

İnce daneli zeminlerde örselenme

Hüseyin Suha AKSOY*, Kemal ÖZÜDOĞRU

İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

İnce daneli zeminlerde numune örselenmesi nedeniyle, numunenin alındığı zemini temsil etmediği bilinmektedir. Numune örselenmesi özellikle yumuşak zeminlerde deney sonuçlarını daha fazla etkilemektedir. Zemin mühendisliği açısından kohezyonlu zeminlerde numune örselenmesinin iki ana sebebi olduğu kabul edilmektedir. İlki, numune alımı işleminden (delme, numune alma, saklama, çıkartma vs.) kaynaklanan mekanik örselenme, ikincisi ise numunenin üzerinde gerilme boşalması sebebiyle meydana gelen örselenmedir. Zeminde gerilme boşalması nedeniyle meydana gelen örselenme zeminin maksimum kayma gerilmesini ve başlangıç kayma modülünü etkilemektedir. Bu amaçla laboratuvarda yeniden oluşturulmuş numuneler elde edilerek her bir numune için gerilme-şekil değiştirme değerleri ve başlangıç kayma modülü değerleri yardımıyla numune örselenmesinin derecesi belirlenmeye çalışılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Numune örselenmesi, gerilme boşalması, aşırı konsolide kil, üçeksenli deney.

Disturbance in fine grained soils

Abstract

In fine grained soils; due to the sample disturbance the specimen can't represent the soils which exist at the field. Sample disturbance effects test results especially on fine grained soils. If researchers determine the soil properties with higher precision this will reduce the all costs of the geotechnical projects. From the view point of geotechnical engineering; sample disturbance consist of two components, one associated with mechanical disturbance caused by the sampler, handling, etc. and the other is due to the stress release. It is inevitable that mechanical disturbance which occurs because of the stress release, effect especially two of soil parameters; maximum shear strength and initial shear modulus. In this work initial shear modulus and stress-strain relationships will be determined on normally consolidated and over consolidated soil specimens. Reconstituted soil samples are used for laboratory tests. Samples are consolidated at anisotropic and/or isotropic conditions, after consolidation samples were sheared These samples were assumed as normally consolidated soils at the site. Other samples are consolidated at isotropic or anisotropic conditions, after this all loads were released. After one day the sample is loaded with a lower isotropic pressure and sheared in undrained conditions. These samples are assumed as laboratory samples. Maximum shear strength and initial shear modulus of each sample are determined. This data can be used for determining the degree of sample disturbance.

Keywords: Sample disturbance, stress relief, overconsolidated clay, triaxial test.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Hüseyin Suha AKSOY. saksoy@ins.itu.edu.tr; Tel: (424) 237 00 00 dahili: 6331.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "İnce daneli zeminlerde gerilme boşalmasından kaynaklanan örselenmenin incelenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.05.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 27.07.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.12.2005 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

Son yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi sayesinde geoteknik bilim dalında, sayısal yöntemlerle hesap yapan bilgisayar programlarının artmasına paralel olarak geoteknik mühendisleri tarafından bilgisayar kullanımı oldukça artmıştır. Bu programlardan elde edilen sonuçların doğruluğu doğaldır ki, programa girdi olarak verilen bilgilerin doğruluk derecesine bağlıdır. Geoteknik bilim dalı kurulduğundan beri araziden numune alıcılar ile alınan zeminin, numune almada yapılan hatalar ve numune alma olayının doğası nedeniyle asıl zemini temsil etmediği ve laboratuvar deney sonuçlarının yanıltıcı olabileceği bilinmektedir. Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan stabilite problemlerinin çözümü, arazideki zeminin gerilme şekil değiştirme, mukavemet özelliklerinin doğru tahminine bağlıdır. Bu nedenle arazideki zeminin davranışlarını gerçekçi olarak tahmin edebilmek geoteknik mühendisliğinde çok önemlidir. Geoteknik mühendisliğinde güvenlik katsayılarının bu denli büyük olmasının sebeplerinden biri de numune örselenmesi nedeniyle laboratuvar deneylerinin araziyi tam olarak temsil etmemesidir.

Gerilme boşalmasının etkilerini ve bu etkilerin giderilmesi için laboratuvarında Rowe konsolidasyon hücresinde homojen numuneler elde edilmiş ve bu numunelerin kimi anizotropik olarak yüklenerek istenilen gerilme düzeyinde drenajsız olarak kesilmiş, geri kalanı ise yine anizotropik olarak konsolide edilmiş ancak kesilmeden önce üzerindeki bütün gerilmeler kaldırılarak 24 saat bekletilmiş ardından, aşırı konsolide numuneler elde etmek için, daha düşük bir gerilme düzeyinde yeniden yüklenerek drenajsız olarak kesilmiştir. Bütün numunelerin kesilmeden önce, özel olarak imal edilen burulmalı vibrasyon deney sistemi vasıtası ile başlangıç kayma modülleri belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerde fiziksel örselenme oluşmadığı sadece gerilme boşalması nedeniyle örselenme meydana geldiği kabul edilmiştir.

Bishop ve Henkel (1957) Numune örselenmesinin en fazla normal konsolide ve düşük plastisiteli zeminlerde etkili olduğu, aşırı konsolide

zeminlerin örselenme nedeniyle daha az mukavemet kaybettiklerini, gerilme şekil değiştirme eğrilerinin az bir örselenme ile bile değiştiğini daha fazla örselenme durumunda ise drenajsız mukavemetin önemli oranda hatalı ölçülebildiğini belirtmiştir. Bununla beraber efektif gerilme parametrelerinin (c' ve ϕ') örselenme sonucu büyük değişimler göstermediğini ifade etmiştir.

Broms ve Ratnam (1963) izotropik ve anizotropik şartlarda konsolide ettikleri normal konsolide ve aşırı konsolide, yoğrulmuş kaolin numuneler üzerinde konsolidasyonlu drenajsız deneyler yapmışlardır. Numuneleri anizotropik olarak konsolide edebilmek için, önce izotropik olarak konsolide etmişler, ardından düşey gerilme küçük (3.45 kPa) artışlarla istenen değere getirilmiştir. Maksimum deviatorik gerilmeye anizotropik olarak konsolide edilen numunelerde çok daha küçük eksenel şekil değiştirme değerlerinde ulaşıldığını belirlemişlerdir. Efektif kayma mukavemeti açısı (ϕ') anizotropik olarak konsolide edilmiş numunelerde daha yüksek elde edilmiştir. Deney sonrası su muhtevasının, numunenin ortasında daha yüksek değerlerde olduğunu belirlemişlerdir. Konsolidasyon şartlarının gerilme-şekil değiştirme ilişkisini, boşluk suyu basıncı oluşumunu, kayma mukavemeti parametrelerini ve deney sonu su muhtevalarını etkilediğini belirtmişlerdir.

Ladd ve Foott (1974) tarafından yapılan çalışmada numune, arazi ön konsolidasyon basıncının en az iki, ideal olarak ise dört katı bir basınç altında izotropik olarak konsolide edilmesi tavsiye edilmektedir. Bu gerilmeler altında konsolidasyon tamamlandıktan sonra gerilmeler arazideki gerilme seviyesine kadar boşaltılmakta ve bu gerilmeler altında drenajsız koşullarda numunede göçmeye ulaşılmaktadır. Bu yöntem SHANSEP (Stress History and Normalized Soil Engineering Properties) olarak anılmaktadır.

Broms (1980) numune örselenmesinin, kayma mukavemetini azalttığını ve dolayısı ile tasarımı yapılan binayı da etkilediğini belirtmiştir. Yazara göre statik yükler altındaki taşıma gücü %30 az hesaplanabilmekte, oturmalar ise özellikle katı killerde üç ile altı kat fazla hesaplanabilmektedir.

Anizotropik olarak konsolide edilmiş numunelerin başlangıç kayma modülünün, gerilme boşalmasından, izotropik olarak konsolide edilmiş numunelere göre çok daha fazla etkilendiğini belirtmiştir. Ayrıca numune alıcının cidarları boyunca istenmeden de olsa bir yoğrulma meydana geldiğini ve bu sebeple numune içerisindeki suyun yoğrulmuş kenar bölgelerden, örselenmemiş merkez bölgelere doğru hareket ettiğini ve bu etkiden kurtulmak için numunenin, numune alma işleminden hemen sonra numune alıcıdan çıkarılması gerektiğini belirtmiştir.

Koutsoftas ve Fischer (1980) dinamik üç eksenli ve Rezonans frekansı deney aletlerinde plastik kıvamda olan örselenmemiş iki tür deniz kili üzerinde yaptıkları deneysel çalışmalardan her iki tür kilde de kayma modüllerinin ve kayma mukavemetlerinin gerilme geçmişinden oldukça fazla etkilendiğini belirtmişlerdir. Yazarlar kayma mukavemeti ile normalize edilmiş maksimum kayma modülü aşırı konsolidasyon oranı ilişkisinin ters orantılı bir eğri şeklinde olduğunu belirtmişlerdir.

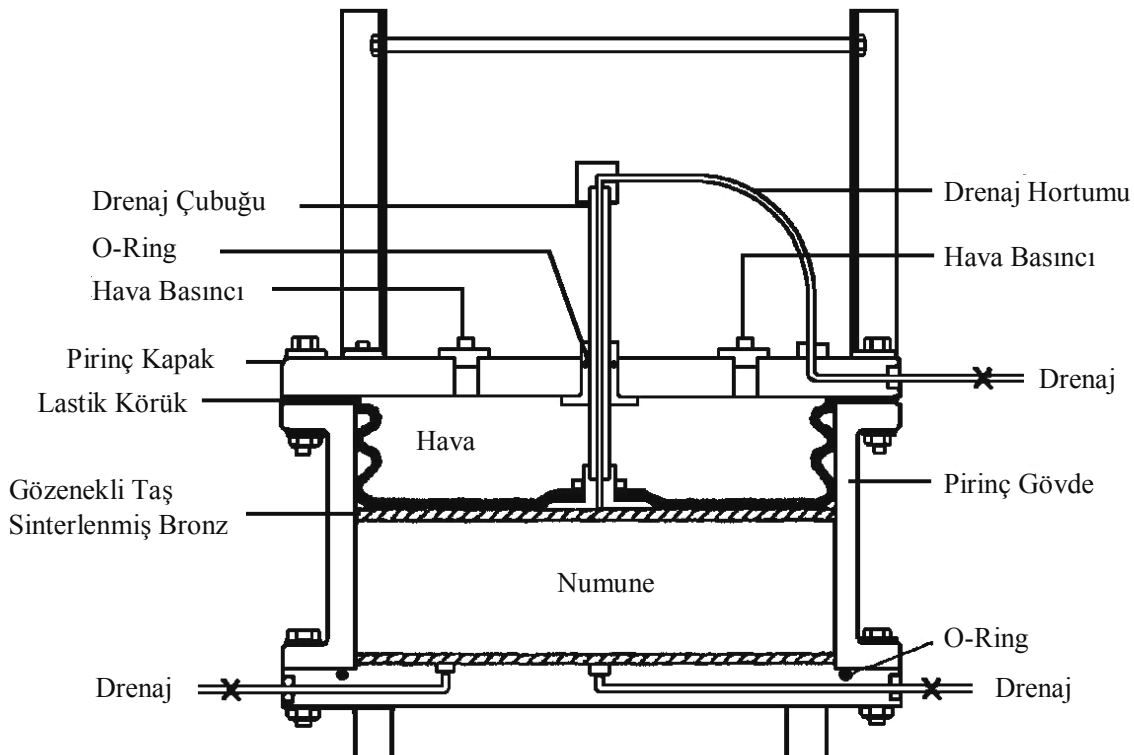
Kirkpatrick ve Khan (1984) kaolen ve illit numuneler üzerinde çalışmışlar; normal konsolide

killerin, araziye göre mukavemetlerinin düşük olduğunu ve göçme anında ulaşılan deformasyonların yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Arazideki gerilmelerle (anizotropik) yeniden konsolide edilen numunelerin arazideki numunelere oldukça yakın mukavemet parametrelerine sahip olduğunu belirlemişler ve SHANSEP gibi karmaşık yöntemlere gerek olmadığını ifade etmişlerdir.

Lacasse (2001) değişik çaptaki numune alıcılarla alınmış kil numuneler üzerinde deneyler yapmış ve numune örselenmesinin etkilerini gidermek için arazideki gerilme koşullarında (K_0) numunelerin yeniden konsolide edilmesini önermiştir.

Deneysel çalışmalar

Bütün deneylerde Eskişehir yöresinden hazır olarak getirilen kil kullanılmıştır. Bu kilin laboratuvar deneyleri ile belirlenen dane özgül ağırlığı 2.70, likit limiti %44, plastik limiti %25 olarak bulunmuştur. Yapılan hidrometre analizi sonucunda, ince daneli malzemelerin oranının yaklaşık %50 olduğu görülmüştür. Bütün numuneler toz halindeki Eskişehir kilinden likit limitin 2.5 katı su muhtevası ile Şekil 1'de görülen



Şekil 1. Numune hazırlamakta kullanılan Rowe hücresi

Rowe hücresi kullanılarak 100 kPa basınç altında konsolide edilerek hazırlanmıştır. İlk gün numune düşük bir basınç altında bekletilmiştir. Bunun nedeni çok cıvık kıvamda olan numunenin körüğün kenarlarından fıskırmasını engellemektir. İkinci gün basınç 100 kPa'a yükseltilmiştir.

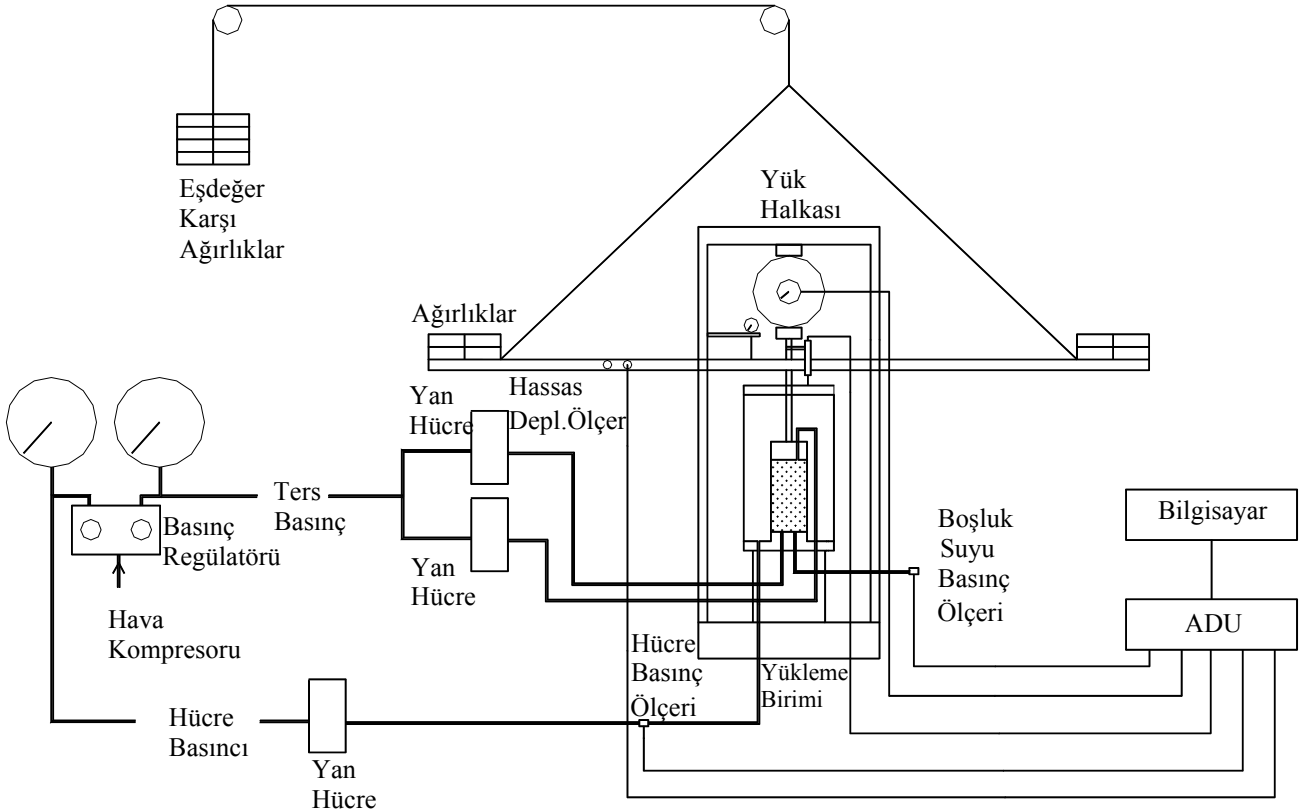
Konsolidasyonun tamamlanma süresi yaklaşık 2 haftadır. Bu süre sonunda yaklaşık 120 mm yüksekliğinde ve su muhtevası $w \cong \%40$ olan bir zemin elde edilmiştir. Bu zemin kütesinden üç eksenli deney numunesi almak için hücrenin üst başlığı sökülüp 50 mm çapında standart bir numune alıcı ile numuneler alınmıştır. Rowe hücresinde 100kPa basınç altında konsolide edilen kil numuneler, numune alıcıdan çıkarıldıktan sonra su muhtevalarını kaybetmemeleri için streç film ve alüminyum folyo ile kaplanmış ve desikatöre yerleştirilmiştir.

Hazırlanan numunelerin başlangıç kayma modülünü belirleyebilmek için, klasik bir üç eksenli deney sistemi istenilen deney şartlarını oluştura-

cak şekilde modifiye edilmiştir. 50mm çapında 100mm yüksekliğinde numuneler üzerinde, Wykham Farrance marka hücre ve üç eksenli çerçevesi kullanılarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak numunelerin başlangıç kayma modülünü belirleyebilmek için özel bir üst başlık ve bu başlığa uygun bir üç eksenli deney hücresi pistonu yaptırılmıştır. Bu başlık ve piston sistemi ile zemin numunelerine çok küçük genlikli burulma deformasyonları uygulayabilmek için bir sarkaç kiriş imal edilmiştir. Aynı zamanda bu kirişin ağırlığını dengeleyen eş ağırlık sistemi sayesinde anizotropik düşey gerilmeler numuneye uygulanabilmiştir. Elde edilen deney sistemi burulmalı üç eksenli deney sistemi olarak adlandırılmıştır. Deney sistemin ayrıntılı şeması Şekil 2'de görülmektedir.

Normal konsolide numuneler üzerinde yapılan deneyler beş aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir:

- Numunenin suya doymun hale getirilmesi,
- Numunenin istenilen çevre basıncı altında izotropik olarak konsolide edilmesi,



Şekil 2. Burulmalı üç eksenli deney sistemi

- c) Numunenin istenilen düşey basınç altında anizotropik olarak konsolide edilmesi,
- d) Burulmalı sistem ile numunenin başlangıç kayma modülünün belirlenmesi,
- e) Numunenin deformasyon kontrollü olarak drenajsız kesilmesi

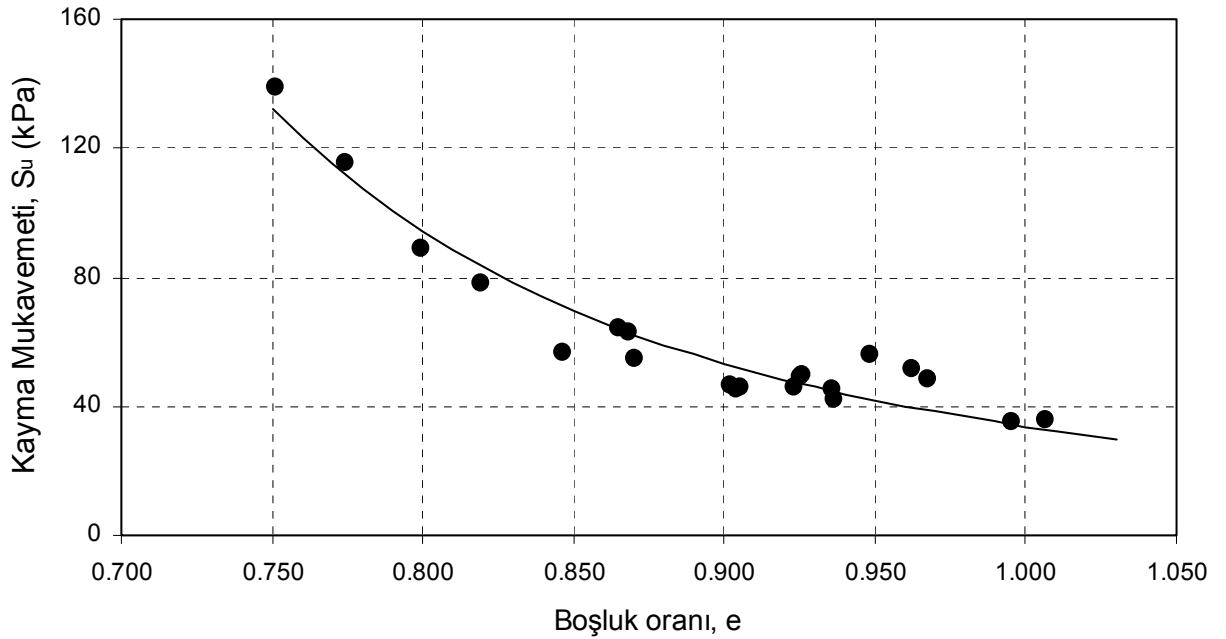
Aşırı konsolide numuneler ise anizotropik olarak konsolide edildikten sonra üzerlerine etkiyen bütün yükler kaldırılarak 24 saat beklenmiş ve daha sonra izotropik olarak konsolide edildiği gerilme seviyesinde yeniden konsolide edilerek drenajsız olarak kesilmiştir.

Yapılan deneyler

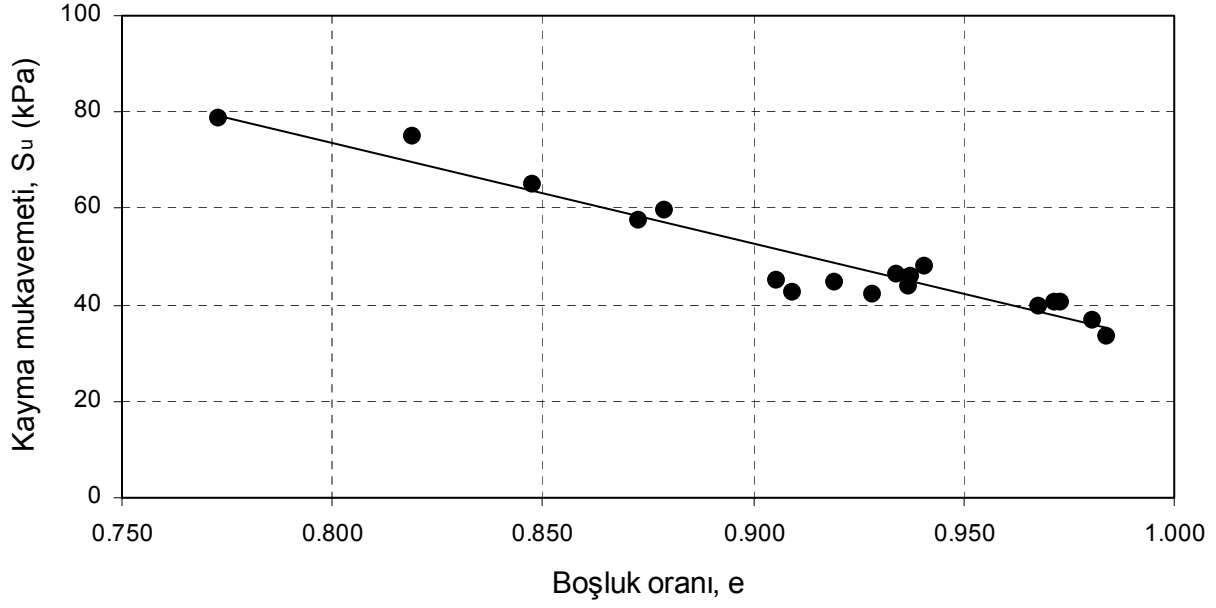
Deneylerde numuneler farklı gerilme şartları altında (izotropik ve anizotropik) konsolide edilerek kesilmişlerdir. Bu numuneler arazi eşdeğeri numuneler olarak isimlendirilmişlerdir. Arazi eşdeğeri numunelerin hepsi normal konsolide-dir. Daha sonra araziden numune alıcı ile alınıp laboratuvara getirilen numuneleri modelleyebil-mek için, aynı numuneler yeniden hazırlanmış, aynı gerilme şartlarında konsolide edilmiş, konsolidasyonun ardından numune üzerindeki bütün yükler kaldırılmış ve numune 24 saat boyunca bekletilmiştir. 24 saatin ardından numune, daha düşük bir gerilme seviyesinde

yeniden izotropik olarak yüklenmiş, konsolide edilmiştir. Konsolidasyonun ortasında drenajsız olarak kesilmiştir. Bu numunelerde araziden laboratuvara getirilip gerilme geçmişi dikkate alınmadan kesilen aşırı konsolide numuneler olarak kabul edilmişler ve laboratuvar numuneleri olarak isimlendirilmişlerdir. Normal konsolide numuneler arasında aynı $K=\sigma_c/\sigma_v$ oranına sahip numuneler üzerinde farklı gerilme seviyelerinde deneyler yapılmış ve bu sayede kayma mukavemeti parametreleri (c, ϕ) elde edilmiştir.

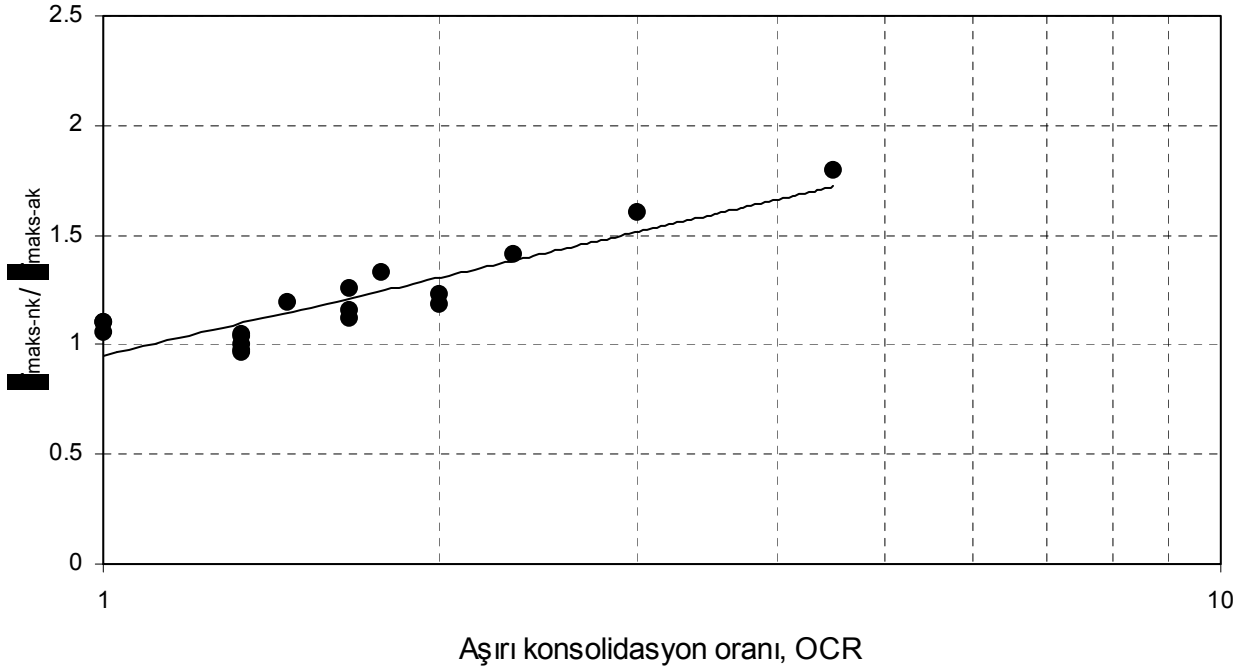
Yapılan deneyler sonucunda normal konsolide arazi eşdeğeri numunelerin kayma mukavemetlerinin boşluk oranı ile değişiminin Şekil 3'deki gibi olduğu görülmüştür. Gerilme boşalması yaşamış laboratuvar numunelerinde ise kayma mukavemeti boşluk oranı ile Şekil 4'deki gibi değişmektedir. Her iki grafikten de görülmektedir ki zeminlerin kayma mukavemeti boşluk oranı arttıkça azalmaktadır. İki tip numunenin kayma mukavemetlerinin karşılaştırmak için aynı numunenin gerilme boşalması yaşamadan önceki ve gerilme boşalması yaşadıktan sonraki kayma mukavemetlerinin birbirine oranı ve aşırı konsolidasyon oranı arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bu ilişki Şekil 5'de görülmektedir.



Şekil 3. Arazi eşdeğeri numuneleri için kayma mukavemetinin boşluk oranı ile ilişkisi



Şekil 4. Laboratuvar numunelerinin kayma mukavemetinin boşluk oranı ile ilişkisi



Şekil 5. Normal ve aşırı konsolide numunelerin maksimum kayma gerilmelerinin aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi

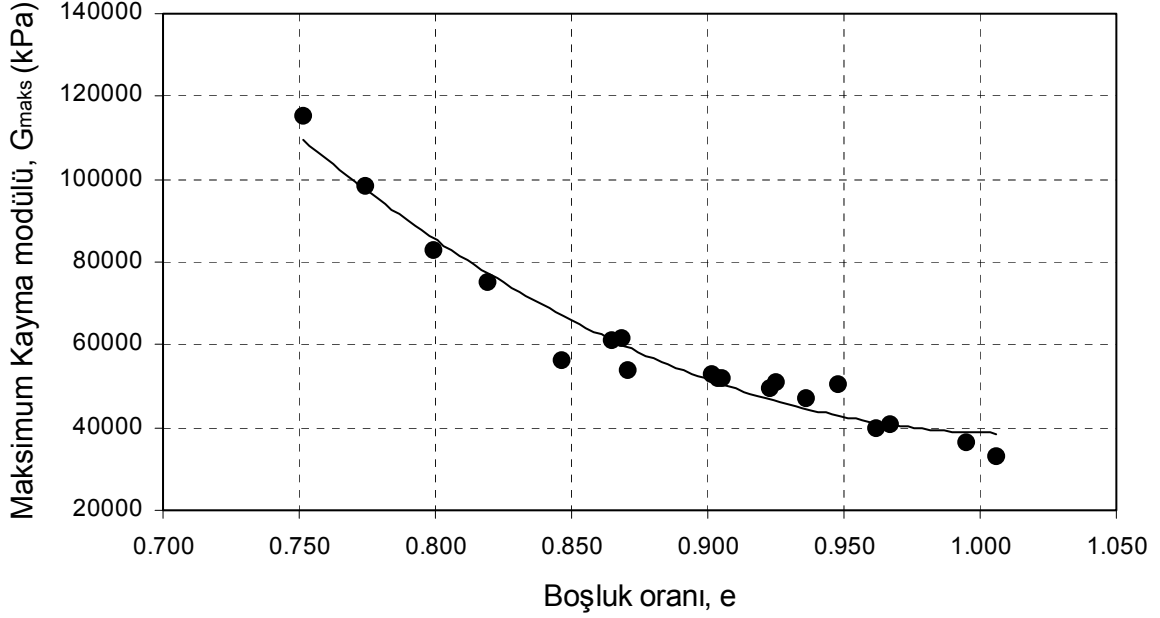
Bu grafikten de görülmektedir ki aşırı konsolidasyon oranı numunenin mukavemeti üzerinde birinci dereceden etkilidir. Grafikten de görüldüğü gibi numunenin aşırı konsolidasyon oranı arttıkça laboratuvarında elde edilen kayma mukavemetinde yapılan hata miktarı da artmaktadır. Eğer kullanılan numunenin aşırı konsolidasyon

oranı bilinmiyorsa yapılan deneyin ne kadar yanıltıcı olabileceğinin görülmesi açısından bu grafik anlamlıdır. Grafikte görülen ilişkiyi matematiksel olarak ifade edersek:

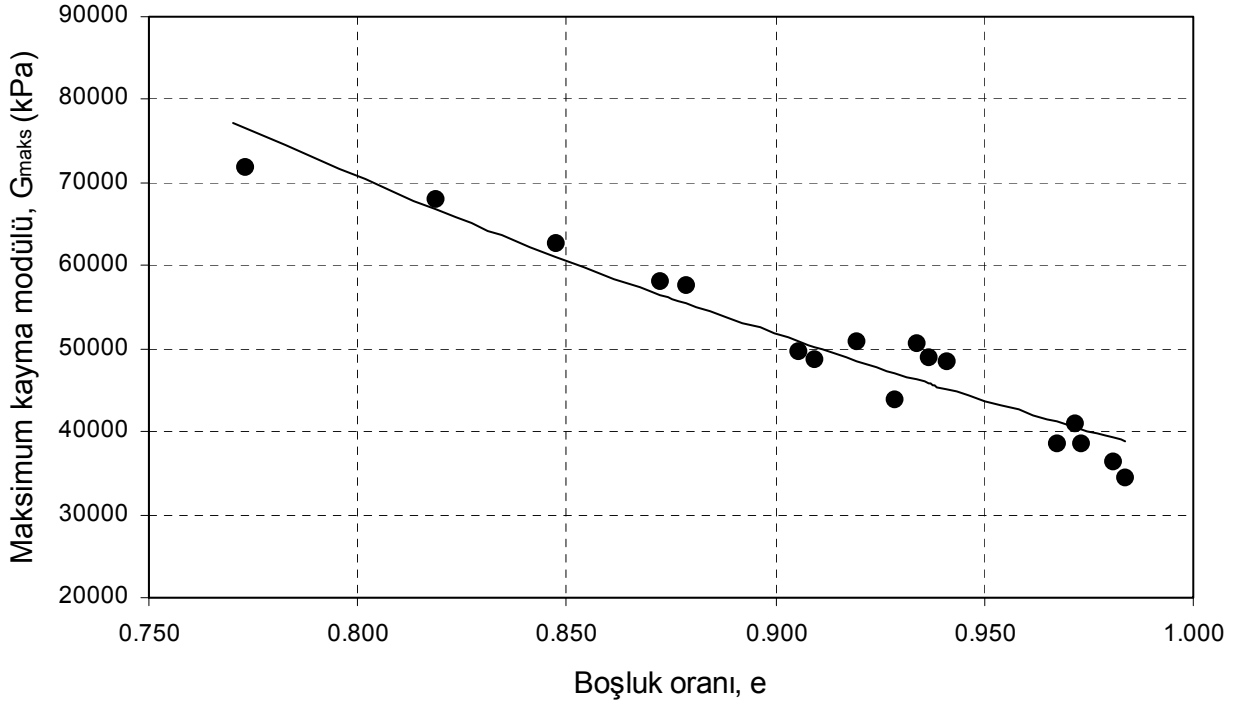
$$\frac{\tau_{maks-nk}}{\tau_{maks-ak}} = 0.23 \times OCR + 0.79 \quad (1)$$

şeklinde bir ilişki olduğu görülebilir. Burada laboratuvar numunesinin kayma mukavemetinin bilinmesi durumunda sadece aşırı konsolidasyon oranının bilinmesi ile normal konsolide haldeki kayma mukavemetinin tahmin edilebileceği görülmektedir.

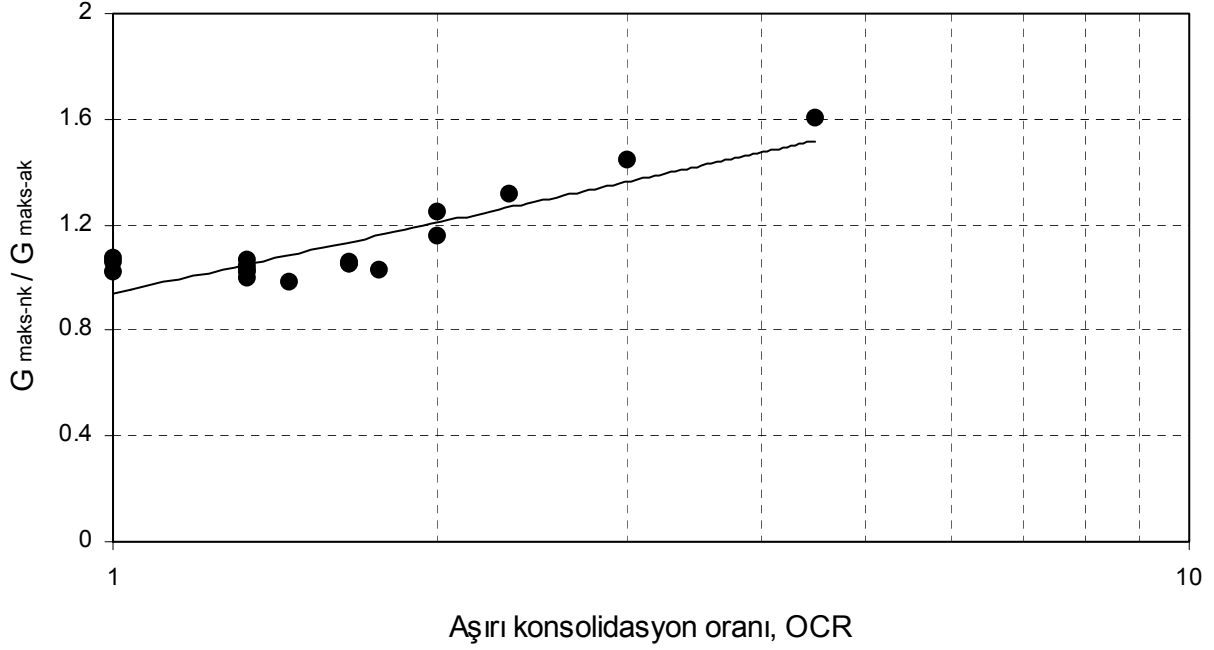
Şekil 6 ve Şekil 7’de ise arazi eşdeğeri ve laboratuvar numunelerinin maksimum kayma modüllerinin boşluk oranı ile değişimi görülmektedir. Şekil 8’de ise arazi eşdeğeri numunelerin maksimum kayma modüllerine laboratuvar numunelerinin maksimum kayma modüllerinin oranı



Şekil 6. Arazi eşdeğeri numunelerin maksimum kayma modülü boşluk oranı ilişkisi



Şekil 7. Laboratuvar numunelerinde G_{maks} boşluk oranı ilişkisi



Şekil 8. Normal ve aşırı konsolide numunelerin maksimum kayma modüllerinin aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi

ile aşırı konsolidasyon oranı arasındaki değişim görülmektedir. Bu grafikten de görülebileceği gibi aşırı konsolide laboratuvar numunelerinin maksimum kayma modüllerinden, arazi eşdeğeri numunelerin kayma modüllerini belirleyebilmek için aşırı konsolidasyon oranının bilinmesi yeterlidir. Grafikte görülen ilişkiyi matematiksel olarak ifade edersek:

$$\frac{G_{maks-nk}}{G_{maks-ak}} = 0.19 \times OCR + 0.80 \quad (2)$$

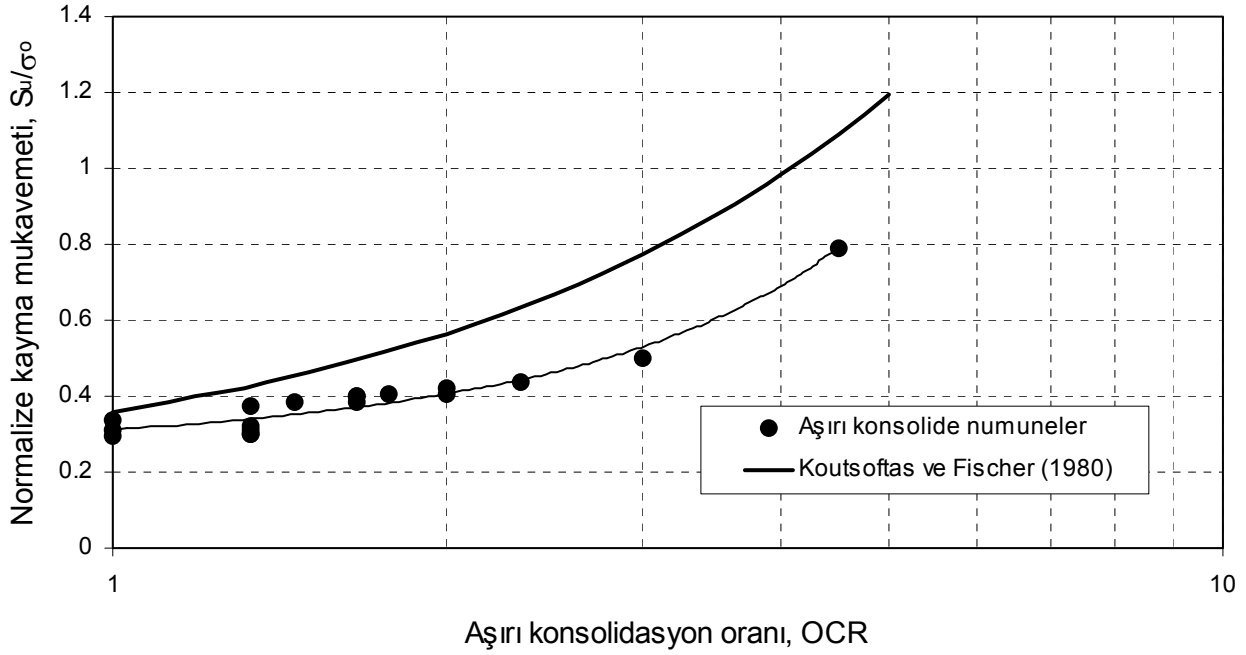
ifadesini elde edebiliriz.

Yapılan çalışmanın daha önce yapılmış çalışmalarla karşılaştırılması amacı ile Şekil 9'da oktaedral çevre gerilmesi ile normalize edilmiş kayma mukavemetlerinin aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 10'da ise kayma mukavemeti ile normalize edilmiş maksimum kayma modülünün aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi görülmektedir. Her iki grafikten de görüldüğü gibi yapılan çalışmanın sonuçları daha önce yapılmış çalışmaların sonuçları ile uyumludur.

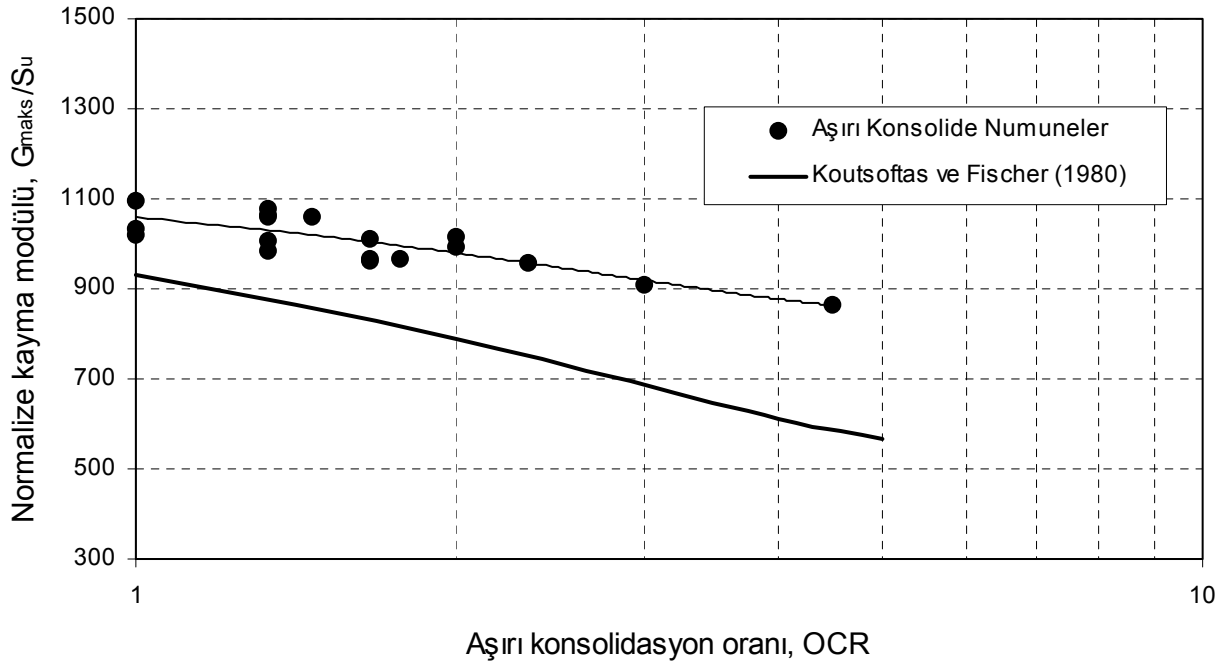
Sonuçlar

Yapılan deneyler çeşitli gerilme şartlarında konsolide edilmiş normal konsolide numuneler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ardından aynı numuneler tekrar üretilerek aşırı konsolide hale getirilmiştir.

1. Aşırı konsolide numunelerde mukavemet kaybı ve kayma modülü düşüşü görülmüştür. Hatta geçmişte yüklendiği yüklerle yeniden yüklenen (OCR=1) numunelerde bile mukavemet kaybı ve kayma modülü düşüşü olmuştur.
2. Aşırı konsolidasyon oranı arttıkça numunenin rijitliği ve mukavemeti artmaktadır. Yukarıdaki grafiklerden de görülmektedir ki gerilme geçmişi zemin numunelerinin davranışlarını etkilemektedir. Gerilme geçmişi tam olarak bilinmeyen numuneler ile deney yapmak yanıltıcı olabilir. Ancak numunenin gerilme geçmişi bilinirse bu yanıltıcı etkilere karşı önlem alınabilir.
3. Genel olarak gerilme boşalması yaşayan numunelerde bir miktar yumuşama meydana gelmektedir. Laboratuvar numunelerinde geçmişte maruz kaldığı en büyük gerilme ile yeniden yüklenmiş numunelerde (OCR=1) bile bir



Şekil 9. Normalize kayma mukavemeti ile aşırı konsolidasyon oranı ilişkisi



Şekil 10. Normalize kayma modülü aşırı konsolidasyon oranı ilişkisi

miktar mukavemet kaybı ve maksimum kayma modülü düşüşü görülmektedir. Bu olayın nedeninin numunenin gerilme boşalması sırasında emmiş olduğu suyu, yeniden konsolidasyon sırasında tamamı ile dışarı atamaması nedeni ile yumuşaması olduğu düşünülmüştür.

4. Yapılan deneylerde anizotropik ve izotropik olarak konsolide edilmiş normal konsolide numunelerin, daha küçük aksenal birim deformasyon değerlerinde maksimum deviatorik gerilme değerlerine ulaştıkları belirlenmiştir. Aynı numuneler gerilme boşalması neticesi aşırı kon-

solide edildiklerinde ise maksimum deviatorik gerilmeye daha büyük eksenel birim deformasyon değerlerinde ulaşmışlardır.

Kaynaklar

- Athanasopoulos, G.A. ve Richart, F.E., (1983). Effect of stress release on shear modulus of clays, *Journal of The Geotechnical Engineering, ASCE*, **109**, 1233-1245.
- Bishop, A.W. ve Henkel, D.J., (1957). The measurement of soil properties in the triaxial test, Edward Arnold, London.
- Bowles, J.E., (1984). Physical and geotechnical properties of soils, McGraw-Hill Inc., Singapore.
- Broms, B.B., (1980). Soil sampling in europa: state-of-the-art, *Journal of The Geotechnical Engineering Div, ASCE*, **106**, 65-98.
- Broms, B.B. ve Rantam, M.V., (1963). Shear strength of an anisotropically consolidated clay *Journal of The Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE*, **89**, 1-26.
- Craig, R.F., (1992). Soil mechanics, Chapman and Hall Inc., London.
- Das, B.M., (1993). Principles of soil dynamics, PWS-KENT Publ. Comp., Boston.
- Drnevich, V.P. ve Massarsch, K.R., (1979). Sample disturbance and stress-strain behavior, *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, **105**, 1001-1016.
- Graham, J. ve Lau, S.L.-K., (1988). Influence of stress-release disturbance, storage and consolidation procedures on the shear behavior of reconstituted underwater clay, *Geotechnique*, **38**, 279-300.
- Hardin, B.O. ve Black, W.L., (1968). Vibration modulus of normally consolidated clay, *Journal of The Soil Mechanics and Found. Engineering Division, ASCE*, **94**, 353-369.
- Hardin, B.O. ve Drnevich, V.P., (1972). Shear modulus and damping in soils: design equations and curves, *Journal of The Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE*, **98**, 667-692.
- Head, K.H., (1997). Manual of soil laboratory testing, John Wiley & Sons, Chichester.
- Hvorslev, M.J., (1949). Subsurface exploration and sampling of soils for Civil Engineering purposes, *Report for the Committee on Sampling and Testing, Soil Mechanics and Foundation Engineering Division, ASCE*, New York.
- Kirkpatrick, W.M. ve Khan, A.J., (1984). The reaction of clays to sampling stress relief, *Geotechnique*, **34**, 29-42.
- Koutsoftas, C.D. ve Fischer, J.A., (1980). Dynamic Properties of two marine clays, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE* **106** 645-657.
- Lacasse, S., (2001). Parameters for design in clays, *International Jubilee Papers in Honour of Prof. Dr. Ergün TOĐROL*, 54-75, İ.T.Ü. Press, İstanbul.
- Ladd, C.C. ve Foott, R., (1974). New design procedure for stability of soft clays, *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, **100**, 763-786.
- Özüdoğru, K., (1981). Laboratory shear modulus and damping from torsional vibration soil tests, *Norwegian Geotechnical Institute Internal Report*, **51513-1**, Oslo.
- Skempton, A.W. ve Sowa, V.A., (1963). The behaviour of saturated clays during sampling and testing, *Geotechnique*, **13**, 269-290.
- TS-1901, (1987). İnşaat Mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Van Impe, W.F. ve Van den Broeck, M., (1988). Free torsion pendulum testing, *2nd Young Geotechnical Engineer's Conference*, Oxford, England, 131-137.
- Zeevaert, L., (1967). Free vibration torsion tests to determine the shear modulus of elasticity of soils. *Proceedings of The Third Panamerican Conference on Soil Mech. and Foun. Engineering*, Caracas, Venezuela, 125-138.