yapılmaması veya eksik yapılması,
 - Yapılan çalışmalardan elde edilen verilerin yeterince değerlendirilmemesi veya dikkate alınmaması,
 - İnşaat sırasında ortaya çıkan beklenmeyen jeolojik koşullara uygun önlemlerin alınmaması,
- olduğu görülmektedir.

Yurt içinde ve yurt dışında bu konuya olumlu veya olumsuz yönleri ile örnek olabilecek çok sayıda proje bulunmaktadır. Yurdumuzda yıkılan bir baraj olmamıştır. Sadece yapım sırasında veya sonrasında, su kaçakları, şev sorunları, yeraltı kazılarında göçükler gibi olumsuzluklar yaşanmıştır. Ancak gölet olarak adlandırılan küçük barajlardan bir kaçının yıkıldığı da bilinmektedir.

Geçmişteki olayların iyi incelenmesi ve unutulmaması, günümüzde ve gelecekte benzer hataların tekrarlanmasını önler. Bu nedenle, ortaya çıkan sorunların saklanması yerine teknik düzeyde tartışılması son derece yararlıdır. Örneğin, Vajont ve Teton barajlarının sorunlarıyla ilgili olarak tüm dünyada geniş ve ayrıntılı yayınlar yapılmıştır.

Yurt Dışında Yaşanan Örnekler

Dünya literatürüne de geçmiş bu örnekler arasında çok güç jeoteknik koşullara rağmen başarı ile inşa edilen Aswan Barajı ile yapımından hemen sonra yıkılan Teton ve Vajont Barajları ön sıralarda yer almaktadır.

Aswan Barajı

Dünyanın büyük nehirleri arasında yer alan Nil Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Talvegden 111m yüksekliğinde ve kaya dolgu tipindedir. (Foto-1.)

1960 yılında inşaatına başlanmış ve 1968 yılında tamamlanmıştır. İnşa edildiği yıllarda o güne kadar yapılan en büyük projeler arasında kabul edilen Aswan Barajı ile ilgili olarak geniş çapta jeoteknik araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar ile baraj yerini oluşturan kayaların litolojik ve fiziksel yapıları incelenmiş, baraj yerinin geçirimsizlik ve dayanıklılık özellikleri ortaya çıkarılmıştır.

İlk etütler sırasında nehir yatağında sığ bir alüvyondan sonra ana kayayı oluşturan granitlerin yer aldığı düşünülmüş, ancak sondaj çalışmaları sonrasında temel kaya olan granitlerin 225m aşağıda olduğu, bunun üzerinde kil, silt ve çakıl mercerklerinden oluşan 125m kalınlığında alüvyon ile altında sert-yarı sert killerin ardalanmasından oluşan 100m kalınlığında sedimanterlerin bulunduğu ortaya çıkmıştır.

Temelinde bu kadar kalın ve geçirimli özellikte alüvyon bulunan Aswan barajında alttan olabilecek sızmaları ve içsel aşınmaları önlemek amacı ile tüm alüvyonu ve sedimanter

birimleri katederek alttaki nisbeten geçirimsiz ana kayaya kadar uzanan düşey bir enjeksiyon perdesi ile menbaya doğru uzanan yatay bir kil blanket yapılmasına karar verilmiştir.



Foto-1. Nil Nehri üzerinde inşa edilmiş olan Aswan Barajı

Enjeksiyon işlemlerine başlamadan önce baraj yerinde deneme enjeksiyonları yapılmıştır. Deneyler sonucunda enjeksiyondan önce iri kumlarda $2,5 \times 10^{-2}$ cm/sn olan geçirimsizlik değerinin $2,3 \times 10^{-4}$ cm/sn, ince kumlarda ise $6,1 \times 10^{-3}$ cm/sn olan geçirimsizlik değerinin $3,6 \times 10^{-4}$ cm/sn, ye ulaştığı belirlenmiştir.

1968 yılında tamamlanmış bulunan Aswan Barajının altındaki 255m derinliğindeki enjeksiyon perdesi o güne kadar projelendirilen en derin perde olarak bilinmektedir.

Enjeksiyon perdesi üstten (+55m) kotuna kadar 40m genişliğinde, (+55)-(+10m) kotları arasında 30m, (+10)-(-40m) kotları arasında 20m, (-40)-(-140m) kotları arasında ise 5m genişliğinde olmak üzere aşağıya doğru incelen teleskopik bir şekilde projelendirilmiştir. Enjeksiyon deliklerinin sıraları arasındaki uzaklık 5m olup en üst kısımda 8 sıra enjeksiyon deliği bulunmaktadır. (Kyn:5)

Aswan Barajının gövde dolgu hacmi 42,7 milyon m^3 dür. Bu kadar büyük hacimli bir gövde çok kalın ve geçirimli bir alüvyon üzerine oturtulmuş ve projede gereken önlemler alınarak barajın geçirimsizliği ve duraylılığı sağlanmıştır. Baraj 1970 yılından beri sulama ve enerji sektöründe başarı ile hizmet vermektedir.

Teton Barajı

ABD'nin Idaho Eyaletinde Bureau of Reclamation tarafından projelendirilmiştir. Talvegden yüksekliği 93m, dolgu hacmi 7,65 milyon m^3 olup toprak ve kaya dolgu tipindedir.

Teton baraj yerinde her iki yakayı riyolitler oluşturmaktadır. Etüt çalışmaları sırasında açılan sondajlarda ana kayada büyük su kayıpları ile karşılaşmış, kayadaki çatlak ve boşluklar nedeni ile özellikle yüzeye yakın kısımların çok geçirimli olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bu verilere dayanarak barajın geçirimsizliğini sağlamak amacı ile talvegde yer alan 30m kalınlığındaki alüvyon kaldırılmış ve tüm aks boyunca bir enjeksiyon perdesi oluşturulmuştur. Enjeksiyon perdesinin derinliği dolusavak altında 94m, diğer yerlerde ise 78m dir. 3m aralıklı, 3 sıra halinde oluşturulmuştur. (Kyn:5)



Foto-2. Teton barajının yıkılışı

İnşaatin tamamlanmasından kısa bir süre sonra 5 Haziran 1976 tarihinde göl seviyesi dolusavak eşliğinden 1m aşağıda iken 2 saat gibi kısa bir süre içerisinde baraj yıkılmış ve gövde dolgusunun %40'ı rezervuardaki 310 milyon m³ su ile birlikte sürüklenmiştir. (Foto-2.)

Bu olay sonucunda 14 kişi hayatını kaybetmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yapılan enjeksiyonların gereken geçirimsizliği sağlayamadığı, enjeksiyon perdesinin arasından sızan suyun gövde dolgusu içinde borulanmaya neden olduğu ve sızan su ile aşınan malzemenin taşınması sonucunda barajın yıkıldığı sonucuna varılmıştır.

Araştırmacılar hazırladıkları raporda, barajın projelendirilmesinde Bureau of Reclamation tarafından hazırlanmış olan projede baraj yerindeki güç jeolojik koşulların yeterince dikkate alınmadığını vurgulamışlardır.

Vajont Barajı

1960 yılında İtalyanın kuzeyinde Vajont şehri yakınlarında dar bir vadi içerisinde, elektrik üretim ve dağıtım hizmeti veren Adriyatik Enerji Anonim Şirketi tarafından inşa edilmiştir. Barajın temelden yüksekliği 262m olup, beton kemer baraj tipinde inşa edilmiştir. Gövde hacmi 360 000m³ dür.

Baraj yerinde ana kaya yer yer ince kil ara tabakalı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Baraj inşaatı devam ederken göl alanında sol yamaçta büyük bir heyelan olmuş ve yaklaşık 0,7 milyon m³ malzeme göl alanına dolmuştur. (Foto-3.) Yapılan incelemeler sonucunda göl alanında heyelan potansiyelinin devam ettiği belirlenmiş ve işletme sırasında herhangi bir heyelan olması durumunda suyun emniyete alınması amacı ile baraj gövdesinin menbası ile mansabı arasında 2km uzunluğunda 4,5m çapında bir tünel inşa edilmiştir.

Barajın işletmeye açılmasında 3 sene sonra 9 Ekim 1963 tarihinde sol yamaçtan göl alanına birdenbire inen 250 milyon m³ hacimli heyelan, oluşturduğu tsunami dalgaları ile

baraj gölünün taşmasına neden olmuştur. 50 milyon m³ hacmindeki su 250 m yüksekliğinde dalgalar oluşturarak barajın üzerinden aşmıştır. Baraj yıkılmamış, ancak dalgalar, akış aşağıdaki 3 köyü su altında bırakmış ve 2600 kişinin ölümüne neden olmuştur. (Kyn:3)



Foto-3. Vajont Barajı göl alanında oluşan heyelan

Yurdumuzdan Örnekler

May Barajı

Konya İli sınırları içerisinde May Çayı üzerinde sulama ve taşkın koruma amacı ile 1957-1960 yılları arasında inşa edilmiştir. Toprak dolgu tipinde olup gövde dolgu hacmi 273 000m³ dür.



Foto-4. Hiçbir zaman su tutamayan May Barajı

May Barajının aks yeri ve rezervuarı karstik kireçtaşları üzerinde yer almaktadır. Barajın projelendirilmesi sırasında karstik kireçtaşları üzerindeki yaklaşık 20m kalınlığındaki yarı geçirimli sedimanterlerin geçirimsizliği sağlayabileceği düşünülmüş, ancak barajda su tutulmaya başlandığında rezervuarda düdenler oluşmuş ve su tutulamamıştır. Bu konuda yapılan iyileştirme çalışmaları başarılı olmamıştır. (Foto-4.)

Baraj halen taşkın zamanı gelen suları tutmakta ve sızan sular baraj mansabında yeraltı suyu seviyesinin yükselmesine yaramaktadır. Bu bölgede açılan çok sayıda su sondajı ile sulama yapılabilmektedir.

Keban Barajı

Elazığ İli Keban İlçesi yakınında Fırat Nehri üzerinde 1965-1974 tarihleri arasında inşa edilmiştir. Talvegden yüksekliği 210m olup 16 679 000m³ hacimli, beton ağırlık+kaya dolgu tipindedir. (Foto-5.)

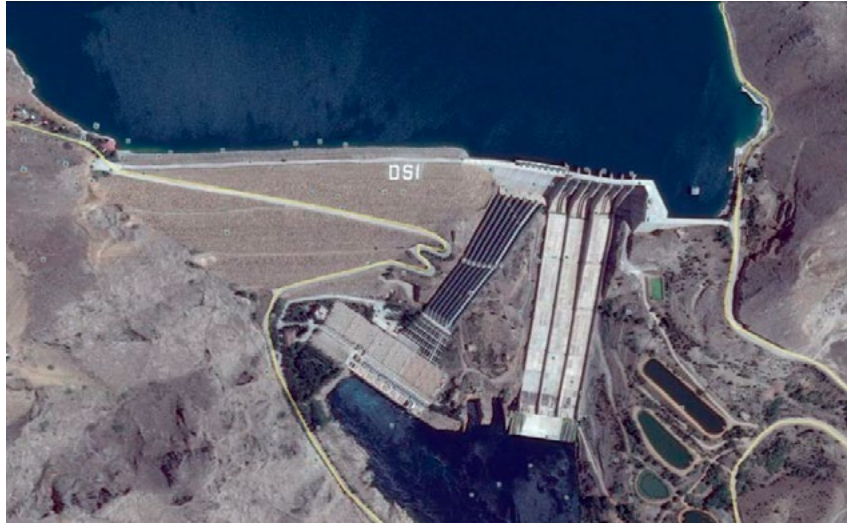


Foto-5. Keban Barajı

Baraj yerinde anakaya kireçtaşlarından oluşmaktadır. İnşa edildiği yıllardaki teknik olanakların yetersizliği nedeniyle yeterince araştırma yapılamadan inşaatına başlanmış olan Keban Barajında temel ve derivasyon tünelleri kazıları sırasında beklenenden daha büyük boyutlu mağaralarla karşılaşmıştır. Bu durum, baraj tipi ve şeklinin değişmesine, maliyetin artmasına ve yapım süresinin uzamasına neden olmuştur. (Kyn:4)

Keban Barajı ile ilgili jeolojik araştırmalar 1954 yılında yapılmıştır. Bu tarihlerde bölgenin karstik olduğu ve kireçtaşları içerisinde değişik şekil ve boyutlarda mağaraların bulunduğu saptanmıştır. O günün teknik olanakları içinde yapılan bu araştırmalar yeteri kadar derinleştirilememiş ve ancak yüzeyden 80-100m derinliklerdeki karst şekilleri hakkında bilgi edinilebilmiştir.

Daha sonra 1967 yılından sonra inşaat başladığında, derivasyon tünellerinin açılışı ve vadi tabanında yapılan kazılarda karstlaşmanın daha derin ve büyük boyutlu olduğu tespit edilmiştir. Bunun üzerine projede değişiklik yapılmış ve gövde uzunluğunun 601m sinin kaya dolgu, 524 m sinin kırık eksenli beton ağırlık tipinde yapılması uygun görülmüştür.

4 Kasım 1973 yılında barajda su tutulmaya başlanmıştır. 11 Mayıs 1976 tarihinde göl seviyesi 841,61m seviyesine ulaştığında, baraj aksından 200 m membada, sol sahilde vorteks meydana gelmiştir. Vorteksten kaçan sular barajın sol yamacına 2 km uzaklıktan geçen Keban deresi içerisinde 23m³ debiye sahip kaynaklar ve şelaleler oluşturmuştur. (Foto-6.)



Foto-6. Keban Barajından kaçan suların Keban deresi içinden çıkış noktaları

Bunun üzerine dolusavak kapakları açılarak göl seviyesi düşürülmüş ve 836 m kotunda, derinlere inen bir mağara ağzı ile karşılaşılmıştır. İlk aşamada sondajlı araştırmalar yapılarak mağaranın boyutları ve yayılımı tespit edilmiş, daha sonra yüzeyden bir shaft açılarak mağara içine girilmiştir. Yapılan incelemelerde yüzeyden 48,50m derinde yaklaşık 600 000m³ hacminde yarıya kadar su ile dolu bir mağara tespit edilmiştir. (Kyn:1)

Mağara kum, çakıl ve kaya malzeme ile doldurulduktan sonra 1yıl beklenerek malzemenin sıkışması ve oturması sağlanmıştır. Daha sonra dolgunun üst seviyeleri enjeksiyon yapılarak sağlamlaştırılmış ve sol sahilde beton barajdan başlayarak 450 m membaya doğru 825m ile 845m kotları arasındaki yamaç 17 000 m³'lük betonla kaplanmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucunda Keban deresindeki 23m³ debiye sahip kaçaklar 11m³ e düşürülmüştür. Bu su, yapılan bir hidroelektrik santrali yardımı ile enerji üretiminde kullanılmaktadır.

Keban Barajında yaşanan bu olaylar ışığında, Atatürk ve Oymapınar Barajlarında daha titiz ve detaylı çalışılmış ve çok başarılı sonuçlar alınmıştır.

Oymapınar Barajı

Antalya'da, Manavgat Nehri üzerinde, elektrik enerjisi üretimi amacı ile 1977-1984 yılları arasında inşa edilmiştir. (Foto-7.) Beton kemer tipi olan barajın gövde hacmi 575 000 m³, talvegden yüksekliği 185 m, normal su kotunda göl hacmi 300,00 hm³, göl alanı 4,70 km² dir.

Oymapınar projesinin oldukça karmaşık olan jeolojik ve jeoteknik sorunlarını belirlemek amacıyla 1963-1976 yılları arasında yerüstü ve yeraltı araştırmaları yapılmıştır.



Foto-7. Oymapınar Barajının inşa edildiği yerdeki kireçtaşları

Baraj yeri ve yakın çevresindeki karstik yapılı ve geçirimli kireçtaşları ile (Foto-7), bu birim içinden çıkan ve dünyada tek kaynaktan boşalan en büyük debiye sahip olan Dumanlı kaynağı ilk görünüşte proje açısından olumsuz görüntü yaratmıştır. (Foto-8.) Baraj tamamlandığında 90m su altında kalacak olan Dumanlı kaynağının barajda su tutulduğunda oluşacak basınç nedeni ile başka yollara kaçacağı ve barajın hidrolojisini olumsuz yönde etkileyeceği düşünülmüştür.



Foto-8. Oymapınar Barajında su tutulduktan sonra 90m su altında kalan Dumanlı Kaynağı

Oymapınar projesinin teknik yapırlığı ile ilgili ilk rapor 1967 yılında Energoprojekt (Yugoslav) firması tarafından hazırlanmıştır. Daha sonra Oymapınar projesi yapırlık ve kati proje İncelemesi 30.4.1968 tarihinde EİE tarafından Fransız Coyne et Bellier firmasına ihale edilmiş, yapırlık ve kati proje çalışmaları 1968-1969 yıllarında bu firma tarafından yapılmıştır. (Kyn:6)

Firma, olasıklı kaçak yollarını incelemiş ve göl alanı batı yakasından su kaçakları olacağını belirterek bu bölgede kısmen veya tamamen enjeksiyon perdesi yapılmasının uygun olacağını savunmuş, bunun yapım zamanı hakkındaki kararı DSİ Genel Müdürlüğüne bırakmıştır.

Coyne et Bellier Firması tarafından batı yakasında geçirimsizliği sağlamak amacı ile yapılması önerilen Tilkiler Perdesi, karstik kireçtaşları içerisinde açılacak 2km uzunluğundaki galeri içinden yapılacak ve 400 000m² lik alanı kapsayacak 145m derinliğindeki enjeksiyon perdesinden oluşmaktadır. (Kyn:8)

24.4.1972 tarihinde DSİ ile EİE arasında «Manavgat-Oymapınar Projesi temel araştırmalarına ait sözleşme» akdedilmiştir. Bu tarihten itibaren araştırmaların verilmesinde DSİ son söz sahibi olmuştur.

Göl alanı batı yakasındaki kaçak sorunu projenin diğer mühendislik jeolojisi sorunları içerisinde kuşkusuz en önemli olanıdır. Bu konu üzerinde çalışmaya başlayan Türk Jeoloji mühendisleri tarafından sorunun çözümü için toplam 450 000 metre uzunluğunda 495 adet jeoelektrik sondajı yapılmış, 11130 metre uzunluğunda 52 adet karotlu temel sondajı açılmış ile bölgesel boya deneyleri yapılmıştır. (Kyn:7)

Bütün bu bilimsel ve jeoteknik veriler, bent ve göl alanındaki mühendislik jeolojisi sorunlarına çözüm bulmada temel olarak kullanılmış ve yapılan değerlendirmeler sonucunda göl alanı batı yakasından bir kaçağın beklenemeyeceği kesinlikle ortaya çıkarılmış ve 23 Mart 1976 tarihinde DSİ Genel Müdürlüğü tarafından, Tilkiler Enjeksiyon perdesine gerek olmadığı karar altına alınmıştır. (Kyn:2)



Foto-9. 1984 yılından beri başarı ile işletilmekte Oymapınar Barajı

Bir mühendislik harikası olan Oymapınar Barajı inşaatının tamamlandığı 1984 yılından beri işletilmekte olup herhangi bir su kaçağı oluşmamıştır. (Foto-9)

Baraj 540 MW güç kapasiteli HES (hidroelektrik santral) ile yılda 1620 GWh elektrik enerjisi üretimi sağlamaktadır.

Yararlanılan Kaynaklar

1. AKLAN, T. Keban baraj yerinde su kaçakları ile ilgili çalışmalar, DSİ, 1976
2. ALTUĞ, S, Manavgat - Oymapınar Bendi Göl Alanı Batı Yakası Geçirimsizlik İncelemesi
3. BOZKURT, S. Vajont barajı trajedisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya Bülteni, sayı 68, 2013
4. ERGUVANLI, K. YÜZER, E. Keban Barajı Temellerinde ve Dolayındaki Karstlaşmanın Etkileri, İnşaat Mühendisleri Odası 6. Teknik Kongresi, 1976
5. ŞEKERCİOĞLU, E. Su Yapılarının Projelendirilmesinde Jeotekniğin Önemi, DSİ Bülteni, 1990
6. Oymapınar Dam and Reservoir Feasibility Study Watertightness of the Reservoir. Energoprojekt Engineering Consulting-Co, Beograd - Yugoslavia Volume 1, EİE, 1967.
7. Manavgat- Oymapınar Baraj ve Hidroelektrik Santrali Projesi Etüd ve Temel Araştırmaları raporu, EİE, 1968.
8. Oymapınar dam. Second final report Coyne et Beliler, Paris, EİE, 1969,