

## Yükleme-Boşaltma Eğrilerinin Önkonsolidasyon Basıncına Göre Tanımlanması

Özer ÇİNİCİOĞLU\*

### ÖZ

Bu makalede, ince taneli normal konsolide zeminlerin  $e-\sigma'_v$  ilişkisini numerik olarak tanımlayan Liu ve Znidarcic'in [1] önerdiği genişletilmiş üstel fonksiyonun yüklenme-boşaltma davranışını da kapsayacak şekilde geliştirilmesi anlatılmaktadır. Bu geliştirilmiş fonksiyon ile zeminlerin yüklenme-boşaltma eğrileri önkonsolidasyon basınçlarına göre tanımlanmaktadır. Fonksiyon ayrıca benzer özelliklere sahip doğal zeminlerin tek yönlü oturma-şişme davranışını ve boşluk oranları profillerinin yükler altındaki değişimini de hesaplamakta kullanılabilir. Aynı zamanda zemine ait önkonsolidasyon gerilmesi değeri örselenmiş numunelerin zemin su muhtevaları, düşey yük bilgileri ve zemine özgü konsolidasyon parametreleri ( $\alpha_A, \alpha_B, \beta_A, \beta_B$ ) kullanılarak geri analizle bulunabilir. Böylece, örselenmemiş numune elde etmek için yapılacak harcamalar daha geniş bir zemin araştırması ile değerlendirilebilir.

### ABSTRACT

#### Unloading-Reloading Lines as a Function of Preconsolidation Pressure

This paper presents the improvement of the extended power function proposed by Liu and Znidarcic [1], that defines the  $e-\sigma'_v$  relationship for normally consolidated clays, to include the unloading-reloading behavior. With this extended power function, the unloading-reloading lines are defined according to their preconsolidation stresses. For naturally deposited soils with similar properties, this improved function can also be used for the estimation of one-dimensional swelling-settlement behavior and for the calculation of the variation in void ratio profiles under different vertical stresses. Additionally, using the water content of disturbed soil specimens, the soil characteristic consolidation parameters ( $\alpha_A, \alpha_B, \beta_A, \beta_B$ ), and the knowledge of the in-situ stress conditions, it is feasible to obtain the preconsolidation stress by back analysis. As a result of substituting undisturbed sampling with more economical disturbed sampling, a more cost-effective site investigation strategy can be adopted.

---

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 02.03.2006 günü ulaşmıştır.
- 30 Haziran 2007 gününe kadar tartışmaya açıktır.

\* Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, ozer.cinicioglu@boun.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Artan çevre kaygıları sonucu maden atıklarının depolanması önemli bir problem haline gelmiş bulunmaktadır. Örneğin, dünya fosfat üretiminde lider konumda bulunan Amerika Birleşik Devletleri'nin Florida eyaletinde üretim sonucu oluşan büyük miktarlardaki çok yumuşak ve yüksek derecede plastik fosfatik killerin depolanması büyük bir problem oluşturmaktadır [2]. Oluşan çok yüksek boşluk oranına ( $e \approx 40-130$ ) sahip atık kil harcı büyük biriktirme havuzlarına pompalanmakta ve burada on yıllarca sürececek olan konsolidasyon süreci başlamaktadır. Ülkemizde de maden atıkları sonucu oluşan ve/veya su yataklarından taranan dipsel çamurun depolanması problemleri aynı sorunlarla yüzleşmemize neden olmaktadır. Doğal olarak çok yüksek hacimlere sahip atık kil harcının (Florida'da yılda 50 megaton kuru ağırlık [3]) biriktirme havuzlarındaki sıkışma davranışının bilinmesi ve öngörülebilmesi büyük önem arz etmektedir. Buna yönelik olarak, atık depolama sahalarının kapasitesinin hesaplanması, ıslah vakitlerinin öngörülmesi ve kesme mukavemetinin hesaplanabilmesi ihtiyaçlarına cevap vermek maksadıyla sonlu birim deformasyon metodları ile konsolidasyon analizlerine dayalı bilgisayar modelleri geliştirilmiştir. Numerik modeller ile kil harçlarındaki konsolidasyon miktarlarını ve bu konsolidasyonun zamana yayılımını hesaplayabilmek için malzemeye özgü boşluk oranı - permeabilite katsayısı ( $k$ ) -efektif gerilme ( $\sigma'_v$ ) ilişkisini yeterli duyarlılıkta ölçebilmek ve nümerik olarak tanımlayabilmek gereklidir.

Boşluk oranının ve permeabilitenin efektif gerilme ile değişiminin, özellikle çok yumuşak killerde (boşluk oranı çok yüksek kil harçlarında) ölçümü için akım pompası tekniğinin kullanılmasını Olsen [4] 1966'da önermiştir. Akım pompası [5] kullanılarak elde edilen ölçümler çeşitli matematiksel fonksiyonlar kullanılarak yaklaşık olarak tanımlanmış ve nümerik ortama aktarılmıştır. Genelde üç değişken arasındaki fonksiyon, boşluk oranı-efektif gerilme ve boşluk oranı-permeabilite ilişkileri olarak ikiye ayrılarak daha basit bir biçimde tanımlanmıştır. Kompresibilite ve permeabilite davranışlarını tanımlamak için sabit değerler, logaritmik ve üstel fonksiyonlar gibi değişik zorlukta ve uygunlukta matematiksel ilişkiler önerilmiştir [6,7,8,9,10,11,12,13]. Deneysel olarak elde edilen sonuçlar üstel fonksiyon formunun boşluk oranı-permeabilite ilişkisi için daha uygun olduğunu göstermiştir [14,15]. Fakat seksenli yılların sonlarına kadar önerilen efektif gerilme-boşluk oranı ilişkisini tanımlayan fonksiyonlar çeşitli yönlerden yetersiz kaldılar. Örneğin üstel fonksiyonlar sıfır efektif gerilme koşullarında sonsuz boşluk oranı öngörürler ve bu sebeple aşırı konsolide killerin davranışını modellerken tüm sınır koşullarını sağlayamazlar. Bu problemleri çözmeye yönelik olarak modellere sanal sürşarj yükleri ekleme [16] veya normal ve aşırı konsolide killer için farklı parametreler kullanılarak [8] iki farklı fonksiyon elde etme yöntemleri önerildi. Bu yöntemler çoğu koşullarda iyi sonuçlar vermesine rağmen uygun sanal efektif gerilmenin değerinin bulunması ve önkonsolidasyon basıncı ( $\sigma'_{vo}$ ) altında iki fonksiyonun sürekliliğinin sağlanması problemleri modellemede sorun olmaya devam etti.

Hardin [17] ve Liu ve Znidarcic [1] tarafından önerilen iki farklı fonksiyon, sıfır efektif gerilme altında boşluk oranı ve önkonsolidasyon basıncı değerinde model sürekliliği problemlerinin üstesinden geldi. Böylece normal ve aşırı konsolide zeminlerin davranışını aynı parametreleri kullanarak tek bir sürekli fonksiyonla tanımlamak mümkün olmuştur. Bunun sonucu olarak yöntemin kullanım alanı da genişlemiştir. Örneğin boşluk oranı, permeabilite katsayısı ve efektif gerilme ilişkisine arazi su muhtevası bilgisini de ekleyerek, deneme yanılma yöntemiyle önkonsolidasyon basıncını örselenmiş zemin numunelerinden

elde etme teknikleri önerilmektedir [18]. Bunun dışında yöntem, fiziksel modelleme problemlerinde (özellikle geoteknik santrifuj deneylerinde) modelin boşluk oranı, boşluk suyu basıncı değerlerinin ve konsolidasyon sürelerinin hesaplanmasında da kullanılmaktadır.

Bu makalede, boşluk oranı-efektif gerilme ilişkisini tanımlamak için Liu ve Znidarcic [1] tarafından önerilen genişletilmiş üstel fonksiyona özgü parametreler önkonsolidasyon gerilmesini de göz önüne alacak şekilde geliştirilmektedir. Suya doygun ince taneli zeminlerde boşluk ve aşırı konsolidasyon oranlarının kayma mukavemeti üzerindeki ayrık (uncoupled) etkilerini araştırmaya ve formüle etmeye yönelik geliştirilen “Azalan İvme Testi (Descending Gravity Test – DGT)” [19,20] esnasında kil modelin boşluk oranı profilindeki değişimlerin hesaplanması ihtiyacı sonucu önkonsolidasyon basıncı ile  $e-\sigma'_v$  ilişkisini tanımlayan üstel fonksiyon parametreleri arasında yarı-logaritmik bir ilişki bulunmuştur. Elde edilen ilişkiler ve formüller aynı zamanda arazi zemin etütleri sırasında önkonsolidasyon gerilmesinin bulunması için ihtiyaç duyulan örselenmemiş numune ihtiyacını azaltmaktadır. Böylece, zemin etütlerinde örselenmemiş numune elde etmek için kullanılan kaynaklardan tasarruf mümkün olmaktadır.

## 2. BOŞLUK ORANI – EFEKTİF GERİLME ( $e-\sigma'_v$ ) İLİŞKİSİNİN ELDE EDİLMESİ

$e-\sigma'_v$  ilişkisini elde etmek için zemin yükleme deneyleri yapılmalıdır. Bu çalışmadaki asıl amaç sadece  $e-\sigma'_v$  ilişkisini elde etmek olduğu için boşluk oranı-permeabilite katsayısı ( $e-k$ ) davranışının bulunma yöntemlerine değinilmeyecektir. İki fonksiyonun aynı anda bulunması için akım pompası tekniği önerilmektedir [4,5,19,21,22]. Kilin tek yönlü anizotropik davranışı bulunacağı için zemin yükleme deneyleri ödometrelerde yapılmalıdır. Bu deneylerde zemin numunesi su (veya probleme uygun bir sıvı –atık su, petrol, vs.-) ile doygun hale getirilerek ve homojen bir karışım elde edilinceye kadar karıştırılarak hazırlanır. Ödometrelerde elde edilen düşey gerilme, numune kalınlığı değerleri ile deneye başlangıç boşluk oranı bilgisi kullanılarak, zeminin  $e-\sigma'_v$  davranışı Şekil 1’de görüldüğü gibi elde edilir.

Ödometre deneyi esnasında mümkün olduğu kadar çok yükleme-boşaltma eğrisinin elde edilmesi kullanılacak fonksiyonların güvenilirliği açısından önemlidir. Deney sırasında uygulanacak gerilme değerlerinin tanımlanması veya çözülmesi istenen probleme uygun olarak seçilmesi, deneyin daha verimli olmasını sağlayacaktır. Deney sonucunda elde edilen her bir yükleme-boşaltma eğrisine ait  $e-\sigma'_v$  ilişkisi genişletilmiş bir üstel fonksiyon kullanılarak tanımlanır [1]:

$$e = A(\sigma'_v + Z)^B \quad (1)$$

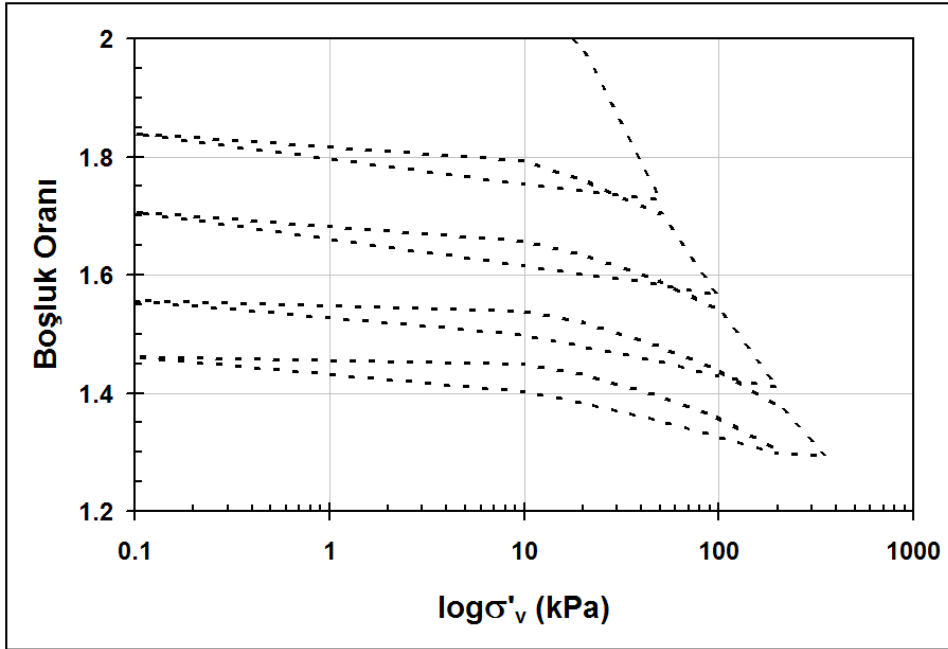
Denklem 1 ile tanımlanan A, B ve Z parametreleri, elde edildikleri normal konsolidasyon eğrisi ya da yükleme-boşaltma eğrilerine özgü amprik ve yapısal konsolidasyon parametreleridir. Bu bağlamda, değeri normal konsolidasyon ya da yükleme-boşaltma eğrisinin şekline bağlı olan Z parametresi deneme yanılma yöntemi ile elde edilir. Böylece denklem 1’deki bilinmeyen sayısı ikiye düşer. A ve B parametreleri ise ait oldukları  $e-\sigma'_v$  eğrisi üzerindeki maksimum ve minimum gerilme değerlerine karşılık gelen boşluk oranı ve gerilme değerleri kullanılarak denklem 2 ve 3’te gösterildiği şekilde iki bilinmeyenli iki denklem halinde çözümlenerek bulunur.

*Yükleme-Boşaltma Eğrilerinin Önkonsolidasyon Basıncına Göre Tanımlanması*

$$B = \log\left(\frac{e_2}{e_1}\right) / \log\left(\frac{\sigma'_{v_2} + Z}{\sigma'_{v_1} + Z}\right) \quad (2)$$

$$A = \frac{e_1}{(\sigma'_{v_1} + Z)^B} \quad (3)$$

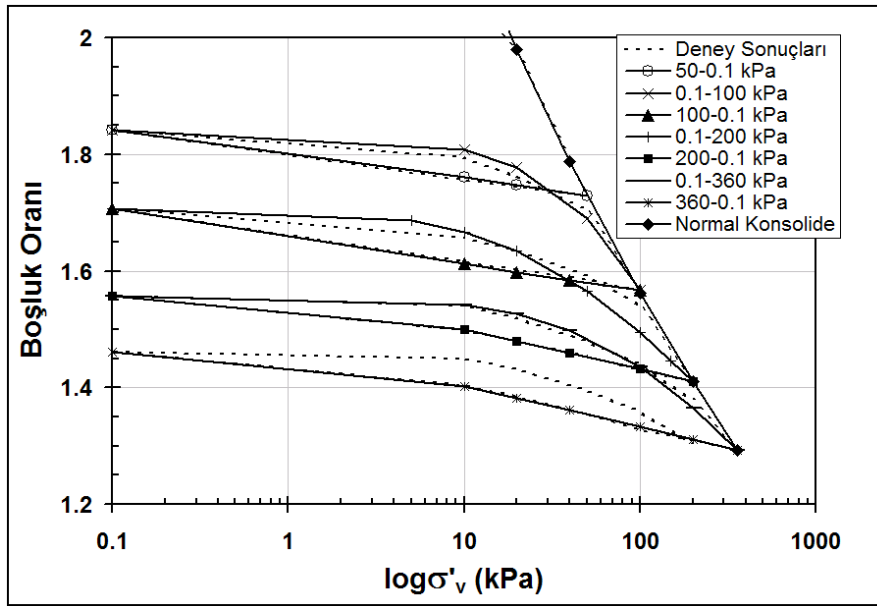
Denklem 2 ve 3'te  $e_1$  ve  $e_2$  sırasıyla eğrinin başındaki ve sonundaki boşluk oranlarını,  $\sigma'_{v_1}$  ve  $\sigma'_{v_2}$  ise bunlara karşılık gelen gerilme değerlerini tanımlamaktadır.



*Şekil 1. Speswhite Kaolin için ödometre deneyinde elde edilen  $e$ - $\log\sigma'_v$  ilişkisi*

Şekil 2'de Speswhite kili için deneysel olarak elde edilen  $e$ - $\sigma'_v$  ilişkisi ile, denklem 1 kullanılarak elde edilen sayısal temsil eğrileri karşılaştırılmaktadır. Şekilde açıkça görüldüğü gibi, herhangi bir yüklem eğrisinden elde edilen genişletilmiş üstel fonksiyon elde edildiği eğrinin hem aşırı konsolide kısmını, hem de normal konsolide kısmını betimlemektedir. Bu özellik, efektif gerilmenin önkonsolidasyon basıncını aştığı durumlarda, fonksiyonun sürekliliğini sağlar. Fakat doğadaki killerin yüklenip boşaltılması ya da Azalan İvme Testi [19] gibi birden çok (sonsuz sayıda) yüklem-boşaltma eğrisinin izlenmesinin söz konusu olduğu durumlarda gerekli tüm gerilme değerlerine ait yüklem-boşaltma eğrilerinin genişletilmiş üstel fonksiyonlarını elde etmek mümkün değildir. Bu

sorunun çözümüne yönelik olarak eğriler arasında gerilmeye dayalı bir bağıntının bulunması, deneyin yapılmadığı gerilme değerlerinde de eğri fonksiyonlarını elde edebilmek için gereklidir. Yapılan uygulamalar sırasında tüm yükleme ya da tüm boşaltma eğrilerinin kendi aralarında aynı ya da benzer şekle sahip oldukları ve  $e-\log\sigma'_v$  grafiklerinde birbirlerine paralel oldukları gözlenmiştir. Buna bağlı olarak kullanılacak Z parametresinin tüm yükleme eğrileri için tek bir değere ve tüm boşaltma eğrileri için ise farklı tek bir değere sahip olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu durumda A ve B parametreleri, fonksiyonlarının iki bilinmeyenli olmaktadır. Bu iki parametrenin, elde edildikleri yükleme-boşaltma eğrilerinin önkonsolidasyon basıncına göre değişimi Şekil 3'te görüldüğü gibi yarı-logaritmik olmaktadır.



Şekil 2. Elde edilen  $e-\sigma'_v$  fonksiyonlarının deney sonuçları (---) ile karşılaştırılması

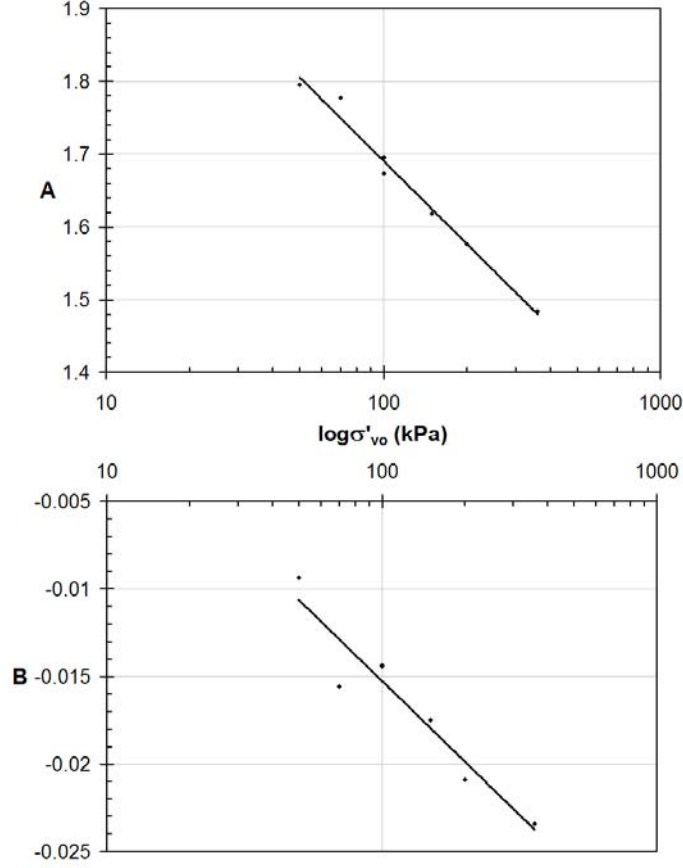
Bu yarı-logaritmik ilişkileri kullanarak bilinen bir önkonsolidasyon basıncına sahip zeminin takip edeceği yükleme-boşaltma eğrisini tanımlayan A ve B parametreleri bulunabilir ve eğri herhangi bir gerilme aralığında deneye ihtiyaç duyulmadan sayısal olarak tanımlanabilir. Buna göre  $A(\sigma'_{vo})$  ve  $B(\sigma'_{vo})$  fonksiyonları

$$A = \alpha_A \ln \sigma'_{vo} + \beta_A \quad (4)$$

$$B = \alpha_B \ln \sigma'_{vo} + \beta_B \quad (5)$$

şeklinde tanımlanır. Burada  $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$ ,  $\beta_A$  ve  $\beta_B$  önkonsolidasyon gerilmesi ile A ve B parametreleri arasındaki yarı-logaritmik ilişkiyi tanımlayan deneysel parametrelerdir.

### Yükleme-Boşaltma Eğrilerinin Önkonsolidasyon Basıncına Göre Tanımlanması



Şekil 3. A ve B parametrelerinin önkonsolidasyon basıncına ( $\sigma'_{vo}$ ) göre yarı-logaritmik değişimi

Böylece boşluk oranı ile efektif gerilmeler arasındaki bağıntı denklem 6'daki gibi verilebilir [19,20]:

$$e = (\alpha_A \ln \sigma'_{vo} + \beta_A) [\sigma' + Z]^{(\alpha_B \ln \sigma'_{vo} + \beta_B)} \quad (6)$$

### 3. DENEY SONUÇLARI

Denklem 6'da verilen bağıntı, ince taneli zeminlerin kesme mukavemetlerinin araştırılmasına yönelik tasarlanan geoteknik santrifuj deneyleri esnasında, Speswhite kili ile hazırlanan modelin boşluk oranı profilinde meydana gelen değişimlerin hesaplanmasında kullanılmıştır. Geoteknik santrifuj deneyleri 400 g-ton'luk geoteknik santrifuj aleti

kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen deney sonu boşluk oranı profili hesapları kil modelin deney sonu boşluk oranı profili ile karşılaştırılmıştır.

### 3.1. Deney Malzemesinin Özellikleri

Tüm deneyler esnasında Speswhite kili kullanılmıştır. Speswhite kilinin tercih edilmesindeki ana neden diğer ticari killere oranla yüksek permeabilite değerlerine sahip olmasıdır. Buna bağlı olarak geoteknik santrifuj deneyleri esnasında konsolidasyon ve şişme süreleri daha kısa olmakta ve böylece deney sürelerinde belirli bir azalma gözlenmektedir. Speswhite kili neredeyse 100% oranında kaolin içermektedir. Speswhite kilinin temel fiziksel özellikleri şöyledir: Özgül yoğunluk,  $G_s = 2.66$ , likit limit,  $w_L = 53\%$ , ve plastik limit,  $w_p = 32\%$ .

### 3.2. Deney Aleti

Deneylerin yapıldığı geoteknik santrifuj aleti Amerika Birleşik Devletlerinin Colorado Eyaletinin Boulder Şehrinde bulunan Colorado Üniversitesi'nin İnşaat Mühendisliği bölümünün zemin mekaniği laboratuvarındadır (Şekil 4). Modelin yerleştirildiği platform yüksek hızlardaki salınım esnasında dönüş merkezinden 5.5 metre uzaklıktadır. Alet, 1800 kilograma kadar ağırlıklardaki modelleri taşıyabilmekte ve azami model boyutları 1.22mx1.22mx0.91m olarak verilmektedir. Düzenek, platformuna yerleştirilen modeli 200g düzeyindeki merkezkaç ivmesine maruz bırakabilecek dairesel hıza 17 dakika içinde ulaşabilme kapasitesine sahiptir.

### 3.3. Deney Yöntemi

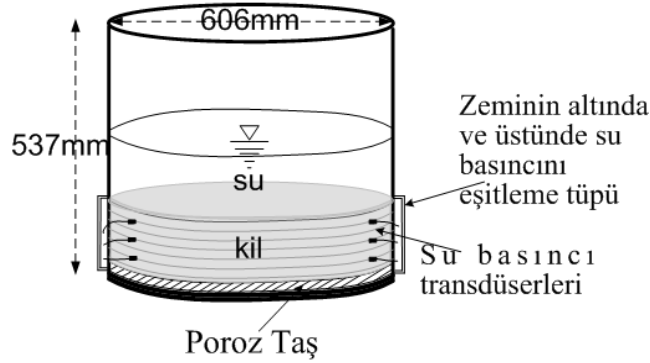
Santrifujda yapılan iki adet "Azalan İvme Testi" [19,20] esnasında aynı anda sonsuz miktarda yükleme-boşaltma eğrisinin izlenmesi gerektiği için, boşluk oranının değişiminin hesaplaması amacıyla bu makalede aktarılan "önkonsolidasyon değerlerine göre yükleme-boşaltma eğrilerinin tanımlanması yöntemi kullanılmıştır. Bu deneyler için zemin modeli Azalan İvme Testi – santrifuj modeli hazırlama metodu takip edilerek hazırlanmıştır [19].



Şekil 4. Boulder'daki Colorado Üniversitesi'nde bulunan 400 g-ton'luk geoteknik santrifuj

### Yükleme-Boşaltma Eğrilerinin Önkonsolidasyon Basıncına Göre Tanımlanması

Öncelikle, Speswhite kili ve sudan oluşan zemin harcı 3.6 boşluk oranında homojen bir şekilde karıştırılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan harç Şekil 5'te gösterilen özel hazırlanmış model kabına konmuştur. Harç, model kabı içerisinde çift yönlü drenaja açık bir durumdadır. Bu şartlar altında kil harcı sürşarj yüklemesi ile konsolide edilmiş ve konsolidasyonun tamamlanmasından sonra yük kaldırılarak kil kekinin şişmesine izin verilmiştir.

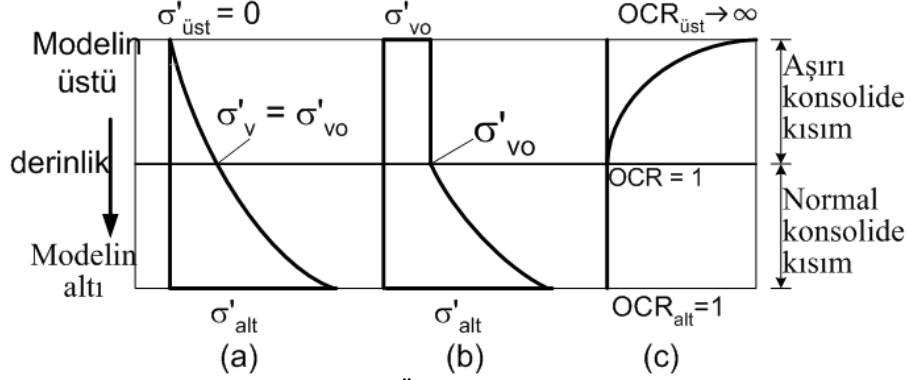


Şekil 5. Model kabının içindeki zemin modeli

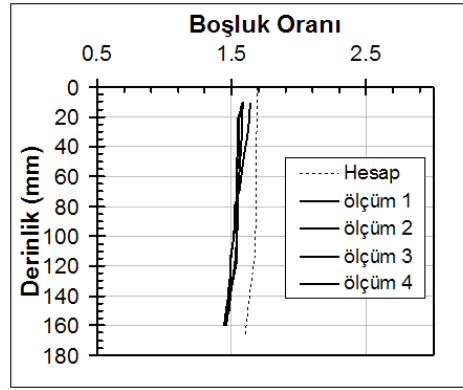
Şişmenin tamamlanmasını takiben model santrifujda merkezkaç ivmesi sonucu artan düşey zemin yüklerinin altında döndürülmüş ve kil kekinin bir bölümü sürşarj yüklemesi esnasında ulaşılan önkonsolidasyon basıncının üzerinde bir gerilme ile konsolide edilmiştir. Bilindiği üzere santrifuj deneylerinin doğası gereği zemin üzerindeki gerilmeler derinliğe bağlı olarak artmaktadır (Şekil 6). Bu sebeple kil keki içerisinde önkonsolidasyon gerilmesine eşit düşey efektif gerilmelerin olduğu derinlikten daha derinde bulunan zeminler normal konsolide olurlar. Yeni ulaşılan bu normal konsolidasyon durumunda, derinlikle artan düşey gerilmeye bağlı olarak, normal konsolide zeminin de önkonsolidasyon basıncı derinlikle artmaktadır. Bu noktada modelin gerilme-derinlik ve derinlik-boşluk oranı profilleri doğal zeminlerin gerilme-derinlik ve derinlik-boşluk oranı profillerine benzemektedir.

Santrifujda Şekil 6 ile tasvir edilen normal konsolidasyon durumunun elde edilmesini takiben santrifuj yavaşlatılarak merkezkaç ivmesi azaltılmış ve dolayısıyla düşey gerilmeler düşürülmüştür. Bunun sonucu olarak model içerisinde değişik önkonsolidasyon değerlerine sahip tüm noktalar farklı boşaltma eğrilerini takip etmişlerdir. Deney sonunda modelden numuneler alınarak boşluk oranının derinlikle dağılımı elde edilmiştir. Bu sonuçlar, Şekil 7'de görüldüğü gibi, Denklem 6 kullanılarak elde edilen boşluk oranı-derinlik hesaplamaları ile karşılaştırılmıştır. Açıkça görüldüğü gibi deneysel ve teorik olarak elde edilen boşluk oranı profilleri pratik açıdan birbirlerine yakındırlar. Aradaki küçük farklılıkların nedeni santrifuj deneyleri esnasında ortaya çıkan problemler nedeni ile deneylerin çeşitli kereler durdurulmasıdır. Deney her durdurulduğunda zemin üzerindeki yük boşaltılmış ve tekrar başlatıldığında ise zemin tekrar yüklenmiştir. Bu tekrarlı yüklemeli-boşaltma davranışı sonucu model beklenilenden daha fazla sıkışmıştır. Sonuç olarak sonsuz sayıda yüklemeli-boşaltma eğrisi üzerinde değişen boşluk oranı-gerilme davranışı yakın bir şekilde hesaplanabilmiştir.

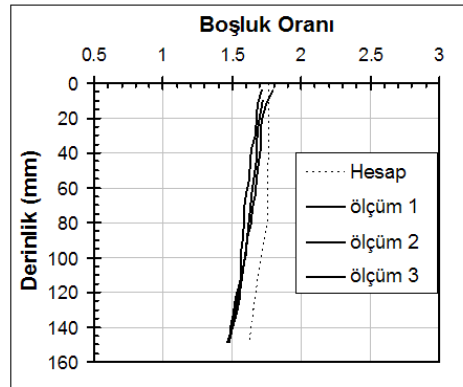




Şekil 6. (a) Düşey efektif gerilme, (b) Önkonsolidasyon basıncı, (c) Aşırı konsolidasyon oranlarının derinlikle dağılımı



(a)



(b)

Şekil 7. (a)Deney 1, (b)Deney 2

## SONUÇ

İnce taneli zeminlerin  $e-\sigma'_v$  davranışının düşey gerilme ve önkonsolidasyon değerlerine göre tahmin edilmesi yönteminin uygulanabilirliğinin ve kullanım alanlarının dikkatli seçilmesi gereklidir. Öncelikli uygulama alanları maden atık sahalarının geri kazanım çalışmalarıdır. Basit bir ödometre deneyi sonucunda elde edilecek parametreleri ve arazi gerilme değerlerini kullanarak normal konsolide halde bulunan bu zeminlerin yapı ve kazı çalışmaları esnasındaki davranışlarını, su muhtevalarını, dolayısıyla kayma mukavemetlerini ve taşıma kapasitelerini tahmin etmek mümkündür. Yöntem, benzer özelliklere sahip doğal zeminlerin tek yönlü oturma-şişme davranışını ve boşluk oranları profillerinin yükler altındaki değişimini de hesaplamakta kullanılabilir. Ayrıca kil kullanılarak hazırlanan fiziksel modellerin deneyler sırasında yapılarında meydana gelen değişimleri de öngörmek mümkündür.

Fakat tüm uygulamalarda yöntemin kısıtlı yönleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle yöntem tek yönlü anizotropik kil zeminler için geliştirilmiştir. Ayrıca, ikincil sıkışma, çimentolaşma ve yaşlanma gibi doğal zeminlere özgü yapılara uygunluğu henüz araştırılmamıştır. Çevrimsel yüklenme-boşaltma davranışı için uygunluğu araştırmaya açıktır.

Ek olarak, yukarıda verilen özelliklere uygun zeminlerde yapılan etütlerde, örselenmiş zemin numuneleri kullanılarak, zemin su muhtevası, zemine özgü konsolidasyon parametreleri ( $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$ ,  $\beta_A$ ,  $\beta_B$ ) ve numunenin bulunduğu derinlikteki düşey yük bilgileri ile önkonsolidasyon gerilmesi tersine yöntemle bulunabilir. Yöntemin daha yaygın olarak kullanılması halinde değişik zeminlerden elde edilecek parametrelerin ( $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$ ,  $\beta_A$  ve  $\beta_B$ ) zeminlerin yapısal özellikleriyle (plastisite, tane boyutu, vs.) ilişkilendirilmesinin mümkün olacağı umulmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] Liu, J.C., ve Znidarcic, D., Modeling one-dimensional compression characteristics of soils, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 117, No. 1, 162-169, 1991.
- [2] McVay, M., Townsend, F., ve Bloomquist, D., Quiescent consolidation of phosphatic waste clays, Journal of Geotechnical Engineering., ASCE, 112(11), 1033-1049, 1986.
- [3] Carrier, W.D., Bromwell, L.G., ve Somogyi, F., Design capacity of slurried mineral waste ponds, Journal of Geotechnical Engineering. Div, ASCE, 109(5), 699-716, 1983.
- [4] Olsen, H.W., Darcy's law in saturated kaolinite, Water Resources Research, 2, No.6, 287-295, 1966.
- [5] Aiban, S.A. ve Znidarcic, D., Evaluation of the flow pump and constant head techniques for permeability measurements, Geotechnique, 39, No. 4, 655-666, 1989.
- [6] Janbu, N., Soil compressibility as determined by oedometer and triaxial tests, Proc. of the European Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Wiesbaden, Batı Almanya, 1, 19-25, 1963.

- [7] Monte, J.L., ve Krizek, R.J., One-dimensional mathematical model for large-strain consolidation, *Geotechnique*, 26(4), 495-510, 1976.
- [8] Butterfield, R., A natural compression law for soils (an advance on  $e\text{-log}p'$ ), *Geotechnique*, 29(4), 469-480, 1979.
- [9] Somogyi, F., Analysis and prediction of phosphatic clay consolidation: Implementation package, Tech. Report, Florida Phosphatic Clay Research Project, Lakeland, Fla, 1979.
- [10] Gibson, R.E., Schiffman, R.L., ve Cargill, K.W., The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays II. Finite nonlinear consolidation of thick homogenous layers, *Canadian Geotechnical Journal*, 18(2), 280-293, 1981.
- [11] Koppula, S.D., ve Morgenstern, N.R. (1982), On the consolidation of sedimenting clays, *Canadian Geotechnical Journal*, 19, 260-268, 1982.
- [12] Carrier, W.D., ve Beckman, J.F., Correlation between index tests and the properties of remolded clays, *Geotechnique*, 34(2), 211-228, 1984.
- [13] Krizek, R.J., ve Somogyi, F., Perspectives on modelling consolidation of dredged materials, Proc. of the Symp. On Sedimentation-Consolidation Models: Predictions and Validation, ASCE, San Francisco, California, 296-332, 1984.
- [14] Al-Tabbaa, A., ve Wood, D.M., Some measurements of the permeability of Kaolin, *Geotechnique*, 37(4), 499-503, 1987.
- [15] Znidarcic, D. ve Aiban, S.A., Discussion on some measurements of the permeability of Kaolin by Al-Tabbaa and Wood, *Geotechnique*, 38(4), 453-454, 1988.
- [16] Huerta, A., Kriegsmann, G.A., ve Krizek, R.J., Permeability and compressibility of slurries from seepage induced consolidation, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 114(5), 614-627, 1988.
- [17] Hardin, B.O., 1-D strain in normally consolidated cohesive soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 115(5), 689-710, 1989.
- [18] Znidarcic, D. ve Yao, D.T.C., Soil heaps and waste dumps: Settlement calculations revisited, Proc. of the 13<sup>th</sup> European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Prag, Çek Cumhuriyeti, Vol. 3, 25-28 Ağustos, 157-160, 2003.
- [19] Çinicioğlu, Ö., In-Situ Shear Strength by Centrifuge Modelling, Doktora Tezi, University of Colorado, Boulder, pp. 281, 2005.
- [20] Çinicioğlu, Ö., Znidarcic, D., Ko, H.Y. (2006) "A Centrifugal Method for Observing the Uncoupled Effects of Void Ratio and Stress History on Undrained Shear Strength of Clays," International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, 4-6 August, Hong Kong.
- [21] Pane, V., Croce, P., Znidarcic, D., Ko, H.Y., Olsen, H.W. ve Schiffman, R.L., Effects of consolidation on permeability measurements for soft clays, *Geotechnique*, 33, No. 1, 67-72, 1983.
- [22] Abu-Hejleh, A.N., Znidarcic, D., ve Barnes, B.L., Consolidation characteristics of phosphatic clays, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 122, No. 4, 295-301, 1996.