

GÖKPINAR BARAJI (DENİZLİ) DOLUSAVAK VE EŞİK YAPISI TEMEL ZEMİNİNDE YAPILAN JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

T. BEYAZ¹, N. ÜNLÜ², M. AKGÜN²

¹Pamukkale Üniv. Müh. Fak. Jeoloji Müh. Bölümü, DENİZLİ

²DSİ 212 Şube Müdürlüğü, DENİZLİ

ÖZET: Su kaynaklarının ekonomiye kazandırılması amacıyla baraj, gölet, regülatör ve sulama ana kanalları gibi yapılar inşa edilmektedir. Büyük miktardaki suyun kontrol altında tutulmasını gerektiren bu tür mühendislik yapılarının uzun yıllar kullanılabilmesi; üzerine inşa edileceği jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerinin iyi belirlenerek buna uygun proje tasarımı ve zemin iyileştirmesi yapılmasına bağlıdır. Bu çalışmada, Gökpınar Barajı (Denizli) dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde yapılan saha incelemeleri ile temel sondajı ve presiyometre deneylerinin sonuçlarına göre yapılan jeoteknik iyileştirme önlemlerin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Baraj alanındaki jeolojik birimlerin jeolojisi ile dolusavak ve eşik yapısının altındaki birimlerin mühendislik özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Dolusavak ve eşik yapısının oturacağı birimlerin taşıma gücü ve oturma hesaplarına yönelik olarak yerinde (in-situ) presiyometre ve çekme deneyleri yapılmış; bu deneylerin sonuçları yorumlanarak, inşa edilecek yapıdan gelecek yük ile zeminin emniyetli taşıma gücü karşılaştırılmıştır. Zayıf taşıma gücüne sahip birimlerin güçlendirilmesi için alınması gereken önlemler ve güçlendirme işlemleri (zemin sağlamaştırma enjeksiyonu, ankraj çalışması vb) hakkında bilgiler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Gökpınar barajı, dolusavak, eşik yapısı, presiyometre deneyi, enjeksiyon.

Geotechnical Studies at Spillway and Gate of Gökpınar Dam (Denizli) and Dam Foundation Soil

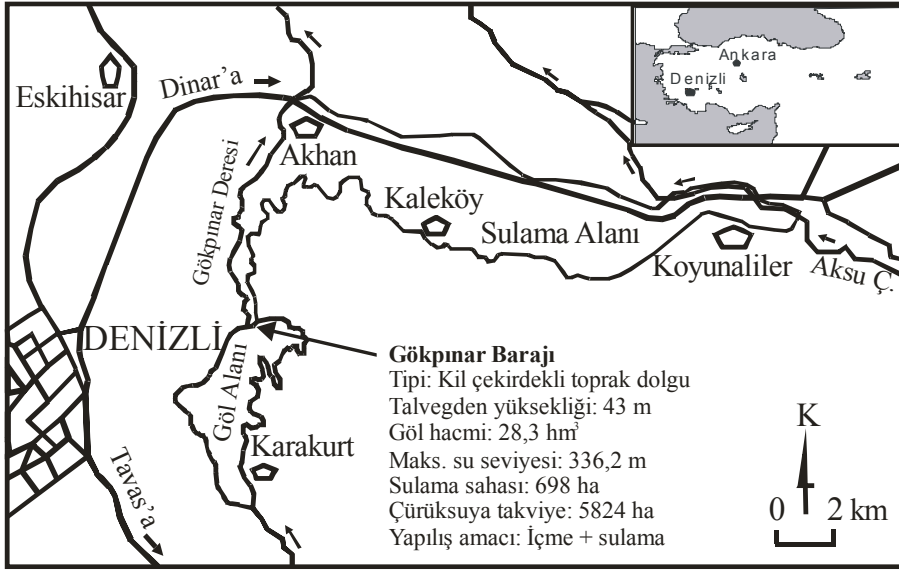
ABSTRACT: Dams, regulators, irrigation canals etc. have been built to use water resources for economic aims. These types of engineering structures, have to control enormous volume of water, are required to determine all the geological and geotechnical properties of the construction site. The main goal of the study is to mitigate the geological and geotechnical hazards by assessing the pressuremeter test and borehole data performed on the spillway and gate of Gökpınar Dam in Denizli. Geological and geotechnical characteristics of the spillway and gate were also given in the text. Pressuremeter and pull-out tests were carried out on spillway and gate foundations and the obtained results have been correlated to projects data. Some details have also been given about re-enforcement of the weak soil includes cement injection, and bolts.

Keywords: Gökpınar dam, spillway, gate, pressuremeter test, injection

GİRİŞ

Su kaynaklarını verimli kullanabilmek amacıyla yapılan baraj, gölet, regülatör ve sulama ana kanalları gibi mühendislik yapılarının uzun yıllar kullanılabilmesi; üzerine inşa edileceği jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerinin iyi saptanmasına bağlıdır. Zeminlerin jeoteknik özelliklerini belirlemede

kullanılan yöntemlerden birisi presiyometre testidir. Tasarlanan bir proje için yeterli jeoteknik özelliklere sahip olmayan alanlarda, temel zemininde, iyileştirme/sağlamaştırma yapılması bir zorunluluk olup; zemin dayanımını arttırmak amacıyla yapılan enjeksiyonla zeminin ıslahı kullanılan iyileştirme tekniklerinden birisidir.



Şekil 1. Gökpınar barajının yer bulduru haritası.

Figure 1. Location map of Gökpınar dam site.

Bu çalışmada, Gökpınar Barajı (Denizli) (Şekil 1) dolusavak ve eşik yapısı temel zeminde yapılan saha incelemeleri ile temel sondajı ve presiometre deneylerinin sonuçları tartışılarak alınması gereken jeoteknik önlemlerin belirlenmesi hakkında bilgi verilmiştir. Bu amaçla, baraj alanındaki birimlerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir.

Dolusavak ve eşik yapısının oturacağı birimlerin taşıma gücü ve oturma hesaplarına

PRESİYOMETRE DENEYİ (PMT)

Bu çalışmanın temel konusu olan Presiyometre Deneyi (PMT), Amerika Deney ve Malzemeler Derneği standartları (ASTM-D 4719-87, 1987)'nda ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. PMT, zeminin özelliklerini yerinde belirlemede kullanılan bir gereçtir (Mair ve Wood, 1987). Muhafaza borusu olmayan sondaj kuyusuna yerleştirilen kauçuk bir membranla astarlanmış silindirik bir probun kuyu çeperine giderek artan yatay basınç uygulamasıyla oluşan deformasyonun ölçülmesine bağlı olarak zeminin emniyetli taşıma gücünün belirlendiği bir arazi deneyidir (Menard, 1975; Day, 2002).

PMT uygulamalarında kabul edilebilir basınç artış sayısı normalde 5-14 arasındadır. Ancak, genel olarak birbirine eşit on basınç artışı

yönelik olarak yerinde (in-situ) presiometre ile dolusavak boşaltım kanalı beton kaplama altındaki ankrajlara ait çekme deneyleri yapılmış; inşa edilecek yapıdan gelecek yük ile zeminin emniyetli taşıma gücü karşılaştırılmıştır. Alınması gereken önlemler ve güçlendirme işlemleri (zemin sağlamlaştırma enjeksiyonu, ankraj çalışması vb) hakkında bilgiler verilmiştir. Bu çalışmada verilen uygulama örneği, DSİ'nin yürüttüğü proje kapsamında yaptığı çalışmalarda verilen derlenerek hazırlanmıştır. uygulanır ve basınç artış sayısı, daha önceki sınır basınç tahminine dayalı olarak elde edilir. PMT'de her basınç artışında ölçüm hücresinde meydana gelen hacim değişimleri 15s, 30s, 60s ve 120s'lik süreler için kaydedilir (Clayton vd., 1995).

Ölçülmüş basınç ve hacim değişimlerine; proba, tüplere ve hidrostatik etkilere bağlı kalibrasyon düzeltmesi yapılır (Clayton vd., 1995). Bu düzeltmeler yapıldıktan sonra basınç kademeleri (P) yatay eksene (x ekseni) ve hacim değişimlerinin de (V) düşey eksene (y ekseni) gelecek şekilde; "basınç (P-kg/cm²)-hacim (V-cm³)" (veya basınç deformasyon) eğrisi elde edilir. Bu eğriden gerilme-birim deformasyon davranışı hesaplanır (Kramer, 1996). Grafik üzerinde, başlangıçtan sonra eğrinin ilk kırılma noktasının apsisi, zeminin yatay içsel basıncına

(P_0) karşılık gelir. Eğrinin doğrusal artış gösteren iç kısmının psödoelastik safhaya karşılık geldiği kabul edilir. Bu safhadan sonra eğri yükselmeye başlar ve sınır basınç (P_L) olarak kabul edilen değere asimptotik olur. Bu safhaya da plastik safha denir. P_L , hacim artışlarının sonsuza gittiği nokta olarak ve dolayısıyla -teoride- zeminin nihai taşıma gücüne karşılık geldiği kabul edilir. PMT'den elde edilen tepki eğrisinden arazideki yatay toplam gerilme (σ_m), drenajsız dayanım (c_u) ve kesme rijitliği (G) elde edilebilir (Wood, 2004).

Ménard (1975), PMT verileriyle zeminin emniyetli taşıma gücü değerini, $\sigma_{em}=q_0+k/3* P_{Le}'$ bağıntısı ile hesaplamaktadır. Burada, q_0 : zeminin temel seviyesindeki düşey içsel basıncı, k : zeminin cinsine, temelin şekline ve derinliğine bağlı bir katsayı, P_{Le}' : net limit -sınır- basıncı ($=P_L-P_0$)'na karşılık gelmektedir. Projenin ve zeminin özelliklerine bağlı olarak bir emniyet katsayısı (F) değeri belirlenir. Literatürde, PMT hesaplamalarında emniyet katsayısı genellikle 3 olarak alınmaktadır.

ENJEKSİYON

Enjeksiyon, çok sayıda malzemenin farklı miktarda karıştırılmasıyla elde edilen bağlayıcıya (Kosmatka, 1990) veya mühendislik çalışmalarında kayma direncini arttırmak ve geçirimsizliği azaltmak için basınçla bir sıvıyı kaya veya zemine zerk etme işlemine denmektedir (Bowen, 1975). Enjekte edilen malzemeler basınçla zemin içerisine gönderildiği için enjeksiyon yapılan kuyudaki zeminin yapısını bozmakta, zemini oluşturan tanelerin oranını değiştirmekte ve yerine enjeksiyon malzemesini yerleştirmektedir (Bell, 1993). Enjeksiyon işleminde, zemin boşlukları veya kaya çatlakları belirli bir basınç altında uygun bir karışımla doldurularak zeminin taşıma gücü artırılır ve geçirgenliği azaltılır (Shroff and Shah, 1993). Literatürde, yüksek basınç ile çok dar çatlak ve boşlukların dahi doldurulması başarılı bir enjeksiyon olarak kabul edilmektedir.

Bu çalışmada, Gökpınar Barajı dolusavak yapısı 0.000-0.055 km'leri arasında çakıltaşı biriminin sağlamlaştırılması ve taşıma gücünün artırılabilmesi için kompaksiyon enjeksiyonu yapılması tercih edilmiştir. Enjeksiyon işlemine başlamadan önce; i) arazide yapılan

araştırmalarla sondaj yerleri, enjeksiyon aralıkları, enjeksiyon derinliği ve uygulanacak basınç belirlenmiş, ii) zemin boşluklarını en iyi doldurabilecek malzeme ve enjeksiyon yöntemi araştırılmış, iii) kullanılacak enjeksiyon sıvısının özellikleri veya kullanılacak karışım oranlarıyla (Caron ve diğ., 1975) ilgili araştırmalar yapılmış ve iv) enjeksiyon çalışma programı hazırlanmıştır. Enjeksiyon işlemi genel olarak; 1) zeminin taşıma gücü değerini arttırmak, 2) su sızıntısını durdurmak veya azaltacak şekilde perde oluşturmak, 3) aşırı oturmaları önlemek amacıyla zemin boşluklarını doldurmak, 4) zemini güçlendirerek, kazı veya kazık çakma gibi çalışmalarda oluşabilecek hareketleri önlemek, 5) zeminlerde büzülme veya şişmeyi azaltmak, 6) yamaç ve şev duraylılığını arttırmak amacıyla yapılmıştır. Orta ve iri kumlarda düşük basınçlı çimento enjeksiyonu kullanılması (Littlejohn, 1982) önerildiğinden enjeksiyon sıvısında ağırlıklı olarak çimento kullanılmıştır. Daha sonra, enjeksiyonun nüfuz ettiği derinlik ile başarı oranının belirlenmesi amacıyla deney enjeksiyonu (Özocak, 1994) yapılmıştır. Enjeksiyon işlemlerinden sonra tekrar presiyometre deneyi yapılarak zeminin taşıma gücü yeniden hesaplanmıştır.

DOLUSAVAK TEMEL ZEMİNİNDE YAPILAN JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Temel Zeminin Özellikleri

Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısı temel zemini genel olarak Neojen yaşlı gevşek çakıltaşı (silttaşı, kumtaşı içerikli) ve marn biriminden oluşmaktadır.

Marn:

Proje alanındaki temel kaya olarak kabul edilebilir. Gri ve krem renktedir. Genelde ince tabakalıdır. Çalışma alanında 10°-20° arasında bir eğime sahiptir. Kolay kırılma ve/veya dağılma özelliğindedir. Atmosferik şartlar etkisiyle veya suyla temasında üst yüzeylerinde ufalanma-dağılma görülmekte, suyunu kaybettiğinde sertleşmektedir. Yapılan petrografik analizlere göre; genelde kil ve CaCO₃'tan (% 60-70 oranında) oluşmakta ve çok az miktarda kuvars içermektedir (DSİ, 1989).

Çakıltaşı:

Proje alanında marn biriminin üzerinde uyumlu olarak gözlenmektedir. Genelde kahve renkli olup, kireçtaşı ve kuvarsit çakılıdır. Çakıl boyutları küçük çakıl ile iri blok arasında değişmektedir. Gevşek çimentolu, kolay ayrışma ve dağılma özelliği göstermesi nedeniyle temel sondajlarında sağlam karot alınamamıştır. Çalışma alanındaki kırık ve fayların etkisiyle doğrultu ve eğimi kısa mesafelerde değişmektedir. Çakıltaşları arasında kumtaşı ve silttaşı mercek ve kamaları da gözlenmektedir.

Yapısal Jeoloji:

Çalışma alanı, günümüzde aktif olan; KB-GD uzanımlı Gediz ve D-B uzanımlı Menderes Grabenlerinin kesişme bölgesindedir. Proje alanındaki birimler özellikle Neojen sonrası oluşan tektonik hareketlerin etkisindedir. Baraj aks yerinde Gökpınar çayının akış yönüne dik ve verev olan kırıklar bulunmaktadır. Fayların etkisiyle, çalışma alanındaki birimlerde kırılmalar ve dolayısıyla basamaklanma yapısı gelişmiş, tabaka doğrultu ve eğimlerinde değişimler olmuştur.

Gökpınar Barajında Yapılan Presiyometre Deneyi

Çalışmanın başlangıcında yapılan araştırmalarda temel zeminini oluşturan marn, çakıltaşı, silttaşı

ve kumtaşı birimlerinin suda çözündüğü ve dağılma özelliği gösterdiği belirlenmiştir. Suyula temasın sürekli olduğu baraj ve göl rezervuarlarında bu durum büyük tehlikelere ve kayıplara neden olabilecektir. Bu amaçla baraj göl alanındaki kayaçların jeoteknik özelliklerinin yerinde belirlenmesi hedeflenmiş, arazide presiyometre deneyleri yapılması kararlaştırılmıştır.

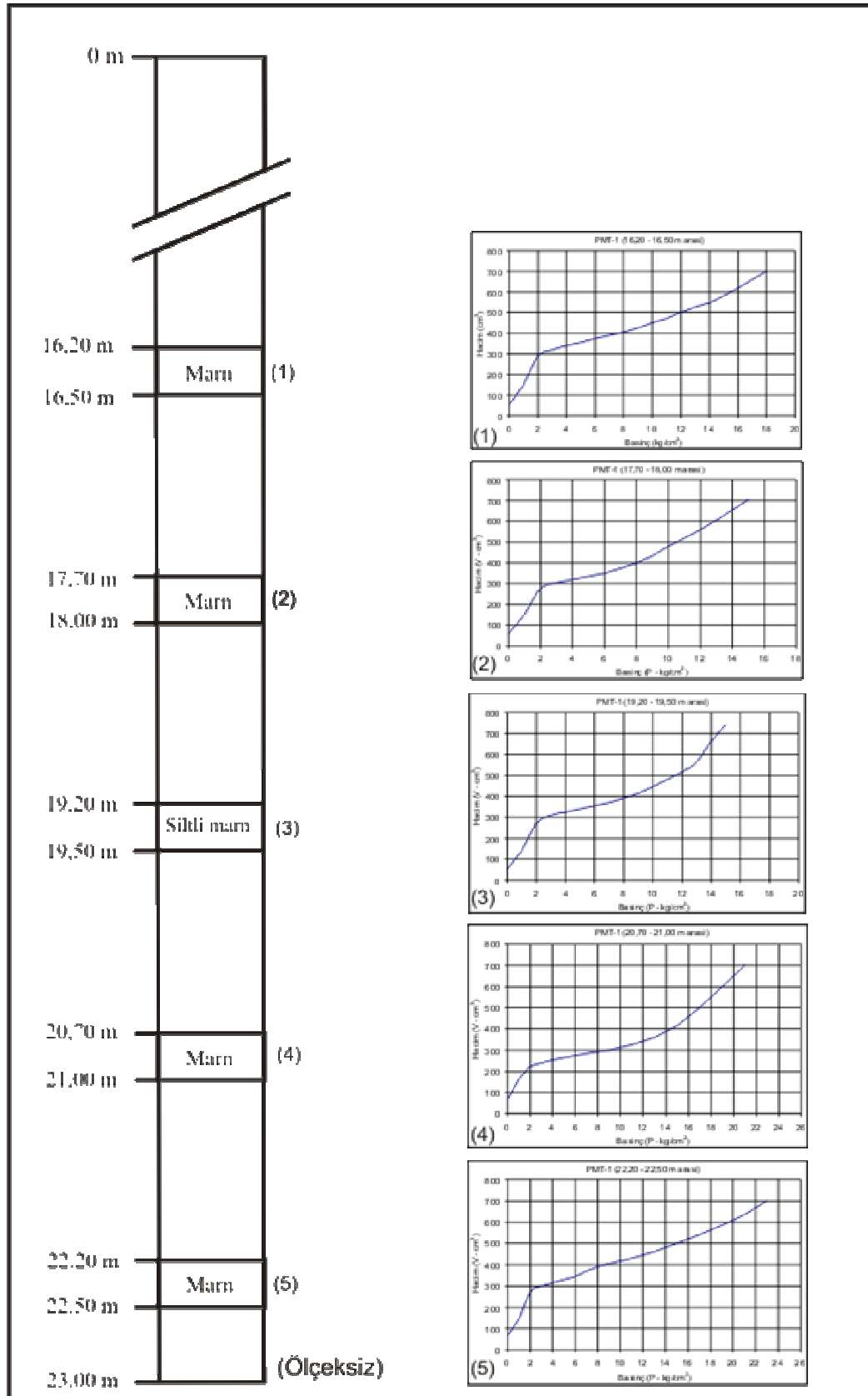
Dolusavak kapakları ile dolusavak sonu arasında, 18 adet farklı derinliklerde, sondaj kuyuları açılarak PMT yapılmıştır (DSİ, 1998.a). Presiyometre sondası açılan kuyu içerisine – deneyin yapılacağı seviyeye- indirildikten sonra, kuyu cidarına kademeli olarak basınç uygulanmıştır. Her basınç kademesindeki deformasyon ölçümü kaydedilerek, hacim ve basınç değerleri üzerinde gerekli düzeltmeler yapılmış, elde edilen değerler kullanılarak, “hacim-basınç değişimi” grafiği çizilmiştir (Şekil 2).

Yapılan PMT’den elde edilen verilerinin yorumlanması sonucunda her kuyu için taşıma gücü ve oturma analizi yapılarak zeminin emniyetli taşıma gücü (σ_{em}) değeri hesaplanmıştır (Çizelge 1). Her bir kuyuda birkaç farklı seviyede PMT yapılmış ve her bir seviye için hesaplanan σ_{em} değerlerinin ortalaması zeminin emniyet gerilmesi olarak kabul edilmiştir.

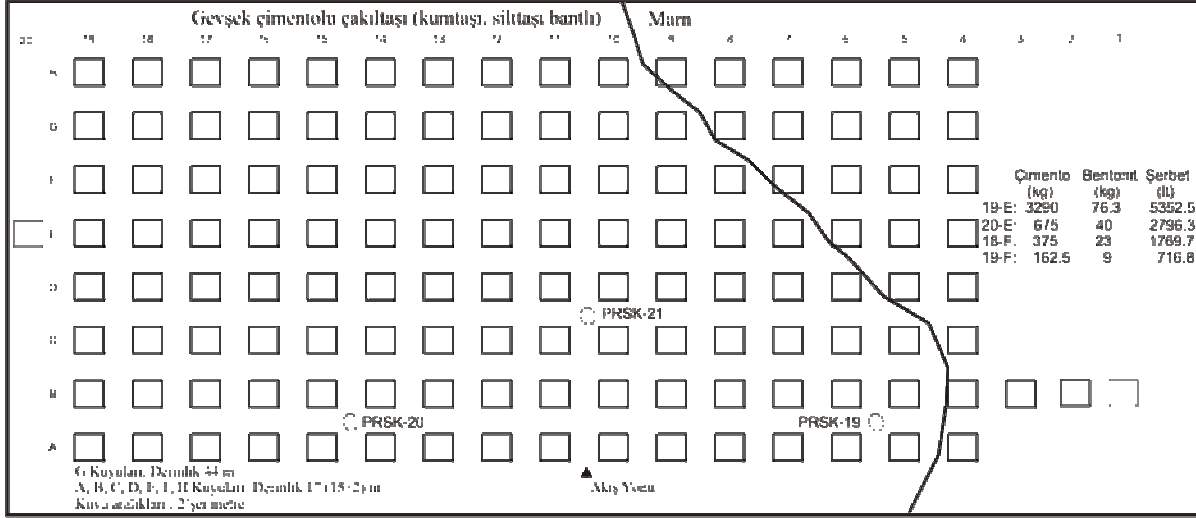
Çizelge 1. Presiyometre deneyine göre kuyularda hesaplanan zemin emniyet gerilmesi değeri.

Table 1. Allowable bearing capacities of the tested levels of boreholes.

Kuyu no	Zemin türü	Zemin emniyet gerilmesi (σ_{em}) (kPa)
PMT-1	Marn	298
PMT-2	Çakıltaşı	408
PMT-3	Çakıltaşı	327
PMT-4	Marn	497
PMT-5	Çakıltaşı	397
PMT-6	Marn	557
PMT-7	Marn	435
PMT-8	Marn	610
PMT-9	Marn-çakıltaşı	515
PMT-10	Marn-silttaşı-kıltaşı	453
PMT-11	Silttaşı-kumtaşı	376
PMT-12	Marn-çakıltaşı	452
PMT-13	Silttaşı-kumtaşı-çakıltaşı	376
PMT-14	Marn	600
PMT-15	Marn	720
PMT-16	Marn	620
PMT-17	Marn	630
PMT-18	Marn	514



Şekil 2. Gökpınar Barajında yapılan presiyometre deneyine bir örnek.
 Figure 2. Pressuremeter test graphs of a selected borehole at Gökpınar dam site.



Şekil 3. Gökpinar Barajı dolusavak eşik altı temel zemini sağlamlaştırma enjeksiyonları krokisi.

Figure 3. Plan view of compaction injection locations of Gökpinar Dam Site.

Dolusavak Özellikleri ve Yapılan Çalışmalar

İnşa edilecek olan dolusavak, sağ sahilde, karşıdan alışı radyal kapaklı tipte, 4 adet (5,00 m * 7,75 m boyutlarında) kapağı bulunan, 819 m³/s deşarj kapasitesine sahip, 328,80 m kret kotunda ve 334 m kanal uzunluğunda olacaktır. Bu özelliklerinden dolayı dolusavak kapaklarından zemine yaklaşık 981 kPa civarında yük geleceği hesaplanmıştır. Yapılan presiyometre deneylerine göre, zemin emniyet gerilmesi (σ_{em}) değeri; çakıltaşında 327–408 kPa ve marn'da ise 298–719 kPa değerleri arasındadır. Bu değerlere göre dolusavaktan zemine, zeminin taşıyabileceğinden daha fazla yük gelecektir. Zemine dolusavaktan aktarılacak yükün ağırlığı nedeniyle, ileride taşıma ve oturma problemlerine bağlı deformasyonlarla karşılaşılması için zemin iyileştirme ve kontrol çalışmaları yapılmıştır. Dolusavak kapaklarının oturacağı zeminde 2 m aralıklarla 4 tane temel sondaj kuyusu açılmış ve 44 m derinliğinde sağlamlaştırma enjeksiyonları yapılmıştır (DSİ, 1998.b). Enjeksiyon sırasında üstteki çakıl birimi tamamen geçilmiş ve alttaki marn biriminde 5 metre ilerlenmiştir.

Dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde 1) 0.000-0.015 km.'ler arasında (2 m * 2 m aralıklı) karelaj yöntemiyle açılan sondajlarda (Şekil 3) 15 m derinlikte geçirimsizlik (sızdırmazlık perdesi) ve sağlamlaştırma amacıyla enjeksiyon

yapılmıştır, 2) dolusavak eksenine paralel her bir sıra bir ano olarak kabul edilerek; enjeksiyon kademe boyu 2 m olarak planlanmış ancak, fazla kaçak olduğunda enjeksiyon kademe boyu 1 m'ye indirilmiştir, 3) Enjeksiyonlar, açık taban boru yöntemiyle, aşağıdan yukarıya çıkan kademeler şeklinde yapılmıştır. 4) Enjeksiyon sırasında, $P=0.23*H$ (atm) bağıntısıyla hesaplanan değer kadar basınç uygulanmıştır. Kuyular çakıl taşlarının altında yer alan marn birimi içerisinde 1 metre ilerleyecek şekilde açılmıştır.

Dolusavak Enjeksiyonu:

Gökpinar Barajı dolusavak yapısı 0.000-0.055 km.'leri arasında çakıltaşı biriminin sağlamlaştırılması ve taşıma gücünün artırılabilmesi için çimento enjeksiyonu yapılmasına karar verilmiştir.

Dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde yapılan enjeksiyon çalışmasında sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır:

1. Kompaksiyon enjeksiyonu, 0.000-0.015 km.'ler arasında 2 metre aralıklı karelaj şeklinde 15 m derinliktedir (Şekil 3).
2. Dolusavak eksenine paralel her bir sıra bir ano olarak kabul edilerek; enjeksiyon kademe boyu 2 m olarak planlanmıştır.
3. Enjeksiyonlar aşağıdan yukarıya çıkan fazlar metoduna göre yapılmış ve tüm enjeksiyon delikleri basınçlı temiz su ile yıkanmıştır.

5. Enjeksiyon sırasında, beton altında filtre malzemesinin bulunduğu ilk 1 m'lik kısımda $[P=0.23 \cdot H \text{ (atm)}]$ bağıntısıyla, ilk 1.0 m'den itibaren kuyu tabanına kadar $[P=0.33 \cdot H \text{ (atm)}]$ bağıntısıyla hesaplanan değer kadar basınç ve beton kontağında ise en fazla 0.2 atm'lik basınç uygulanmıştır.

Enjeksiyonlara şerbet veya harç genel olarak aşağıdaki şekilde enjekte edilmiştir:

- Her kesitteki sondaj deliklerinin enjeksiyonuna ağırlıkça çimento/su = 1/5 olan şerbetlerle başlanmış ve bu şerbetten dört mikser (1 mikser=250 lt) verilmiştir. Enjeksiyon sırasında manometre basıncı okumaları yapılmış, ve manometre basıncında artış olması durumunda enjeksiyon işleminin amacına ulaşarak başarılı olduğu kabul edilmiştir. Ancak, manometre basıncında artış olmadığı durumlarda sırasıyla aşağıdaki işlemlere devam edilmiştir.
- Manometre basıncında herhangi bir yükselme olmadığında ağırlıkça 1/3'lük karışıma geçilerek 4 mikser verilmiştir,
- Basınçta bir artış olmadığında ağırlıkça 2/3'lük karışım hazırlanarak 4 mikser verilmiş,
- Basınçta yine bir artış olmadığında, ağırlıkça 1/1'lik karışım hazırlanarak 4 mikser verilmiş,
- Basınçta yine bir artış olmazsa ağırlıkça 7/5'lik şerbet hazırlanarak 20 mikser verilmiştir,
- Yukarıdaki işlemlere tamamlandıktan sonra basınçta herhangi bir artış olmadığında, harç enjeksiyonlarına geçilmiş; önce ağırlıkça 7/5 oranlı şerbete çimento ağırlığının % 25'i kadar ince kum ilave edilerek hazırlanan karışım kullanılarak 20 mikser enjekte edilmiş. Basınçta bir yükselme ve refüye gitme durumu olmadığında % 50 oranında kum ilave edilerek yeni bir harç hazırlanarak 20 mikser enjeksiyon yapılmıştır.

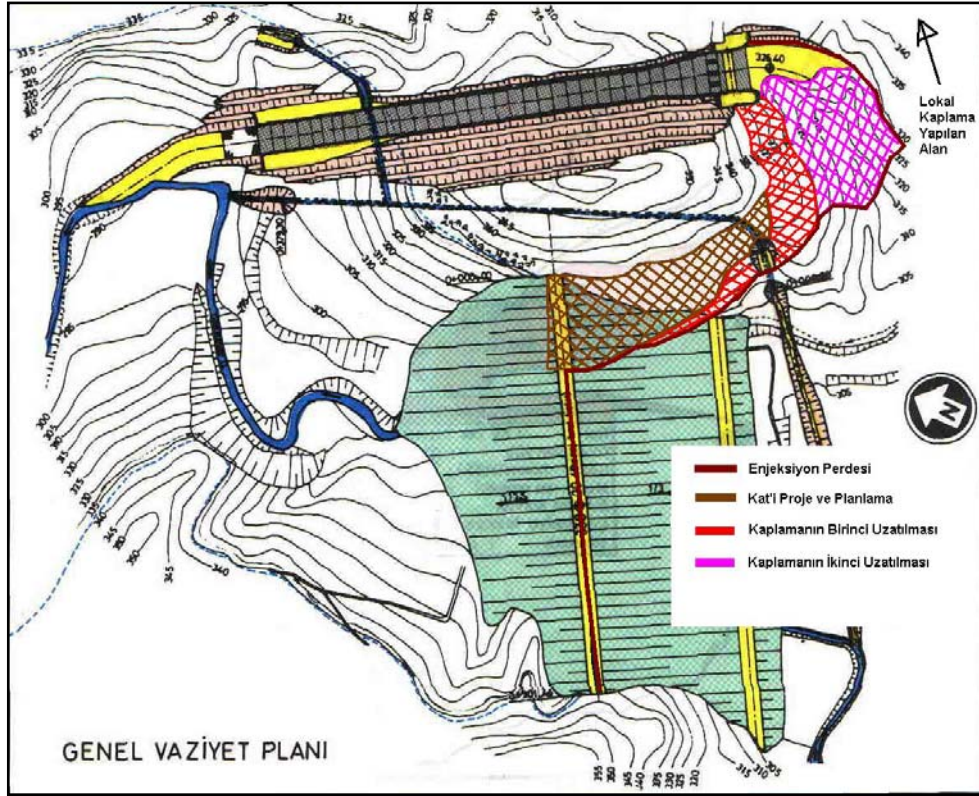
Çimento veya harçlı enjeksiyonlarda, hedeflenen basınç değerinde 10 dakikalık sürede deneyin yapıldığı seviye şerbet veya harcı kabul etmediği zaman; ağırlıkça çimento/su = 1/3 olan ince karışıma geçilerek ve enjeksiyona bu karışım ile devam edilmiştir. Literatürde, 20 dakikalık süre içerisinde enjeksiyon kademesinde "Şerbet

Kayıbı ≤ 0.3 litre/metre/dakika" olduğunda "refü" elde edilmiş kabul edilmektedir. Bu değere ulaşıldığında deneyin yapıldığı kademeden enjeksiyon işlemi durdurularak diğer kademe veya başka bir kuyunun enjeksiyonuna geçilmiştir.

Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde yapılan kompaksiyon enjeksiyonları tamamlandıktan sonra enjeksiyon kuyuları arasında seçilen yerlerde kontrol kuyuları açılmıştır. Bu kuyularda presiyometre deneyi yapılarak ve zeminin emin taşıma gücü değeri yeniden hesaplanmıştır.

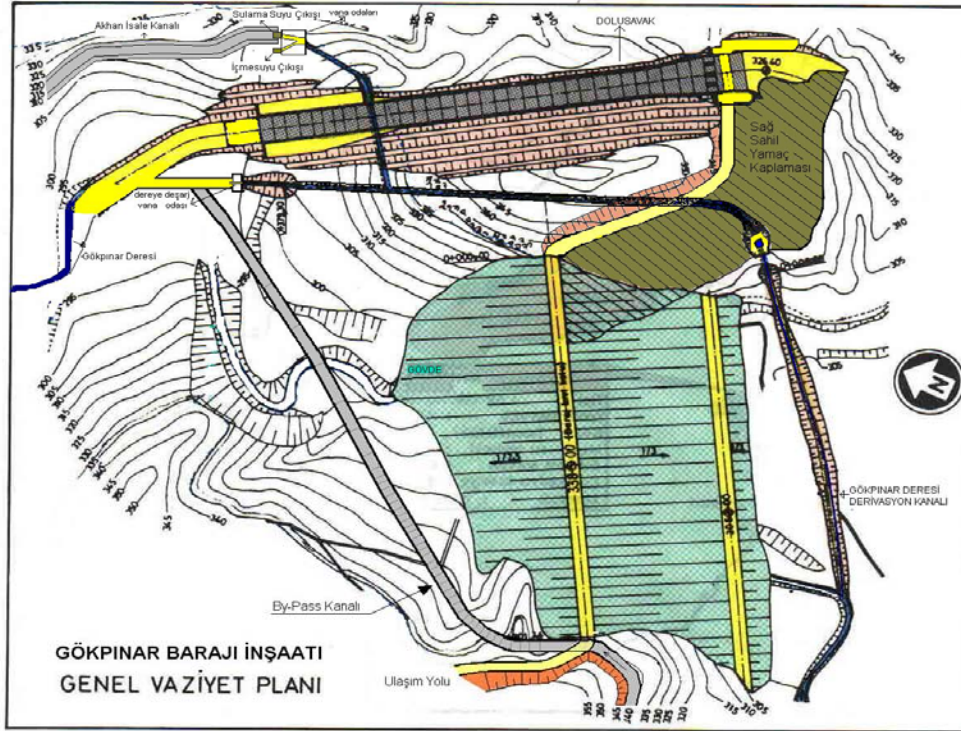
Keskin vd. (2006)'ne göre, su yapılarından sızan suyun hızını ve miktarını zemin türü etkilemektedir. Dolayısıyla, sızmayı önleyecek tedbirler zemin türü göz önüne alınarak yapılmalıdır. Bu amaçla, dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde 10 tane temel sondaj kuyusu açılmıştır. Dolusavak önü ve civarındaki zeminde 4 m'den daha derin kazı yapılmış 4 m kalınlığında kil ve onun üzerine riprap malzemesi serilerek geçirimsizlik sağlanmıştır (Şekil 4). Enjeksiyonlar sonrasında beton kaplama yapılarak zemin yüzeyinin suyla teması engellenmiştir (Şekil 5). Sağlamaştırma enjeksiyonlarının kontrolü amacıyla 3 tane presiyometre deneyi (PMT-19, 20 ve 21) yapılmıştır (DSİ, 1998.a).

a) Eşik Kısmı: Bu kısımda PMT-1, PMT-2, PMT-3, PMT-4, PMT-5 ve PMT-14 kuyuları açılarak presiyometre deneyleri yapılmıştır. Bu kısımdaki litoloji marn ve çakıltası olup yer yer silttaşı, kiltası bantları içermektedir. Deney sonuçlarına göre elastisite modülü (E) değeri 9,81-29,43 MPa, P_L değeri 785-2945 kPa, EP/ P_L değerleri 8-12 ve emniyetli taşıma gücü (σ_{em}) değerleri 300-600 kPa arasında değişmektedir. Bu değerler zeminin suya doymun olmayan değerleridir. Zeminin suya doymun hale gelmesi durumunda bu parametrelere ait değerlerin belirlenenden daha fazla düşüş gösterebilecektir. Bu duruma engel olmak amacıyla eşik yapısı altında - presiyometre deney sonuçları göz önüne alınarak- çimento enjeksiyonuyla zemin iyileştirmesi yapılmıştır.



Şekil 4. Dolu savak ve eşik yapısındaki enjeksiyon aşamaları.

Figure 4. Injection stages at the spillway and gate.



Şekil 5. Dolu savak çevresindeki zemin yüzeyinin beton ile kaplanması.

Figure 5. At the spillway below and next to soil covering with a concrete layer.

Çizelge 2. Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısında yapılan ankraj çekme deneyi sonuçları.*Table 2. The pullout test results of the cable bolts at spillway and gate.*

Deney no	Ankraj boyu (m)	Sıyırılma gerilmesi (MPa)	Nihai gerilme (MPa)	Yük (kN)	Yerdeğiştirme (*10 ⁻² m)	Açıklama
1	3	10,3	11,3	86	7,0	
2	3	13,7	14,7	112	7,5	
3	3	8,8	9,8	75	10,0	
4	3	15,7	17,7	135	9,0	
5	4	18,6	20,1	153	7,0	
6	4	7,8	9,8	75	6,0	
7	4	13,7	14,7	112	5,5	
8	4	0	13,2	101	10,0	Civata koptu
9	4	11,3	12,8	97	9,5	
10	4	0	23,5	179	4,5	Civata koptu
11	5	0	22,6	172	3,5	Civata koptu
12	5	13,7	14,7	112	6,0	
13	5	0	24,1	183	8,0	Civata koptu
14	5	18,2	19,6	150	7,0	
15	5	0	23,5	179	-	Civata koptu
16	5	19,6	21,6	164	6,5	

Ankraj demiri çubuğunun çapı (ϕ): $22 \cdot 10^{-3}$ m

Paso yapılıp çektirilen demir çubukların çapı (ϕ): $24 \cdot 10^{-3}$ m

b) Dolusavak Ekseni: Dolusavak ekseni boyunca her iki duvar tarafında 8 adet (PMT-6 - PMT-13 nolu) kuyu açılmıştır. Bu kuyularda yapılan deney sonuçları diğer kuyularda yapılan PMT sonuçlarına benzerdir. Ancak zemini silttaşı, kumtaşı ve çakıtaşı birimlerinden oluşan PMT-12 ve PMT-13 nolu kuyularda yapılan deney sonuçları diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Olası bir durumda kullanılabilmesi açısından dolusavak boşaltım kanalı başlangıcı (0+175.54 m) ile sonu (334 m) arasında vagondrill (kuru sistem ile) ankraj delikleri açılarak çekme deneyleri de yapılmış ve ankraj uzunluğunun 6 m olması kararlaştırılmıştır (Çizelge 2).

c) Sağ Duvar Yüzeyinde Oluşan Çatlak ve Derzler: Dolu savak boşaltım kanalının inşa edilmesinden sonra; 0.145 ile 0.155 km arasındaki ano, derz yerinden 2 cm kadar ayrılmıştır. Topografik aletlerle duvarda sürekli ölçümler yapılarak mevcut deformasyonun devam ettiği tespit edilmiştir. Duvarın bu kesiminin temel zemininde iyileştirme yapılabilmesi amacıyla çatlak ve derz aralarına ekstansometre cihazları yerleştirilerek duvardaki deformasyon özellikleri zamana bağlı olarak belirlenmiştir (Çizelge 3). Sağ duvarda meydana

gelen deformasyonlar sebebiyle, sağ duvarın inşa edildiği zeminde detaylı incelemeler yapılarak; birimlerin arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla elde edilen (duvar inşa edilmeden önceki ve inşa edildikten sonraki) jeoteknik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Çatlak kesimdeki temel zeminin parametreleri ile sağlam kesimdeki zemin parametrelerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla; çatlak ve derzler içeren sağ duvar kesiminde PMT-16 ve PMT-18 nolu kuyular ve karşı tarafta sağlam duvarların bulunduğu kesimde ise PMT-17 ve PMT-15 nolu kuyular açılmıştır. Bu kuyularda yapılan deney sonuçları yaklaşık birbirinin aynıdır. Litoloji genelde marn olup, P_L değerleri 1,50-3,14 MPa, EP değerleri 1500-4160 MPa, EP/ P_L değerleri ise 10-15 arasında değişmektedir. Bu değerler mevcut duvarı emniyetle taşıyabilecek kadar yüksektir. Ancak, temel zeminin uzun süre atmosferik şartlar etkisinde olması, yüzey veya tünek su sızıntılarına maruz kalması, suya doymun hale gelmesinin zeminin dayanımını düşürmesi ve zemindeki suyun drene olmasıyla duvar yükü altındaki zemin hacminin küçülmesi gibi nedenlerle duvarda deformasyonların meydana geldiği düşünülmektedir.

Çizelge 3. Sağ yan duvarda yapılan deformasyon ölçümleri.

Table 3. Deformation measurement results performed at the right hand side wall.

Zaman (gün)	Mesafe (km)	Kanal taban Kotu (m)	Kanal Tabanı Deformasyonu (mm)	Duvar taban kotu (m)	Duvar Tabanı Deformasyonu (mm)
1	0,145 sağ	318,590	-	318,583	-
	0,150 sağ	318,325	-	318,315	-
	0,154 sağ	318,120	-	318,110	-
21	0,145 sağ	318,588	2	318,556	27
	0,150 sağ	318,324	1	318,290	26
	0,154 sağ	318,118	2	318,087	23
29	0,145 sağ	318,588	2	318,556	27
	0,150 sağ	318,324	1	318,289	26+1
	0,154 sağ	318,118	2	318,087	23
45	0,145 sağ	318,588	2	318,556	27
	0,150 sağ	318,324	1	318,289	27
	0,154 sağ	318,118	2	318,087	23

Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde yapılan kompaksiyon enjeksiyonları tamamlandıktan sonra enjeksiyon kuyuları arasında seçilen yerlerde kontrol kuyuları (PRSK-19, PRSK-20 ve PRSK-21) açılmıştır (Şekil 3). Bu kuyularda presiyometre deneyi yapılarak zeminin emin taşıma gücü değeri yeniden hesaplanmıştır. PRSK-19 no'lu kuyuda 4.5 m derinliğe kadar çakıltaşı geçilmiştir. Çakıltaşında yapılan deneyde $E_F=14.22$ MPa ve $PL=1.6$ MPa olarak bulunmuştur. PRSK-20 no'lu kuyuda $E_F=1.3-2.0$ MPa ve $PL=6.3-19.3$ MPa olarak bulunmuştur. PRSK-21 no'lu kuyuda 6 m çakıltaşı geçilmiş, iki presiyometre deneyi yapılmış ve $E_F=1.1-2.3$ MPa olarak bulunmuştur.

SONUÇLAR

Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısı temel zemini genel olarak çakıltaşı ve marndan oluşmaktadır. Dolusavak kapakları ile dolusavak sonu arasında, farklı derinliklerde 18 adet sondaj kuyusu açılarak presiyometre deneyleri yapılmıştır. Yapılan presiyometre deneyi sonuçlarına göre; emniyetli taşıma gücü

(σ_{em}) değeri çakıltaşında 327–408 kPa; marnda ise 298–719 kPa değerleri arasındadır.

Dolusavak kapaklarının yerleştirileceği zemin; çimento enjeksiyonu yapılması, 4 m kalınlığında kil ve üzerine riprap malzemesi serilmesinden sonra beton kaplanarak dolusavak kapaklarından gelecek yükü taşıyabilecek şekilde sağlamlaştırılmıştır. Sağ yamaçta baraj gövdesi ile dolusavak kapakları arasında, 20 m - 30 m derinliğinde perde ve/veya dikiş enjeksiyonu yapılmıştır. Dolusavak kapak altında 2 m aralıklı 4 tane temel sondaj kuyusunda 44 m'lik enjeksiyonlarla zeminin dayanımı artırılmıştır.

Dolusavak ve eşik yapısı temel zemininde yapılan kompaksiyon enjeksiyonlarından sonra enjeksiyon kuyuları arasında seçilen yerlerde kontrol kuyuları (PRSK-19, PRSK-20 ve PRSK-21) açılmıştır. PRSK-19 no'lu kuyuda $E_F=14.22$ MPa, $PL=1.6$ MPa; PRSK-20 no'lu kuyuda $E_F=1.3-2.0$ MPa, $PL=6.3-19.3$ MPa; PRSK-21 no'lu kuyuda $E_F=1.1-2.3$ MPa olarak bulunmuştur.

Baraj gövdesi ve dolusavak arasındaki kısımda beton kaplama yapılarak, temel zeminini oluşturan ve suyla temas ettiğinde dağılma özelliği gösteren çakıltaşı ve mar'nın suyla teması engellenmiştir.

KAYNAKLAR

- ASTM-D 4719-87 (1987) Standard test method for pressuremeter testing in soils, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Bell, A. L., 1993. Ground improvement. Edited by M. P. Mosely.
- Bowen, R., 1975. Grouting in engineering practice. John Willey, New York.
- Caron, C., Cattin P., Herbst, F., 1975. Injections (Foundation Engineering Handbook), Van Nostrand Reinhold (edited by H. Winterkorn, H. Y. Fang), New York.
- Clayton, C.R.I., Matthews, M.C. ve Simons, N.E., 1995. Jeoteknik saha incelemesi. Blackwell Science Ltd. (Çevirenler: Çetin, H., Kayabalı, K. ve Arman, H., 2005. Gazi Kitabevi, Ankara), 583 s.
- Day, R.W., 2002. Geoteknik deprem mühendisliği el kitabı. McGraw-Hill (Çevirenler: Mollamahmutoğlu, M. ve Kayabalı, K. 2004, Gazi Kitabevi, Ankara), 600 s.
- DSİ. 1989. Denizli-Çürüksu projesi Gökpınar Barajı planlama raporu. Aydın. 160 s.
- DSİ. 1998.a. Gökpınar Barajı dolusavak ve eşik yapısı temel zemini presiyometre deneyi ölçümleri raporu. Aydın. 140 s.
- DSİ. 1998.b. Gökpınar Barajı dolusavak enjeksiyonu raporu. Aydın.
- Keskin, S.B., Güngör, M., Fırat, M. 2006. Bağlama altında sızmadan dolayı meydana gelen potansiyel ve hız dağılımına zemin türü, palplanş ve menba blanketi etkisi. Mühendislik Jeolojisinde Çağdaş Uygulamalar Sempozyumu. 25-27 Mayıs 2006, Pamukkale Üniv., 191-199. Denizli, Türkiye.
- Kosmatka, S., 1990. Cementitious Grouts and Grouting, Portland Cement Association.
- Kramer, S.L., 1996. Geoteknik deprem mühendisliği. Prentice-Hall, Inc. (Çeviren: Kayabalı, K. 2003, Gazi Kitabevi, Ankara), 708 s.
- Littlejohn, G. S., 1982. "Design of cement based grouts", Grouting in Geotechnical Engineering, ASCE, 35-48, New York.
- Mair, R.J. ve Wood, D.M., 1987. In-situ pressuremeter testing: methods testing and interpretation, CIRIA Ground Engineering Report, Butterworth, London.
- Ménard, L., 1975. The Ménard Pressuremeter. Les Éditions Sols-Soils, 26, 7-43.
- Özocak, A., 1994. İnce daneli çimento ile enjeksiyon model deneyleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul (yayımlanmamış).
- Shroff, A. V., and Shah, D. L., 1993. Grouting technology in tunneling and dam construction, Balkema, Brookfield.
- Wood, D.M. 2004. Jeoteknik Modelleme (Uygulamalı Jeoteknik Cilt:1). Spon Pres, NY (Çeviren: Kayabalı, K. 2006, Gazi Kitabevi, Ankara), 480 s.

