

Süreyyabey Barajı Dolusavak Kazı Şevlerinde Yaşanan Zemin Hareketlerinin Analizi

Davut YILMAZ

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Ankara/Türkiye. ORCID: 0000-0002-9981-7875

Sorumlu Yazar: yilmazdavut1967@gmail.com

Geliş tarihi:22.03.2023

Kabul tarihi:28.08.2023

Özet

Çekerek Çayı üzerinde inşa edilen Süreyyabey Barajının dolusavak kazılarında heyelanlar oluşmuştur. Bu heyelanlar üzerine kazı şevlerinin stabilitesinin nasıl sağlanması gerektiği hususunda çalışmalar yapılmış ve alternatifler üretilmiştir. Alternatiflerden birincisi kazı şevlerinin yatırırlarak ve dolusavak yan duvarlarının stabiliteye sağlayacağı katkılardan faydalanılarak şev stabilitesini artırmaktır. Diğer alternatif ise kazı şevlerinin hem ilk hale göre bir miktar daha yatırırlmasını ve hem de öngerilmeli ankrajlarla desteklenmesini içermektedir. İki alternatif arasında yapılan maliyet mukayeseleri ve öngerilmeli ankrajların zamana bağlı performanslarının değerlendirilmesi neticesinde kazı şev stabilitesinin kazıların yatırırlması ve dolusavak yan duvarları arka dolgularıyla desteklenerek sağlanması hususunda karar alınmıştır. Kazılar tamamlandıktan bir süre sonra dolusavak boşaltım kanalının derivasyon tüneli çıkışına yakın bölgesinde zemin hareketleri gözlemlenmiştir. Kazıların öngerilmeli ankrajla desteklenmesi gerektiğini savunanlar bu hareketlerin yeni bir heyelan olduğunu savunmuşlardır. Yapılan çalışmalar söz konusu hareketin bir heyelan olmadığını, derivasyon tüneli açımı sırasında yaşanan zemin boşalmaları sonucu oluşan boşluğun çökmesi neticesinde meydana geldiğini ortaya koymuştur. Bu bildiriye kazıdan sonra oluşan zemin hareketlerinin neden bir heyelan olmadığı alınan hassas topografik haritalardan çıkarılan enkesitler üzerinden gösterilecektir. Bunun yanında söz konusu zemin hareketlerinden sonra stabilitenin sağlanması için alınan tedbirler açıklanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Süreyyabey Barajı, Heyelan, Şev Stabilitesi, Şev Hareketleri

Analysis of Ground Movements in Süreyyabey Dam Spillway Excavation Slopes

Abstract

Landslides occurred in the excavations of the Süreyyabey Dam, which was built on the Çekerek Stream. Studies were carried out on how to ensure the stability of the excavation slopes. It was decided to increase the stability of the excavations by flattening the slopes by performing extra excavations instead of supporting them with prestressed anchors. Sometime after the excavations were completed, ground movements were observed in the area of the spillway discharge channel close to the exit of the diversion tunnel. Those who defended that the excavations should be supported with prestressed anchors have argued that these movements were indicating a new landslide. Studies have shown that the said movement is not a landslide, but occurred as a result of the collapse of the cavity formed as a result of over-excavations experienced during the diversion tunnel opening. In this paper, why the ground movements after the excavation are not a landslide is shown through the cross-sections taken from the sensitive topographic maps. In addition, the measures taken to ensure stability after the mentioned ground movements are explained.

Keywords: Süreyyabey Dam, Landslide, Slope Stability, Slope Movements

1. GİRİŞ

Süreyyabey Barajı Çekerek Irmağı üzerinde sulama ve enerji amaçlı inşa edilmiş bir barajdır. Barajdan yaklaşık 60.000 hektar alanın sulanması hedeflenirken 51 GWh da enerji üretilmesi beklenmektedir. Baraj kil çekirdekli kaya dolgu tipinde olup temelden yüksekliği 103 metredir. Barajın derivasyon tünelinin yapımının tamamlanmasıyla birlikte gövde inşaatına ve dolusavak kazılarına başlanmıştır.

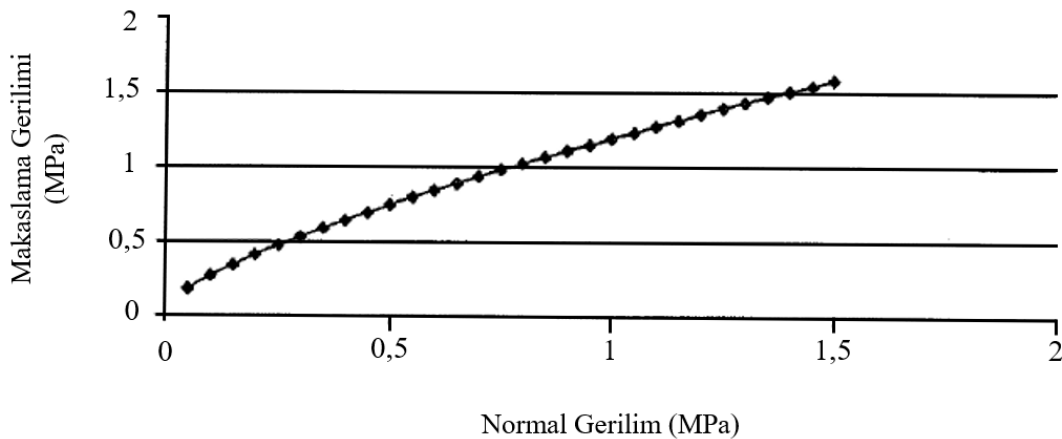
50 Metre yüksekliğe ulaşan kazı şevlerinde heyelan hareketleri başlamıştır. Şevlerde heyelanlar oluşmuştur. İşin yüklenicisi ODTÜ'den danışmanlık hizmeti olarak şevlerin önerilmeli ankrajlarla desteklenmesi gerektiği konusunda öneriler getirmiştir [1]. Bahse konu bu çalışmada, Hoek and Brown [3], Hoek ve diğerleri [4] tarafından geliştirilen yöntemin öngördüğü biçimde; kaya kütlelerini temsil eden çatlaksız kaya numunelerinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), Hoek-Brown kriterinde bozulmamış kayanın sabiti (m_i) değeri ve Jeolojik Dayanım İndeksi (Geological Strength Index-GSI) dört çeşit kaya sınıfı için belirlenmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Kaya Kütleleri Özelliği

Kaya Kütleleri Özelliği	σ_c (MPa)	m_i	GSI
(I) Blokluk, kıvrımlı, pürüzsüz süreksizlik yüzeyleri, az bozunmuş, orta dayanımlı kaya.	25	10	35*
(II) Foliasyonlu, laminalı, yoğun ezilme zonları içeren, orta-ileri derece bozunmuş, parlak yüzeyli, çok parçalı, yoğun mikro kıvrımlı, zayıf kaya.	5	8	25
(III) Foliasyonlu, laminalı, mikro kıvrımlı, yoğun ezilme zonları içeren, kaygan ya da ileri derece bozunmuş süreksizlik yüzeyleri içeren, köşeli kırıntı dolgulu, çok zayıf kaya.	5	10	15
(IV) Foliasyonlu, laminalı, yoğun ezilme zonları içeren, kaygan yüzeyli, ileri derece bozunmuş süreksizlik yüzeyleri, yumuşak kil sıvımalı ya da dolgulu, çok zayıf kaya.	5	5	15

*Dolusavak sondajlarında bu tip malzemeler kesilmemiştir.

Belirlenen bu parametrelere göre de bu kaya tiplerinin kayma mukavemetleri ayrı ayrı belirlenmiştir. Orta dayanımlı fillit için normal gerilmeye bağlı kayma mukavemeti Şekil 1'de gösterilmiştir. Kaya kütlelerinin kayma mukavemeti dikkate alınarak şev stabilite analizleri SLOPE W programı kullanılarak çalışılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde de depremler ve depremsiz durumda gerekli güvenlik katsayısına ulaşmak için kazı şevlerinin 1 Düşey 1,5 Yatay olması ve her 10m yükseklikte 4 m'lik bir palye yapılması gerektiği ve 40m uzunluğunda 70 tonluk önerilmeli ankrajların 2m aralıklarla kullanılmasının zaruri olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 1. Orta dayanımlı (I) fillitler için (σ - τ) ilişkisi [1]

Barajlar ve HES Dairesi teknik elemanları da şevleri yatırarak ve dolusavak yan duvarlarını şevleri destekleyici istinat duvarları gibi çalıştırarak stabilitenin daha ekonomik sağlanabileceğini savunmuştur [2]. Sonuçta daha ekonomik olan çözüm benimsenerek dolusavak şevlerinin yatırılması kararı alınmıştır.

Söz konusu kazılar tamamlanmak üzereyken dolusavak deşarj kanalının sağ tarafında derivasyon tüneli çıkış ağzının bulunduğu yere yakın bölgede şev hareketleri meydana gelmiştir. İşin yüklenicisi bu hareketleri heyelan olarak tanımlarken, yapılan çalışmalar derivasyon tünelinin açımı esnasında aşırı kazı ve göçmeler nedeniyle tünelin solunda meydana gelen boşluğun kemerlenmesinin kaybolması nedeniyle bir çökme olduğunu ortaya koymuştur. Bu makalede bu çalışmalara değinilecektir.

2. DOLUSAVAK KAZILARININ JEOLJİSİ

Baraj yerinde temeli oluşturan kireçtaşı bloklu melanjin matriksini açık gri, bej yer yer değişik renkli fillitler, metakumtaşları ve silt taşları oluşturmaktadır. Dolusavak kazılarında görülen siyah fillitler heterojen özelliğe sahip olup orta kaya davranışlarını göstermektedir. Derivasyon tüneli çıkışındaki kazı şevlerinde yaşanan şev hareketlerinden de görüldüğü üzere ileride derecede bozunmuş fillitlerde bölgede bulunmaktadır. İleri derecede bozunmuş, ezilme zonları içeren, yoğun yapraklanmalı ve kıvrımlı fillitler ise aşırı sökülme sorunlarına yol açmıştır [1]. Ergun ve Doyuran'ın [1] işaret ettiği aşırı sökülme sorunları derivasyon tünelinin çıkış ağzını yakın bölgede sıkça yaşanmıştır. Konuyla ilgili resmi yazışmalarda incelendiğinde bahse konu aşırı sökülme nedeniyle derivasyon tüneli kazılarında büyük deplasman hareketleri meydana gelmiş ve kazı hacminden daha büyük miktarda malzeme derivasyon tüneline kazılmak yoluyla uzaklaştırılmıştır. İlave çelik iksalar, gelen toprak basıncını alacak şekilde tünel eksenine dik doğrultuda iksalar arası gergi profilleri kullanılmış ve püskürtme betonu (shotcrete) kalınlığı artırılarak tüneldeki hareketlenmeler durdurulmuştur. Ancak bu işlem tamamlanmaya kadar tünel kazısına gelen malzemenin tamamı kazılarak uzaklaştırılmış ve tünel kazısı proje kesitine getirilmiştir. Neticede proje tünel geçici destekleri shotcrete+çelik iksanın arkasında bir boşluk kalmıştır. Tünel açımı tamamlandıktan sonra da tünel kaplaması yapılmıştır. DSİ uygulamalarında tünel kaplama kalınlığı tünel çapının %10'u kadardır. Tünel kaplaması ile doğal zemin arasında kontak enjeksiyonu yapılmaktadır. Buna ilaveten tünel çapının yarısı kadar uzunluğunda da konsolidasyon enjeksiyonu yapılmaktadır. Anlaşılan odur ki enjeksiyonlar tünel kaplaması ile shotcrete arkasında dolusavak kazılarına doğru doğal zeminde kalan aşırı sökülmeye bağlı oluşan boşluğu doldurmada başarılı olamamıştır.

3. DOLUSAVAK KAZILARI DEVAM EDERKEN MEYDANA GELEN ZEMİN HAREKETLERİ

Esasen boşaltım kanalı ile dolusavak eşik yapısı arasında yer alan siyah renkli fillitler kazılırken patlayıcı madde kullanılması gerektiği halde söz konusu zemin hava ve su ile temas ettikçe hızla bozunmakta ve çamurlaşmaktaydı. Dolusavak zemini enerji kırıcı havuza yaklaştıkça daha zayıf zeminlerden oluşmaktaydı.

Şev stabilitesini artırmak amacıyla yapılan kazılar esnasında derivasyon tüneli çıkışına yakın bölgeye gelindiğinde büyük bir zemin hareketi oluştu (Şekil 3). Hareketin gözlemlendiği bölgenin en mansabında görülen ezilme zonu Şekil 2'den net olarak görülmektedir.

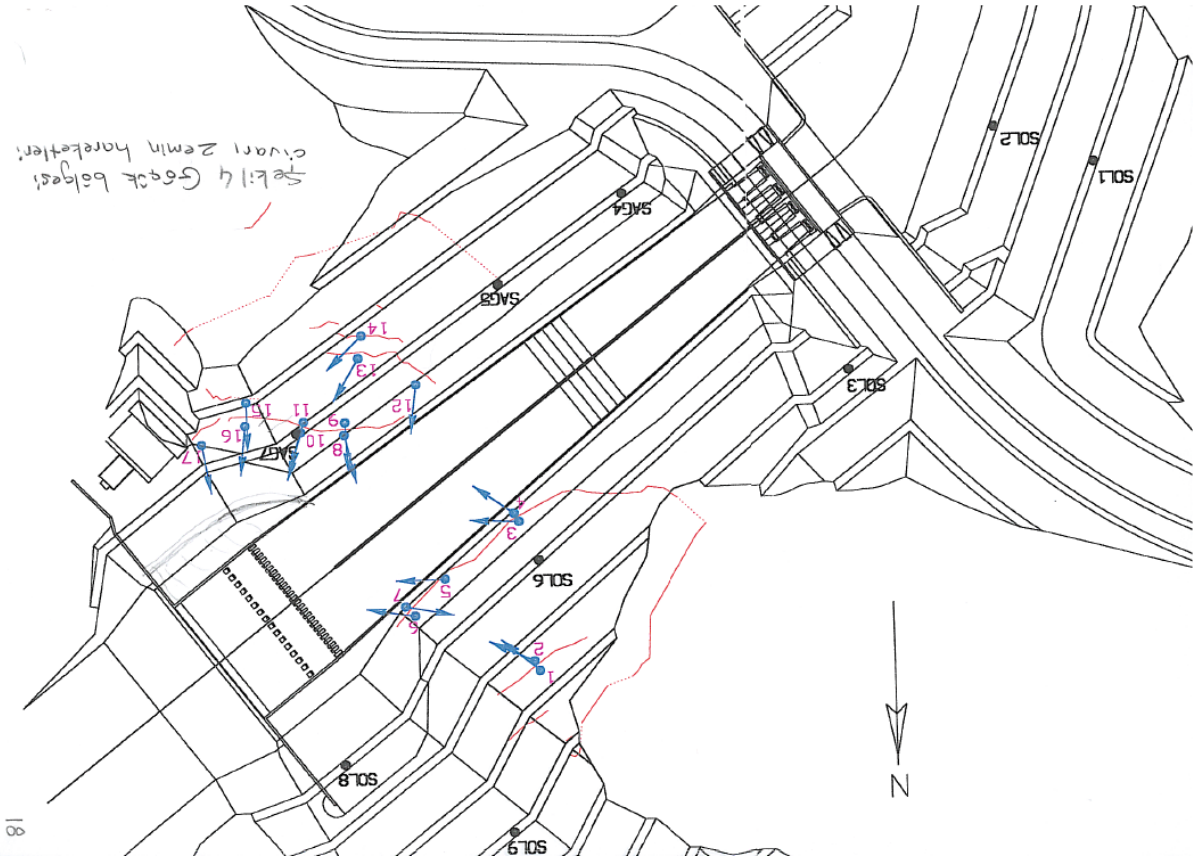


Şekil 2. Derivasyon tünelinin çıkış ağzına yakın bölgede meydana gelen zemin hareketi

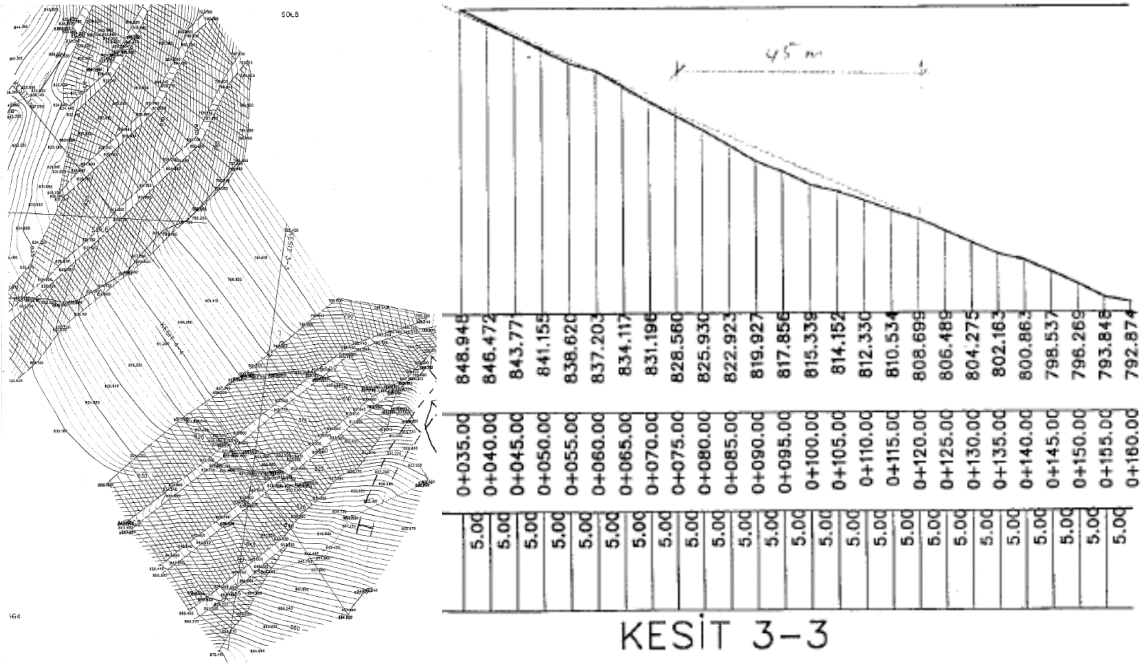


Şekil 3. Dolusavak kazı şevlerinin derivasyon tüneli çıkışına yakın bölgedeki hareketleri ve yakın planda ezilme zonu

Şev yatırmayla birlikte yapılan kazılar hem derivasyon tüneli esnasında meydana gelen boşluğun üzerindeki kalınlığı azaltması nedeniyle hem de fil ayağı gibi boşluğa yanal basınç yani pasif direnç sağlayan zemini uzaklaştırması sebebiyle kemerleşme kaybolmuş ve bölgede büyük zemin hareketi oluşmuştur (Şekil 4). Bunun en büyük delili hareketlenme sonucu bölgeden alınan hassas haritalar üzerinden çıkarılan en kesitler aşağıya doğru bir oturmayı yani çökmeyi gösteriyor olmasıydı (Şekil 5). Bir başka deyişle, klasik bir heyelanın topuğunda oluşan birikme bölgesi burada gözlemlenmemiştir.



Şekil 4. Dolusavak kazı şevlerinde gözlemlenen zemin hareketlerinin yerleri ve doğrultuları



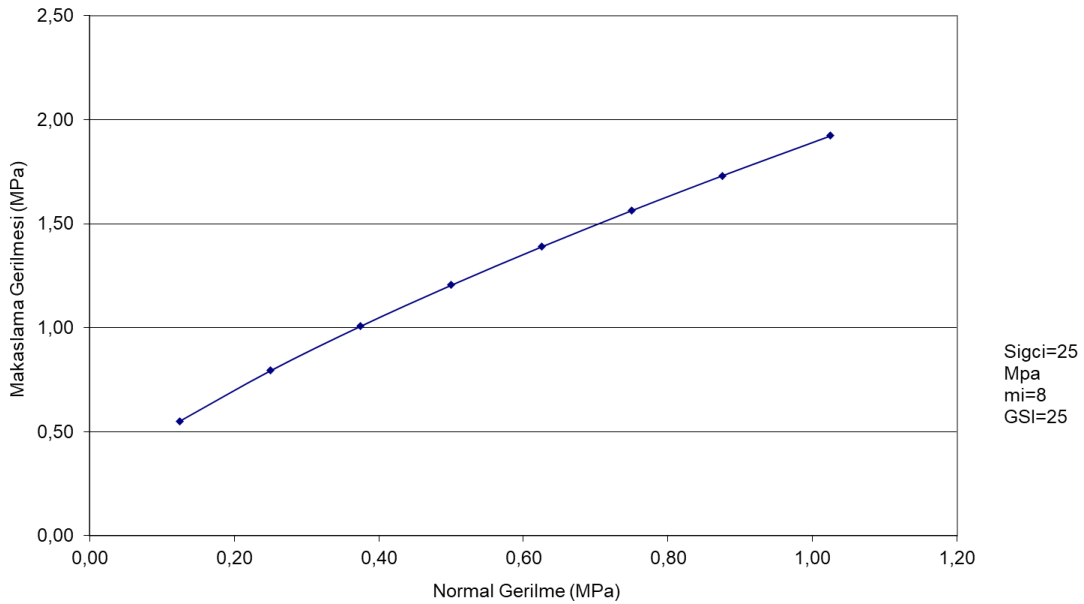
Şekil 5. Dolusavak boşaltım kanalı sağ yamacında hareketin olduğu bölgeden alınan 3 nolu en kesitin yeri ve doğrultusu solda en kesit ise sağda gösterilmektedir

4. GELİŞMELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

İlk zemin hareketleri ortaya çıktığında şevlerin yatırılması değil önerilmeli ankrajlarla desteklenmesi fikri Hoek ve Brown'un geliştirdiği kaya kütle dayanımı tahminleri metoduna dayanmaktadır [3,4]. Önerilen sistemin maliyeti yaklaşık 20 Milyon ABD doları olarak tahmin edilmiştir [1].

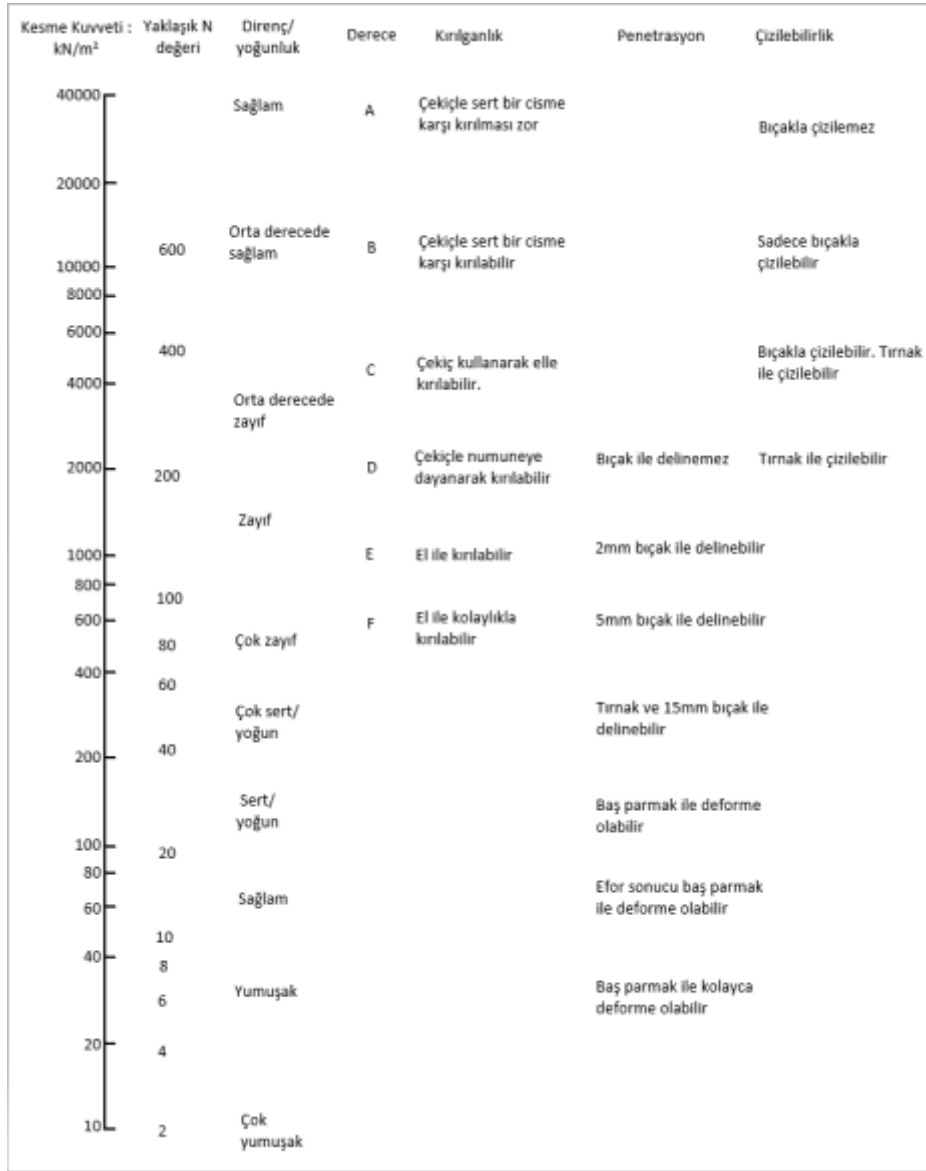
Bu öneriye karşı yapılan çalışmalarda Hoek ve Brown'un geliştirdiği metodoloji yanında geri hesapla bulunan parametreler ve zayıf kayalarda yapılan SPT testlerinin sonuçları da kullanılmıştır [2]. Geri hesaplarda kazılardan önceki en kritik kesitler seçilerek kayma parametreleri elde edilmiştir. Bu kesitler seçilirken bölgenin en eski hava fotoğraflarından da yararlanarak bölgedeki zemin yapısı en doğal haliyle gözlemlenmiştir. Dolusavak kazısı yapılmadan önceki kazı şevlerinden birkaçı geri hesaplar için seçilmiştir. Zemin profili, yüzeye yakın ayrılmış olan killi bölge ve daha sağlam zayıf kaya bölgesi olarak ikiye ayrılmıştır. Killi bölgenin içsel sürtünme açısı $\phi=23^\circ$ ve kohezyonu 50 kPa olarak belirlenmiştir. Zayıf kaya bölgesinin içsel sürtünme açısı ve kohezyonu güvenlik katsayısını 1 yapacak şekilde geri hesapla bulunmuştur. Yapılan pek çok analiz sonunda içsel sürtünme açısı $\phi=32^\circ$ ve kohezyonu 100 kPa olarak tespit edilmiştir.

Arazi gözlemleri ve zeminin jeolojik çekiçle kırılması dikkate alınarak Hoek ve diğerleri yardımıyla kayanın tek eksenli basınç dayanımı belirlenmiştir [5]. Brown'un tavsiyeleri göz önüne alınarak GSI indeksinin 25 veya daha büyük olacağı sonucuna varılmıştır [3]. Bu değerler kullanılarak zeminin kayma mukavemeti belirlenmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Süreyyabey Barajı dolusavak kazı şevinde karşılaşılan fillitler için $(\sigma-\tau)$ ilişkisi [2]

Zayıf kayalarda SPT N değerlerine bağlı olarak Cole ve Stroud tarafından önerilen yaklaşım kullanılarak zeminin kayma mukavemeti tahmin edilebilmektedir (Şekil 7) [6]. Burada yapılan SPT testlerde 200 vuruşla 10, 13, 15 ve 17 cm'lik derinliklere inilebilmiştir. Geri hesapla bulunan veriler, SPT Testlerine bağlı olarak tahmin edilen kayma mukavemeti ve Hoek ve Brown'u [3] kullanılarak hesaplanan kaya kütle kayma mukavemetinden elde edilen veriler kullanılarak şevlerin ne kadar yatırılması gerektiği belirlenmiştir [2].



Şekil 7. Zayıf kayalar ve zeminler için dayanımın SPT N değerleri ile değişimi [6]

Şev yükseklikleri 10 m ve paalye genişlikleri de 4 m olarak belirlenmiştir. Kazı şevleri 1 Düşey ve 1,5 Yatay olarak belirlenmiştir. Dolusavak yan duvarlarının arkasına kayma mukavemeti yüksek kaya ufağı malzemesi konularak şevler topuklanmıştır. Sonuçta bu sistemin maliyeti 1,5 Milyon ABD doları olarak tahmin edilmiştir.

Ancak bahse konu bu şev yatırma işlemi sırasında meydana gelen çökme nedeniyle hareket etmiş zeminin kazılarak uzaklaştırılması gerekmiştir. Bu nedenle şevler tekrar yatırılmıştır (Şekil 8). Zemine gelecek yüzey suyunu uzaklaştırmak için drenaj kanalları yapılması kararlaştırılmıştır. Dolusavak duvarları yapılmaya kadar yapılacak ikinci kademe kazıların shotcrete ile desteklenmesi benimsenmiştir. Shotcrete'nin arkasında su birikmesini önlemek için de perfore borulu drenlerin yerleştirilmesine karar verilmiştir. Tüm bu şev yatırma, drenaj kanalları ve diğer ilave tedbirler nedeniyle maliyet yaklaşık ikiye katlanmış olsa da benimsenen bu çözümün maliyeti öngörülenli ankrajlı çözüm maliyetinin %20'sini aşmamıştır. Kaldı ki öngörülenli ankrajların böyle bir zeminde gevşemesi ve öngörülmesini kaybetmesi mümkündür. Barajların en önemli yapılarından birisi olan dolusavak yapısını tehlikeye atacak böyle bir çözümün yaratacağı risk ortadadır. Neticede ilk önerilen öngörülenli ankrajlı alternatifte göre çok daha ekonomik ve kalıcı olarak şev stabilite sorunu çözüme kavuşturulmuştur.



Şekil 8. Süreyyabey Barajı dolusavak kazı şevlerinin en son kazıdan sonra ve duvarların tamamlanmasına yakın hali

5. SONUÇLAR

Şüphesiz en iyi çözüm heyelana yol açacak şekilde bir şevin topuğunu kazmamaktır. Esasen böyle bir çözüm bu barajda vardı ancak tercih edilmedi. Dolusavak inşa edilebilecek çok uygun bir yer bulunduğu halde söz konusu yer bir kapama seddesi ile kapatılmış, dolusavak yapısının baraj gövdesinin hemen yakınında derivasyon tünelinin bitişiğinde, jeolojik olarak problemlili bir bölgede inşa edilmesine karar verilmiştir [7].

Büyük hacimli kazılar yalnızca maliyeti artırmakla kalmamış şev stabilitelere de yol açmıştır. Baraj yapılarının birbirine yakın olması nedeniyle derivasyon tüneli açımı sırasında meydana gelen aşırı kazılar dolusavak kazılarında meydana gelen hareketlere de yol açmıştır.

Mühendislik yapılarında birden çok alternatifin değerlendirilmesi maliyette büyük tasarrufları ve görece emniyetli çözümleri ortaya koyabilir. Türkiye’de hiç kullanılmamış SPT test sonuçlarından da yararlanılarak kayma mukavemetlerinin belirlenmesi, geri hesaplama elde edilen mukavemet parametrelerinin kullanılması, Hoek ve Brown metodunun çapraz kontrolünü sağlamıştır [2]. Böylece yüklenici tarafından önerilen sisteme sağlam bir alternatif üretilmiştir.

Bu vakadan çok net olarak görüleceği üzere zeminde görülen her büyük hareket bir heyelan olmayabilir. Olayların kronolojik olarak değerlendirilmesi, şantiye kayıtlarının incelenmesi, arazi gözlemleri ve çıkarılacak basit en kesitler çok muammalı bir durumda gerçeği ortaya koyabilir. Bunun yanında heyelanla ilgili olarak çok temel bilgiler kullanılarak çökme bölgesi yanında birikme bölgesinin de olması gerektiğinden hareketle birikme bölgesinin bulunmamasının yer hareketinin bir çökme olabileceğinin ispatlanabileceği gösterilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Ergun U. ve Doyuran V. Süreyyabey Barajı Dolusavak Şevleri Stabilitesi Hakkında Rapor. Proje No: 99.03.03.03.25. ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, 2000.
2. Yılmaz D. Süreyyabey Barajı Dolusavak Şevleri Stabilitesi Hakkında Rapor, 2000.
3. Hoek E. and Brown E. T. Practical estimates of rock mass strength: Int J. Rock Mech. Min. Sci. .34: 1165-1186, 1998.

4. E. Hoek, P. Marinos and M. Benissi. Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses. The case of the Athens schist formations. Bull. Eng Geol Env (1998) 57: 151 ± 160. Springer-Verlag.
5. Hoek E., Kaiser P. K., Bawden W. F. Underground Excavation in Hard Rock. Balkema, 1995.
6. Cole K.W., and Stroud M. A. Rock Socketed Piles at Coventry Point, Marketway, Coventry. Proceedings of Piles in Weak Rock, 47–62. London: Institution of Civil Engineers, 1977.
7. DSİ. Süreyyabey Barajı kati ve Uygulama Projeleri, 1997.