

## ŞİŞEN ZEMİNLER ÜZERİNDE İKİ FARKLI ŞİŞME DENEY YÖNTEMİ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ali Ulvi UZER\* Murat OLGUN\*\*

\* Selçuk Üniversitesi, Kulu Meslek Yüksekokulu, 42770, Konya, Türkiye

\*\* Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fak., İnşaat Müh. Bölümü, 42031, Konya, Türkiye

### Özet

Dünyanın birçok bölgesinde, özellikle de kurak ve yarı - kurak alanlarda şişen zeminlere sıkça rastlanmaktadır. Genellikle aktif kil mineralleri ihtiva eden bu zeminler, kapiler yoldan su alarak büyük hacim değişikliklerine uğramakta, bilhassa yol, havaalanı gibi hafif yapılarda büyük hasarlar meydana getirmektedirler. Bu tür zeminlerin şişme davranışlarının ve bunlara etkiyen faktörlerin önceden belirlenmesi ile meydana gelebilecek zararlar azaltılabilmekte, ya da tamamen önlenmektedir.

Bu çalışmada; ticari amaçlı olarak kullanılan iki değişik firmanın yüksek plastisiteli ve şişme özelliği gösteren montmorillonit (bentonit) killeri deney numunesi olarak seçilmiştir. Örselenmiş numuneler üzerinde ASTM - 4546'da belirtilen A ve B deney yöntemi kriterlerine göre şişme deneyleri yapılarak, şişme basınçları ve şişme yüzdelерinin birbiriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla öncelikli olarak numunelerin indeks ve mühendislik özellikleri belirlenmiştir. Örselenmiş numuneler üzerinde dane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ), doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) ve su muhtevası (w) deneyleri yapılarak fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Kil numunelerinin kıvam özellikleri; likit limit ve plastik limit deneyleriyle bulunmuştur. Standart Proctor

(kompaksiyon) deneyi yapılarak  $w_{opt}$  (optimum su muhtevası) ile  $\gamma_{kmaks.}$  (maksimum kuru birim hacim ağırlığı) değerleri elde edilmiştir.

ASTM - 4546'da belirtilen; A Yöntemi kriterleri uygulanarak yapılan şişme deneylerinde, temel yüküne eşdeğer bir  $P_0$  gerilmesi alınmadan yükleme yapıldığından çok yüksek şişme değerleri bulunmaktadır. Bu nedenle yalnızca A Yöntemi şişme değerleri dikkate alınarak yapılan arazi uygulamalarında, üst yapıda ekonomik olmayan tasarımların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Buna karşın B Yöntemiyle bulunan sonuçlar doğal arazi yapısını daha iyi modellemektedir. Bu nedenle tasarım ve uygulamalarda B Yöntemi deney sonuçlarının dikkate alınması önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** şişen zeminler, şişme deneyi yöntemleri, şişme potansiyeli, şişme basıncı.

## **EVALUATION OF THE TEST RESULTS BY TWO DIFFERENT SWELLING TEST METHODS ON THE SWELLING SOILS**

### **Abstract**

The swelling soils are frequently met in many regions of the world and especially in dry and half-dry lands. Generally, these soils including active clay minerals are exposed to large volume changes due to water-taking with capillary way, and particularly cause great damages on light-weight constructions like highway, airport, etc. Predetermining the swelling behaviors and affecting factors of them prevents possible damage occurrences.

In this study, the test specimens were selected from two different firms' montmorillonite (bentonite) clays with high plasticity and swelling characteristics which are used for commercial purposes. The disturbed specimens were subjected to swelling tests performed by considering the criteria of A and B test methods explained in ASTM-

4546, and swelling pressures and swelling percentages were compared with each other. For this purpose, the index and engineering properties of the specimens were determined. The physical characteristics of the disturbed specimens were determined by making the grain bulk specific weight ( $\gamma_s$ ), natural bulk specific weight ( $\gamma_n$ ) and water content (w) tests on them. The plasticity characteristics of the cohesive clay specimens were found by the liquid limit and plastic limit tests. The execution of the Standard Proctor (compaction) test resulted in determining the  $w_{opt}$  (optimum water content) and  $\gamma_{kmax}$  (maximum dry bulk specific weight) values.

Due to applying load without taking any foundation load equivalent to the  $P_0$  stress, very high swelling values were found in the swelling tests performed by using the Method A criteria stated in ASTM – 4546. Therefore, it is inevitable to have uneconomic top structure designs during the field applications made by considering only the swelling values of Method A. On the other hand, the results determined by Method B present the natural field structure better. Hence, it is recommended to use Method B test results in designs and applications.

**Key Words:** swelling soils, swelling test methods, swelling potential, swelling pressure.

## **1. Giriş**

Yeryüzündeki zeminlerin bir bölümünü teşkil eden “şişen zeminler”, geoteknik mühendisliğinde önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Yıllık yağışın yıllık buharlaşmadan daha az olduğu, özellikle kurak ve yarı kurak bölgelerde bu tür zeminlere sıkça rastlanmaktadır. Suyu doymun olmayan bazı killi zeminlerin su emerek hacminin artması “şişme”, bu hacim artışını engellemek için uygulanan ek basınç ise “şişme basıncı” olarak tanımlanabilir.

Şişen zeminler üzerinde gerekli önlemler alınmadan inşa edilen binalar, karayolu, demiryolu ve havaalanı kaplamaları, sulama kanalları, barajlar, istinat duvarları gibi yapılarda önemli boyutlarda hasarlar oluşmaktadır. Dünyanın bir çok ülkesinde her yıl şişen zeminlerden dolayı milyarlarca dolarlık zarar meydana gelmektedir. Bu zararlar sel, kasırga ve deprem gibi doğal afetlerin oluşturduğu zararları dahi aşabilir [1].

## 2. Şişme Potansiyeli (Şişme Oranı)

Şişme potansiyeli, bir zemin numunesinin belirli bir sürşarj yükü altında suya doymun hale gelinceye kadar oluşan hacim artışının, numunenin başlangıçtaki hacmine oranıdır. Kısaca, zemin numunesinde meydana gelen hacimsel artış yüzdesidir.

$$s_w = \left[ \left( \frac{\Delta H}{H_0} \right) \times 100 \right] \quad (1)$$

Bu hacimsel artış yüzdesi iki şekilde tanımlanabilir. Birincisi; sabit ve küçük bir sürşarj yükü altında numune doymun hale gelirken, sıfır yanal deformasyon durumunda oluşan düşey boy değişimidir. İkincisi ise; aksel deformasyonların engellenmesi durumunda, zeminin yanal şişme yüzdesinin, zeminin çapındaki değişime bağlı olarak ifade edilmesidir.

Şişme potansiyelini etkileyen başlıca faktörler; zeminin içerdiği kil yüzdesi, kil mineralinin cinsi ve çökelme koşulları, arazideki gerilme şartları, kilin gerilme geçmişi, zeminin kuru birim hacim ağırlığı, danelerin yerleşim biçimi, başlangıç su muhtevası, suya doymunluk derecesi, boşluk oranı, geçirgenlik, şişen zemin tabakasının kalınlığı ve derinliği, dış yükler, iklim şartları, bitki örtüsü, sıkıştırılmış zeminler için kompaksiyon yöntemi, çevresel şartlardaki değişiklikler olarak sıralanabilir [2].

Bir zemin tabakasında su muhtevasının artması sonucu ortaya çıkacak kabarmalar bu etkenlere bağlı olarak önemli veya önemsiz olabilir. Örneğin özgül şişme miktarı

oldukça büyük olan montmorillonit kili yukarıda sayılan faktörlerin etkisi ile şişme potansiyeli açısından çok farklı durumlarda bulunabilir ve hatta hiç şişme göstermeyebilir [3].

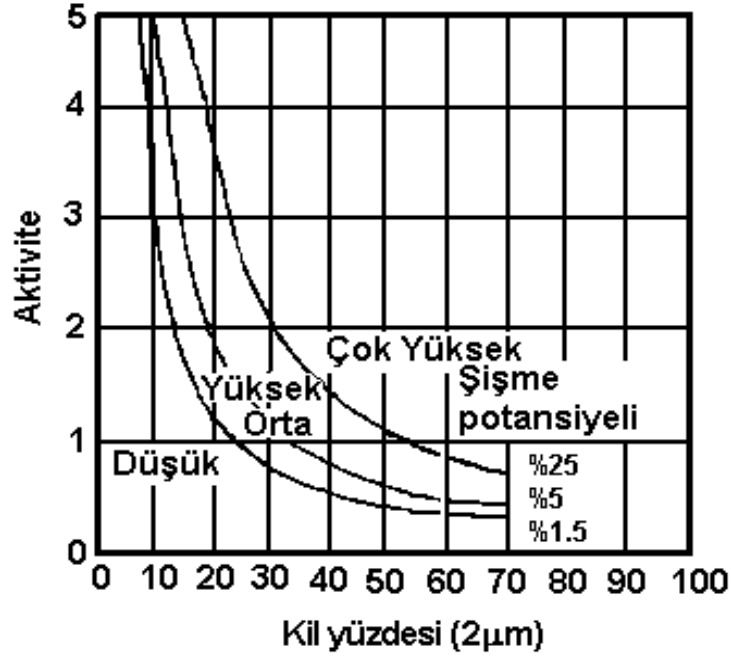
Şişme potansiyelinin tayini için önerilen teknikleri üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar; ödometre yöntemleri, emme basıncı yöntemi ve ampirik yöntemlerdir.

Killerde hacim değişikliği, uygulanan farklı gerilmelerin, emmenin ve zemin danelerinin etrafını kapatan su tabakasının varlığı nedeniyle meydana gelmektedir. Kil daneleri etrafında adsorbe su denilen, hemen hemen bitişik dört su tabakasının vardır ve bunlar kil danesine güçlü bir şekilde bağlanmaktadır. Bu suyun dışında bulunan, daha zayıf bağlanmış olan bir su tabakası daha mevcuttur ve buna çift tabaka denilmektedir. Adsorbe su tabakasının ve çift tabakanın kalınlıklarındaki değişiklikler ise zeminlerin rötresine ve şişmesine neden olmaktadır [4].

Killi zeminlerin, özellikle oluşma dönemlerinden sonra fiziksel, kimyasal ve jeolojik etkenlere maruz kaldıkları ve zemin yapısının bu ön etkenler nedeni ile çok karışık bir iç kuvvet dağılımına ve farklı deformasyonlara sahip olduğu söylenmiştir. Önceden yüklenmiş zeminlerin yeryüzünde geniş bir alan kaplamaları ve farklı yapı yükleri altında davranışlarının bilinmesi açısından zemin yapısının incelenmesinin gerekli olduğu belirtilmiştir [5].

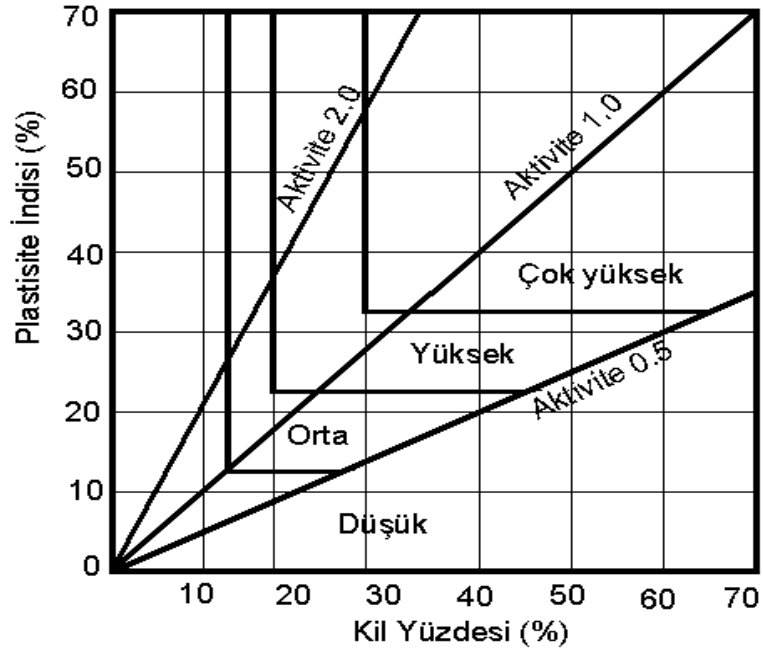
### 2.1. Şişme potansiyelinin belirlenmesi

Literatürde şişme potansiyelinin sınıflandırılması amacıyla çok sayıda yöntem önerilmiştir. Şekil 1. de Seed v.d. tarafından önerilen ve kil yüzdesi ( $< 2 \mu\text{m}$ ) ile aktiviteye bağlı olarak verilen sınıflandırma sistemi gösterilmiştir [6].



Şekil 1. Seed v.d. tarafından önerilen sınıflandırma sistemi [6]

Şekil 2.'de kil yüzdesi ile plastisite indisine göre tanımlanmış Van Der Merve sınıflandırma abağı verilmektedir [7].



Şekil 2. Van Der Merve tarafından önerilen sınıflandırma sistemi [7]

Snethen v.d. zeminin emme basıncının dikkate alındığı Tablo 1.'deki sınıflandırma sistemini önermişlerdir [8].

Tablo 1. Kıvam limitleri ve emme basıncına göre Şişme Potansiyeli [8].

LL %	PI %	Emme Basıncı kg/cm <sup>2</sup>	Şişme* Potansiyeli %	Şişme sınıfı
>60	>35	4	>1.5	Yüksek
50 - 60	25 - 35	1.5 - 4	0.5 - 1.5	Orta
<50	<25	<1.5	<0.5	Düşük

\*Zemin sürşarj yükü altında düşey şişme

## 2.2. Şişme Miktarının Belirlenmesi

### 2.2.1. Ampirik yöntemler

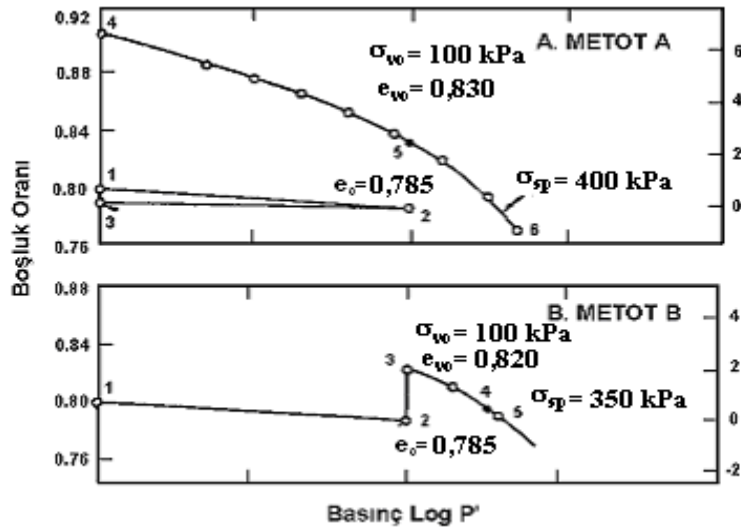
Bu yöntemler ödometre deney aletinde yapılan çok sayıda şişme ölçümlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve kabarmalara korele edilmesi esasına dayanmaktadır. Önerilen yöntemler veya tahmin yöntemleri belli coğrafik bölgelerin zemin karakterini yansıttığından değişik bölgelerde uygulanması sakıncalı görülmektedir. Örneğin Van der Merwe [7] sadece Güney Afrika, Schneider v.d. [9] Teksas killeri üzerinde yaptıkları çalışmalarda ampirik yöntemler önermişlerdir.

### 2.2.2. Ödometre yöntemleri

Şişme davranışı ve şişme parametrelerinin belirlenmesi amacıyla üç değişik ödometre deneyi önerilmiştir. Burada iki yöntemden bahsedilecektir [10].

#### 2.2.2.1. A Yöntemi: Serbest şişme deneyi

Bu yöntemde zemin numunesi 1 kPa sürşarj yükü altında suya doyurularak şişme tamamlanmaya kadar beklenir. Sonra doğal boşluk oranı elde edilinceye kadar klasik ödometre deneyindeki yük kademeleri altında numune yüklenir. Ödometre şişme deneyleri sonuçlarını gösteren bir grafik aşağıda verilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Ödometre şişme deneyleri grafiği [10]

#### 2.2.2.2. B Yöntemi: Yük altında şişme deneyi

Zemin örneği ödometre de doğal su muhtevasında sürşarj gerilmesi + temel yükü etkisine eşdeğer bir  $P_0$  düşey gerilme altında bekletilir. Daha sonra suya doyurularak  $P_0$  gerilmesi altında şişmenin dengelenmesi sağlanır (Şekil 3.). Daha sonra klasik ödometre yükleme - boşaltma aşamalarına geçilebilir [10].

#### 2.3. Şişme Basıncı

Şişme potansiyeline sahip olan killi bir zeminin su muhtevasının artması sonucu meydana gelen hacim değişikliğine engel olabilecek basınç, şişme basıncı olarak tanımlanır. Zemine bu basınç uygulanarak zeminin hacim değiştirmesi engellenir, yani başlangıç hacmi sabit tutulur. Şişme basıncı herhangi bir doğal zemin için başlangıç kuru birim hacim ağırlığına bağlı olarak sabit alınabilir. Sıkıştırılmış zeminler için ise kompaksiyon derecesine bağlıdır. Şişme basıncı; yol kaplamaları, havaalanı kaplamaları ve atık depolama sahalarındaki kil dolgusunda, kompaksiyon enerjisi ve kuru birim hacim ağırlığın bir fonksiyonudur. Sıkıştırılmış bir kilin şişme basıncı; standart proktor deneyinden elde edilen bir zeminin, hacmini koruyabilmesi için gereken basınç olarak



tanımlanabilir. Bir zeminde şişme basıncı önceden belirlenebildiği takdirde, zeminin şişme özelliklerinin tanımlanmasında doğrudan kullanılabilir [2].

Şişen zeminlerin üzerinde yapılması zorunlu olan üst yapıda zeminin aşağı ve yukarı doğru hareketlerine paralel olarak deformasyonlar oluşur. Bazı durumlarda üst yapıdan dolayı zeminde meydana gelen gerilme artışı şişme basıncından küçük ise bu yapılar ciddi mühendislik problemlerine maruz kalırlar. Ayrıca şişen zeminlerde nem ve sıcaklık değişimlerine bağlı olarak şişme özelliklerinde aşırı değişikliklerde görülebilmektedir.

Şişme basıncını tayin edebilmek için, incelenen doğal zemin numunelerinin 50 kPa'lık sürşarj yükü altında su emerek tamamen şişmelerine izin verilmiş, nihai şişme değerleri elde edildikten sonra tekrar yüklenmişlerdir. Söz konusu numunelerin eski hacimlerine dönebilmeleri için gereken basınç değerleri bulunmuş ve o değerler şişme basıncı olarak alınmıştır. Bu yöntemle yapılan deneylerden, şişme basıncının başlangıç kuru birim hacim ağırlığı ile orantılı olarak arttığı gözlenmiştir [11].

Wayne vd. temel tasarımlarında kullanılmak üzere, Tablo 2.'yi vermişlerdir.

Tablo 2. Hacim değişikliği, şişme basıncı ve muhtemel hasar arasındaki ilişki [12]

Hacim Değişikliği (%)	Şişme Basıncı (kPa)	Muhtemel Hasar
0 - 1.5	0 - 50	Düşük
1,5 - 5	50 - 250	Orta
5 - 25	250 - 1000	Yüksek
> 25	> 1000	Çok yüksek

Aşağıda ASTM - 4546'da belirtilen A ve B deney yöntemlerine göre şişme yüzdesi eşitlikleri verilmiştir.

Serbest şişme % (Yöntem A)

$$s_f = \frac{e_1 - e_0}{1 + e_0} \times 100 \quad (2)$$

P<sub>0</sub> yükü altında şişme % (Yöntem B)

$$s_{p_0} = \frac{e_2 - e_0}{1 + e_0} \times 100 \quad (3)$$

Burada;

$e_0$  : Serbest şişme deneyi başlangıç boşluk oranı

$e_1$  : Şişme sonrası boşluk oranı (Yöntem A)

$e_2$  : P<sub>0</sub> yükü altında şişme sonrası boşluk oranı (Yöntem B)

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Deneysel Çalışmanın Konusu ve Amacı

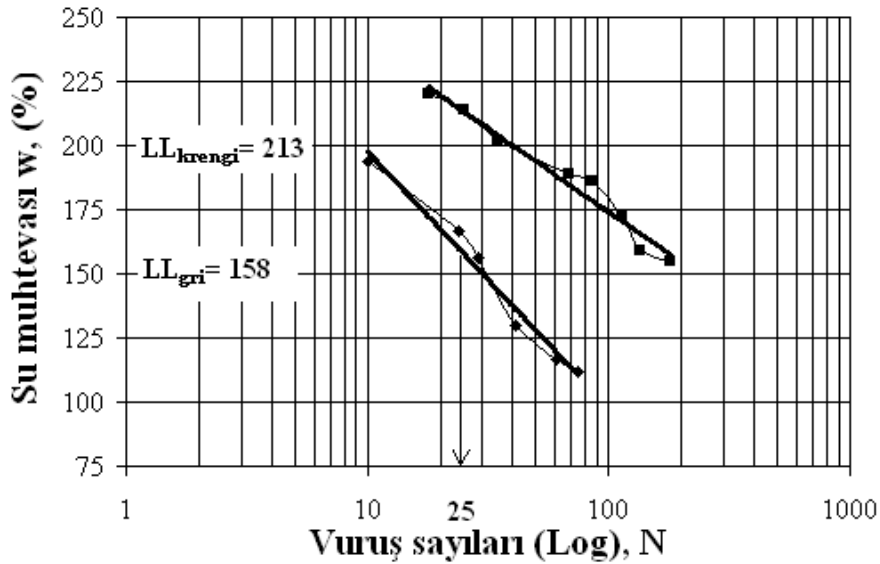
Bu çalışmada, 50 kg.'lık torbalar halinde satılan ve Çankırı'da faaliyet gösteren Buyruk (gri renkli) ve Ceylan (kahverengi renkli) San. ve Tic. Ltd. Şirketleri tarafından üretilen yüksek plastisiteli ve şişme özelliği gösteren montmorillonit grubu örselenmiş kil (bentonit) numuneleri kullanılmıştır. Bu numuneler kullanılarak ASTM - 4546'da belirtilen A ve B deney Yöntemi kriterlerine göre şişme deneyleri yapılmış, şişme basınçları ve şişme yüzdeleri bulunarak iki yöntemin sonuçlarının birbiriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Örselenmiş numunelerin fiziksel özellikleri; dane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ), doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ) ve su muhtevası ( $w$ ) deneyleri ile belirlenmiştir. Kohezyonlu kil numunelerinin plastiklik özellikleri; likit limit ve plastik limit deneyleriyle bulunmuştur. Standart Proctor (kompaksiyon) deneyi yapılarak  $w_{opt}$

(optimum su muhtevası) ile  $\gamma_{\text{kmaks.}}$  (maksimum kuru birim hacim ağırlığı) değerleri elde edilmiştir.

Yukarıda bulunan değerlerin sonucunda, yüksek plastisiteli ( $LL > 50$ ) killere ait bir özellik olan şişme davranışını incelemek için serbest şişme ve bir  $P_0$  yükü altında şişme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde optimum su muhtevasında (standart proctor deneyi) hazırlanan iki farklı numune için ASTM - 4546'da verilen A ve B deney yöntemleri ile şişme deneyleri yapılmış her iki yöntemle belirlenen şişme basınçları ve şişme yüzdeleri karşılaştırılmıştır.

### 3.2. Deneylerde Kullanılan Numunelerin İndeks Özellikleri

Kil numunelerin indeks özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar sınıflandırma deneyleri yapılmıştır. Kıvam (Atterberg) limitlerini bulmak için Casagrande metoduyla likit limit (LL) ve plastik limit (PL) değerleri tayin edilmiştir (Şekil 4.).



Şekil 4. Gri ve kahverengi bentonit numuneleri için likit limit grafiği

Numunelerin indeks özellikleri Tablo 3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Bentonit numunelerinin indeks özellikleri

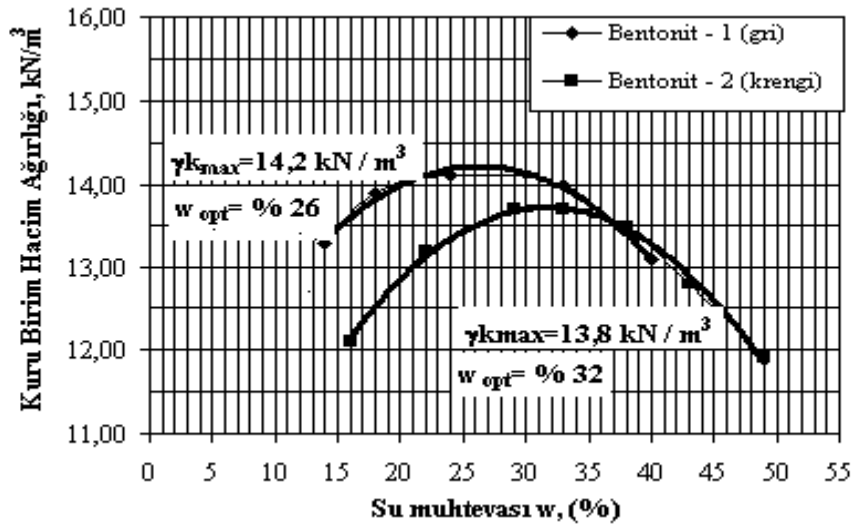
Numune No.	Bentonit – 1	Bentonit - 2
$(\gamma_s)$ (kN/m <sup>3</sup> )	27,4	26,7
$\gamma_{kmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	14,2	13,8
<b>LL</b>	158	213
<b>PL</b>	41	39
<b>PI</b>	117	174
<b>W<sub>opt.</sub></b>	26	32
<b>Renk</b>	Gri	Kahverengi
<b>Zemin Cinsi</b>	CH	CH

### 3.3. Numunelerin Hazırlanması

Kil zemin numunelerinin şişme basıncı ve şişme yüzdesinin belirlenmesi amacıyla laboratuarda şişme deneyi için numuneler hazırlanmıştır.

Bu amaçla deney numuneleri, havada kurutulduktan sonra 200 No'lu elekten elenmiştir. Bu zemin numuneleri optimum su muhtevasında hazırlanarak, standart proctor kalıbında 3 tabaka halinde sıkıştırılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan standart proctor (kompaksiyon) deneyleri sonuçlarına göre gri bentonit numunesinde; maksimum kuru birim hacim ağırlık  $\gamma_{kmax.} = 14,2 \text{ kN} / \text{m}^3$  ve  $w_{opt.} = \% 26$  olarak kahverengi bentonit numunesinde; maksimum kuru birim hacim ağırlık  $\gamma_{kmax.} = 13,8 \text{ kN} / \text{m}^3$  ve  $w_{opt.} = \% 32$  olarak bulunmuştur (Şekil 5).

Kompaksiyon deneyi ile sıkıştırılarak elde edilen zeminlerden ödometre deneyi için genellikle kalıbın orta kısımlarından numune alınmış, alt ve üst kısımlardan ayrı ayrı numuneler alınmamıştır. Ödometre halkası, kalıptaki numunenin içine batırılarak deney numuneleri elde edilmiş ve numuneler, konsolidasyon halkasının iç çapına gelinceye kadar tıraşlanmış ve yüzeyi düz hale getirilmiştir.



Şekil 5. Bentonit numuneleri üzerinde yapılan kompaksiyon deneyi sonuçları

### 3.4. Deney Yöntemleri ve Deneylerin Yapılışı

ASTM - 4546'da belirtilen A ve B deney yöntemleri için şişme deneyleri yapılmıştır. Deneylerin yapılışı aşağıda açıklanmıştır.

#### 3.4.1. A Yöntemi (serbest şişme)

Her iki bentonit çeşidi içinde Kısım 3.3'de belirtilen şekilde hazırlanan numuneler ödometre aletine yerleştirilir ve 1 kPa sürşarj basıncı uygulanır. Oturma basıncının uygulanmasından sonra 5 dakika içinde okuma saati başlangıç veya sıfır okuması için ayarlanır. Oturma basıncının kaydedildiği başlangıç deformasyon okumasından sonra numunelere su verilir. Şişme tamamlanana kadar 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 2,0, 4,0, 8,0, 15,0 ve 30,0 dakika ve 1, 2, 4, 8, 24, 48 ve 72 saat deformasyon okumaları alınır. Şişmenin tamamlanmasından sonra her basıncın sabit tutulduğu 25, 50, 100, 200, 400 vb. kPa'lık düşey basınçlar uygulanır. Numune başlangıç boşluk oranına gelinceye kadar yüklenir. Her yük artımı süresi 1 gün olarak seçilir. Numunelerin tekrar başlangıç yüksekliğine gelmesini sağlayan basınç, şişme basıncı olarak tespit edilir [10].

#### 3.4.2. B Yöntemi (yük altında şişme)

Numunelere 1 kPa'lık oturma basıncının uygulanmasından sonra 5 dakika içinde oturma basıncını aşan 100 kPa'lık jeolojik basınç uygulanır. Jeolojik basınç uygulanmasından sonra 5 dakika içinde deformasyon saati okunur. Deformasyon okumasından sonra numuneye su verilir. Şişme tamamlanana kadar A Yöntemi'ne benzer şekilde deformasyonlar kaydedilir ve numune eksenel olarak yüklenir. Numuneyi başlangıç deformasyon okumasına getiren eksenel basınç şişme basıncı olarak tespit edilir [10].

### *3.5. Deneysel Çalışma*

ASTM - 4546'da belirtilen A Yöntemi için 2 ve B Yöntemi için de 2 farklı bentonit çeşidi ile şişme deneyleri yapılmıştır.

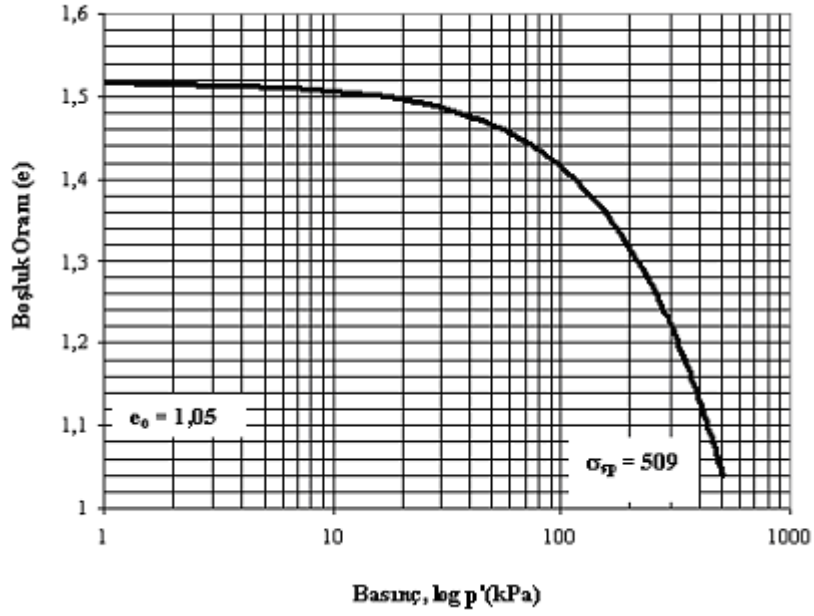
Şişme deneylerine geçmeden önce kil numuneleri optimum su muhtevasında hazırlanmıştır. B Yöntemi'nde jeolojik basınç 5 m derinlikteki zemin seviyesine göre yaklaşık olarak seçilmiştir.

A Yöntemi'nde (serbest şişme), gri bentonit su muhtevası yaklaşık % 26'da hazırlanarak 1 kPa basınç altında sürşarj basıncına maruz bırakılmış ve serbest şişmesi % 24 olarak bulunmuştur. Yine A Yöntemi'nde kahverengi bentonit su muhtevası yaklaşık % 32 de hazırlanarak 1 kPa basınç altında sürşarj basıncına maruz bırakılmış ve serbest şişmesi % 18 olarak tespit edilmiştir. Şişme potansiyelini belirlemek için şişme tamamlandıktan sonra her basıncın sabit tutulduğu 25, 50, 100, 200, 300, 400, .... kPa'lık düşey basınçlar numunenin başlangıç yükseklik değerine ulaşıncaya kadar artırılarak uygulanmıştır.

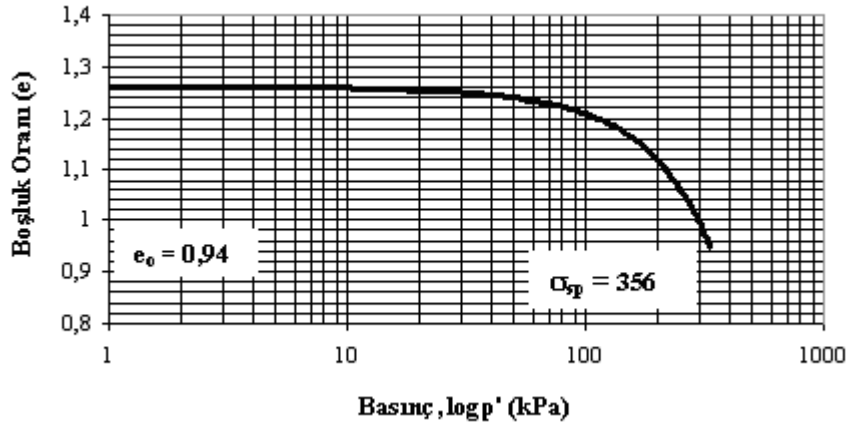
Elde edilen bu verilerden şişme basınçları A Yöntemi'nde 509 kPa (gri bentonit) ve 356 kPa (kahverengi bentonit) olarak bulunmuştur.

B Yöntemi'nde numunelerin 100 kPa jeolojik basınç altında şişme yüzdesi % 12 (gri bentonit) ve % 10 (kahverengi bentonit) olarak bulunmuştur. Şişme basınçları (swelling pressure) ise 305 kPa (gri bentonit) ve 254 kPa (kahverengi bentonit) olarak tespit edilmiştir.

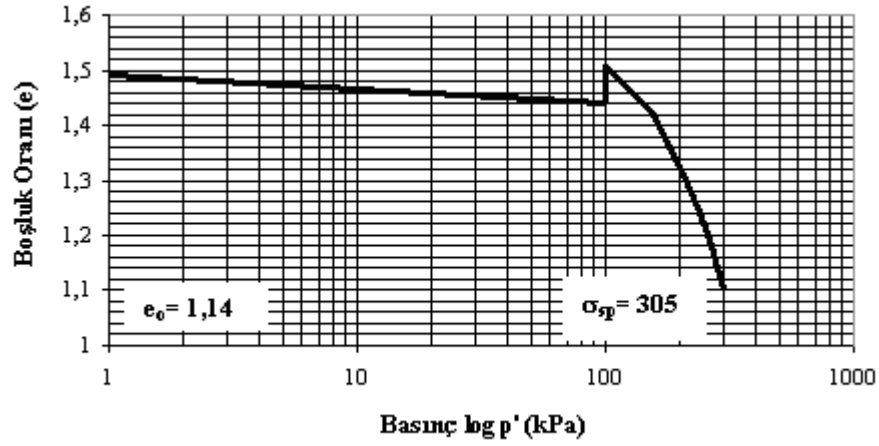
Şişme deneyi ile ilgili  $e - \log P'$  grafikleri Şekil 6. - 7. - 8. - 9.'da verilmiştir.



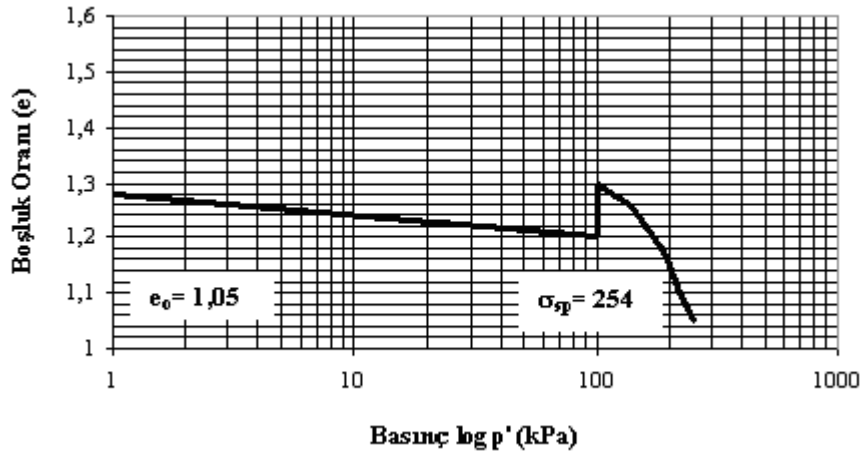
Şekil 6. Gri bentonit için A Yöntemi ile  $e - \log p'$  grafiği



Şekil 7. Kahverengi bentonit için A Yöntemi ile  $e - \log p'$  grafiği



Şekil 8. Gri bentonit için B Yöntemi ile  $e - \log p'$  grafiği



Şekil 9. Kahverengi bentonit için B Yöntemi ile  $e - \log p'$  grafiği

### 3.6. Deneysel Çalışma Sonuçları

ASTM - 4546'da de belirtilen A ve B deney yöntemleri kullanılarak şişme deneyleri yapılmıştır.

B Yönteminde numune, temel yüküne eşdeğer bir  $P_0$  gerilmesi altında başlangıç boşluk oranı elde edilene kadar yüklenirken her iki bentonit çeşidi için de 100 kPa'lık basınç uygulanmıştır.

En büyük şişme basıncı değerleri A Yöntemi ile yapılan deneylerden elde edilmiştir. Her iki numune çeşidinde de A Yöntemi ile yapılan deneylerde B



Yöntemi'nden % 70 ~ 80 arasında daha yüksek şişme basıncı değerleri elde edilmiştir (Tablo 4.).

Tablo 4. A ve B Yöntemleri ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar

Kil No.	Bentonit (Gri)		Bentonit (Kahv.)	
	Yöntem A	Yöntem B	Yöntem A	Yöntem B
Şişme Yüzdesi (%)	24	12	18	10
Şişme Basıncı (kPa)	509	305	356	254
Boşluk Oranı (e.)	1,05	1,14	0,94	1,05

#### 4. Sonuçlar ve Tartışma

A Yöntemi ile yapılan şişme deneylerinde şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerlerinin B Yöntemi'ndeki değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 4). Ancak B Yöntemi'nde, deney numuneleri optimum su içeriğinde hazırlanarak, sürşarj gerilmesi + temel yüküne eşdeğer bir  $P_0$  gerilmesi altında şişme deneyleri yapılmaktadır. A Yöntemi'nde ise optimum su muhtevasında hazırlanan numunelere, yalnızca 1 kPa'lık küçük bir sürşarj gerilmesi uygulanmaktadır. Bu yüzden sadece A Yöntemi değerleri dikkate alındığında, şişme özelliği gösteren zeminlerde çok yüksek şişme potansiyelleri oluşacağından, A Yöntemi'nin kullanılması ekonomik olmayan tasarımlara yol açabilir. Fakat suya doygun ve şişme özelliği olan zemin tabakasının yüzeye yakın olduğu ve üzerinde aşırı bir gerilmenin bulunmadığı şartlarda mevcuttur. Sonuç olarak; aşırı şişme özelliği gösteren zeminler üzerinde inşaat yapacak uygulayıcıların; arazideki koşullara ve yapılacak yapının özelliklerine göre A Yöntemi ve/veya B yöntemi değerlerini kullanarak tasarım yapmaları, mümkünse bir modelleme yaptıktan sonra uygulama aşamalarına geçmeleri en doğru yaklaşım olacaktır.

## 5. Kaynaklar

- [1] Göksan TS. Killi zeminlerde emme kapasitesi ve şişme basıncı ilişkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [2] Keskin SN. İstanbul neojen kilinin şişme davranışına ön konsolidasyonun, mineralojik özelliklerin ve çevresel faktörlerin etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1993.
- [3] Lav MA, Ansal MA. Killi zeminlerde şişme basıncının ampirik olarak bulunması, V. Ulusal Kil Sempozyumu 1991, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- [4] Schreiner HD. Measurement of solute suction in high plasticity clays, Proc. 9th Afriacan Reg. Conf. on SMFE, 1987.
- [5] Uçulaş T. ASTM'ye göre şişme deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1995.
- [6] Seed HB, Woodward RJ, Ludgren R. Prediction of swelling potential for compacted clays. Journal ASCE, Soil Mechanics and Foundation Division, Vol. 88, 1962.
- [7] Van Der Merve DH. The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction, Trans SAICE, Vol. 6, No. 5, pp. 103-107,1964.
- [8] Snethen DR, Johson LD. An investigation of natural microscale mechanism that cause volume changes in expansive clays. Research Report No: FHWA-RD-77-75, 1977.
- [9] Schneider GL, Poor AR. The prediction of soil heave and swell pressures developed by an expansive clay, Research Report, No: TR-9-74, Construction Research Center, Univ. of Texas, 1974.

- [10] ASTM. Standart test methods for one dimensional swell or settlement potential of cohesive soils. Annual Book of ASTM Standards, 04: 2, 1986.
- [11] Chen FH. Foundations on expansive soil, New York: Elsevier Publications; Paper No. 280, 1975.
- [12] Wayne, AC, Osman, MA, Elfatih, MA. Construction on expansive soils in Sudan, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, Vol. 110, No.3, pp. 359-379, 1984.