

## İNCE DANELİ ZEMİNLERİN SERBEST BASINÇ DAYANIMININ İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİ

**Hüseyin Suha AKSOY (ORCID: 0000-0003-0564-457X)\***

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye*

*Geliş / Received: 10.04.2017*

*Düzeltilmelerin gelişi / Received in revised form: 31.05.2017*

*Kabul / Accepted: 09.06.2017*

### ÖZ

Zeminin serbest basınç dayanımı, taşıma gücü, stabilite gibi hesaplarda sıklıkla kullanılan ve pek çok değişkene bağlı olan bir değerdir. Pek çok araştırmacı ince daneli zeminlerin serbest basınç dayanımını ampirik formüllerle tahmin etmeye çalışmıştır. Ancak serbest basınç dayanımı, tahmini oldukça zor bir büyüklüktür. Bu çalışmada laboratuvarında yapılmış serbest basınç deneyi ve endeks deneyleri sonuçlarının istatistiksel analizi yapılmış ve aralarındaki ilişkiler, regresyon analizi yöntemi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan regresyon analizi neticesinde, zeminin endeks özellikleri ile zeminin serbest basınç dayanımı arasındaki ilişki belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** İnce daneli zemin, serbest basınç deneyi, endeks deneyleri, regresyon analizi

## DETERMINATION OF UNCONFINED COMPRESSION STRENGTH OF FINE GRAINED SOILS USING STATISTICAL APPROACHES

### ABSTRACT

Unconfined shear strength is a widely used parameter to determine soil-bearing capacity. Unconfined shear strength depends on numerous variables. Most researchers try to estimate unconfined strength by using empirical relations. But it is a hard to predict value. In this study, a set of unconfined shear test results and index properties of soils have been used. Different regression models were utilized and the most suitable relationships with the highest correlation coefficients were established.

**Keywords:** Fine grained soil, unconfined compression test, index tests, regression analysis

### 1. GİRİŞ

Gerçekçi bir temel tasarımı yapabilmek için zeminin taşıma gücü doğru olarak bilinmelidir. Taşıma gücü belirlenirken, yerel zemin sınıfının belirlenmesi gerekmektedir. Zeminin dayanım parametrelerinin bilinmemesi veya olmaması durumunda, numunelerin alınmasında ve taşınmasında karşılaşılan problemler ile dayanım deneylerinin karmaşık-pahalı olması, bu tip deneylerin yapılmasını zorlaştırmaktadır. Bu amaçla arazide veya laboratuvarında yapılmış, endeks deneylerinden elde edilmiş olan boşluk oranı, birim hacim ağırlığı, su muhtevası, likit limit, plastik limit gibi endeks özellikleri kullanılarak serbest basınç dayanımının belirlenmesi, zeminin dayanım özelliklerinin deneylerle belirlenmesine göre, oldukça düşük maliyetli olacağı bilinmektedir. Bu nedenle zeminin endeks özelliklerinden; serbest basınç dayanımını elde etmemizi sağlayacak ampirik korelasyonların geliştirilmesi çok faydalı olacaktır.

Zeminlerin kayma dayanımını formüllerle veya başka matematiksel ifadelerle belirlemek, her geoteknik

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 424 237 0000; e-mail / e-mail: saksoy@firat.edu.tr

H.S. AKSOY

mühendisinin isteğidir. Ancak zeminin homojen olmayışı, boşluklu yapısı ve oluşum farklılıkları gibi faktörler nedeniyle, benzer özellikteki zeminlerin kayma dayanımları farklılıklar gösterebilmektedir. Zemin mekaniği biliminin gelişmeye başladığı son iki yüzyıl boyunca zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi için pek çok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar, sonlu elemanlar yönteminden yapay sinir ağlarına ve istatistiksel yöntemlere varıncaya kadar geniş bir yelpazede yer almaktadır.

Yapılan ilk çalışmalardan Skempton normal konsolide killer üzerinde çalışmış ve drenajsız kayma dayanımının ( $S_u$ ), sadece yapılacak endeks deneylerinden belirlenebileceğini savunmuştur [1]. Skempton tarafından verilen ilişki (1) bağıntısında görülmektedir. Burada IP plastisite indeksi ve  $\sigma'_v$  jeolojik yüküdür.

$$\frac{S_u}{\sigma'_v} = 0,11 + 0,0037 \cdot IP \quad (1)$$

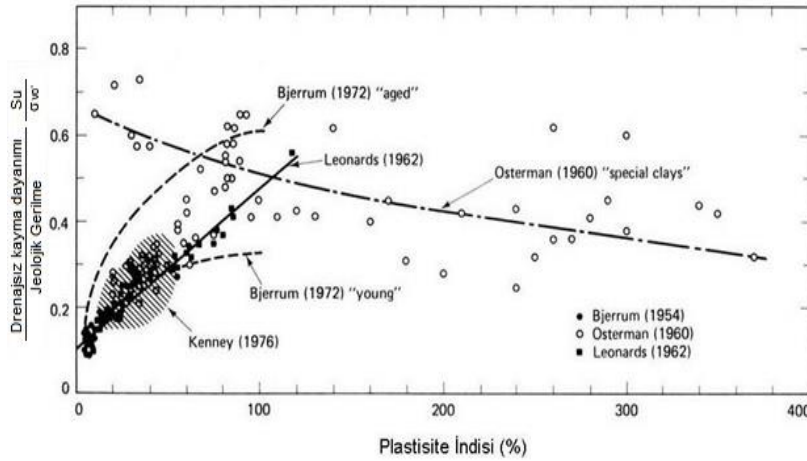
Daha sonraları Bjerrum [2], Kenney [3] Osterman [4] gibi araştırmacılar bu konu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Yapılan bu çalışmalar Holtz ve Kovacs [5] tarafından derlenerek Şekil 1'deki grafik elde edilmiştir.

Ladd ve ark. [6]  $S_u / \sigma'_v$  oranının normal konsolide zeminler için 0,8'e eşit olduğunu belirtmiştir. Jamiolkowski ve ark. [7] ise bu değer plastisite indisi %60'dan küçük olan zeminler için  $0,23 \pm 0,04$  değerinde olabileceğini ifade etmiştir. Davies ve Budhu [8] ise bu değer çoğu kil için 0,3 civarında olduğunu belirtmiştir. Güneş ve Ansal [9] yaptığı çalışmada  $S_u$  ve likitlik indisi (IL) arasında Eşitlik (2)'de verilen ilişki olduğunu belirtmiştir. Ayrıca yazarlar, su muhtevası-dayanım arasında ve kuru birim hacim ağırlığı-dayanım arasında da bağıntılar kurmuştur.

$$S_u = 0,995 + 1,084 \cdot IL \quad (2)$$

Yılmaz [10] ise İzmir bölgesinin zeminleri üzerinde istatistiksel araştırmalar yapmış ve zeminin kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ) ile drenajsız kohezyonu arasında (3) bağıntısını vermiştir.

$$c_u = -0,14 + 0,30 \cdot \gamma_k \quad (3)$$



Şekil 1. Plastisite ve  $S_u / \sigma'_v$  ilişkisi [5]

## 2. MATERYAL VE METOT

Yapılan istatistiksel analizde İstanbul Teknik Üniversitesi laboratuvarında yapılmış endeks ve serbest basınç deneylerinin derlenmesiyle elde edilen veriler kullanılmıştır. 52 adet endeks ve aynı numunelere ait serbest basınç deneyi verileri kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler, Türkiye'nin farklı bölgelerinden elde edilmekle beraber, çoğunlukla Marmara bölgesinden gelmiş numunelerdir. Şekil 2'de regresyon analizinde kullanılan zeminlerin plastisite kartındaki yerleri görülmektedir. Tablo 1'de numunelerin tanımsal istatistik parametreleri görülmektedir. Şekil 3'te ise her bir zemin parametresi için frekans dağılımları görülmektedir.

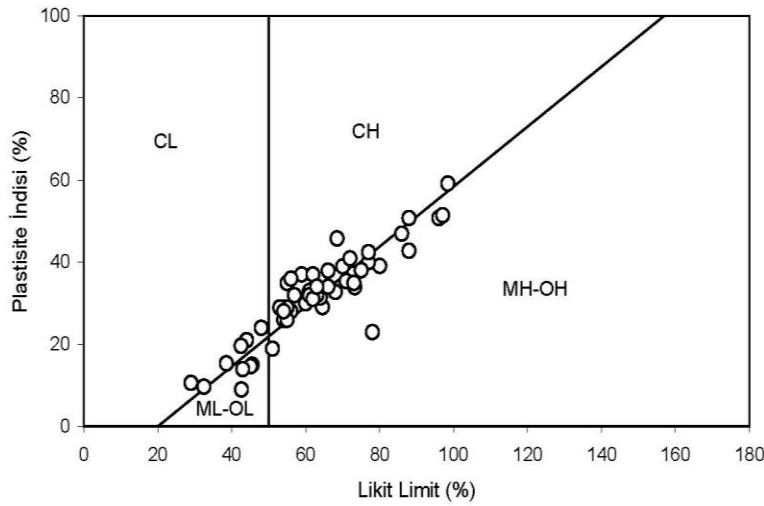
Serbest basınç deneyi; örselenmemiş numuneler üzerinde, laboratuvarında yapılan en hızlı ve basit dayanım

*İNCE DANELİ ZEMİNLERİN SERBEST BASINÇ DAYANIMININ İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİ*

deneyidir. Silindirik zemin numunesi basınç altında yüklenip, kesilerek dayanım değeri ( $q_u$ ) elde edilir. Drenajsız kayma dayanımı ( $S_u$ ) ise serbest basınç dayanımının yarısına eşittir ( $S_u = \frac{q_u}{2}$ ).

**Tablo 1.** Numunelerin tanımsal istatistik parametreleri

	$w_o$ (%)	$W_L$ (%)	$W_P$ (%)	IP (%)	$e_o$	$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_k$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\gamma_n$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\sigma'_v$	$S_u$
<b>Ort.</b>	37,20	62,9	31,13	31,8	1,155	2,65	1,28	1,71	3,37	0,486
<b>Min.</b>	7,00	29,00	18,40	9,00	0,571	2,51	0,79	1,45	0,36	0,095
<b>Maks.</b>	83,40	98,50	55,00	59,2	2,417	2,80	1,68	2,05	23,80	0,790
<b>Stn. Sap.</b>	20,43	15,89	7,51	11,1	0,499	0,10	0,238	0,12	4,687	0,253
<b>Çarpıklık</b>	0,488	0,259	0,767	-0,07	0,699	0,20	-0,30	0,07	3,153	-0,22
<b>Basıklık</b>	-	-	0,806	0,026	-	-1,445	-1,116	0,510	11,250	-



**Şekil 2.** Deneylerde kullanılan zeminlerin plastisite kartındaki yerleri

### 3. BULGULARI VE TARTIŞMA

İstatistiksel analizde önce su muhtevası ( $w_o$ ), Likit limit ( $w_L$ ), Plastik limit ( $w_p$ ), Plastisite indisi (IP), başlangıç boşluk oranı ( $e_o$ ), dane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ), doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), kuru birim hacim ağırlığı ( $\gamma_k$ ), kıvam indisi (IC) parametreleri kullanılarak, drenajsız kayma dayanımının jeolojik yüke oranının ( $S_u/\sigma'_v$ ) değerinin belirlenebilmesi için, lineer regresyon analizi yapılmıştır. Analizin sonucunda  $R^2=0,801$  (Düzeltilmiş,  $R^2=0,758$ ) olarak elde edilmiştir. Ancak bu şekilde yapılan analiz sonucunda, bazı değişkenlerin katsayılarının küçük olmasından dolayı analizler bu değişkenler olmadan tekrarlanmıştır. Yapılan analizlerin toplu sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

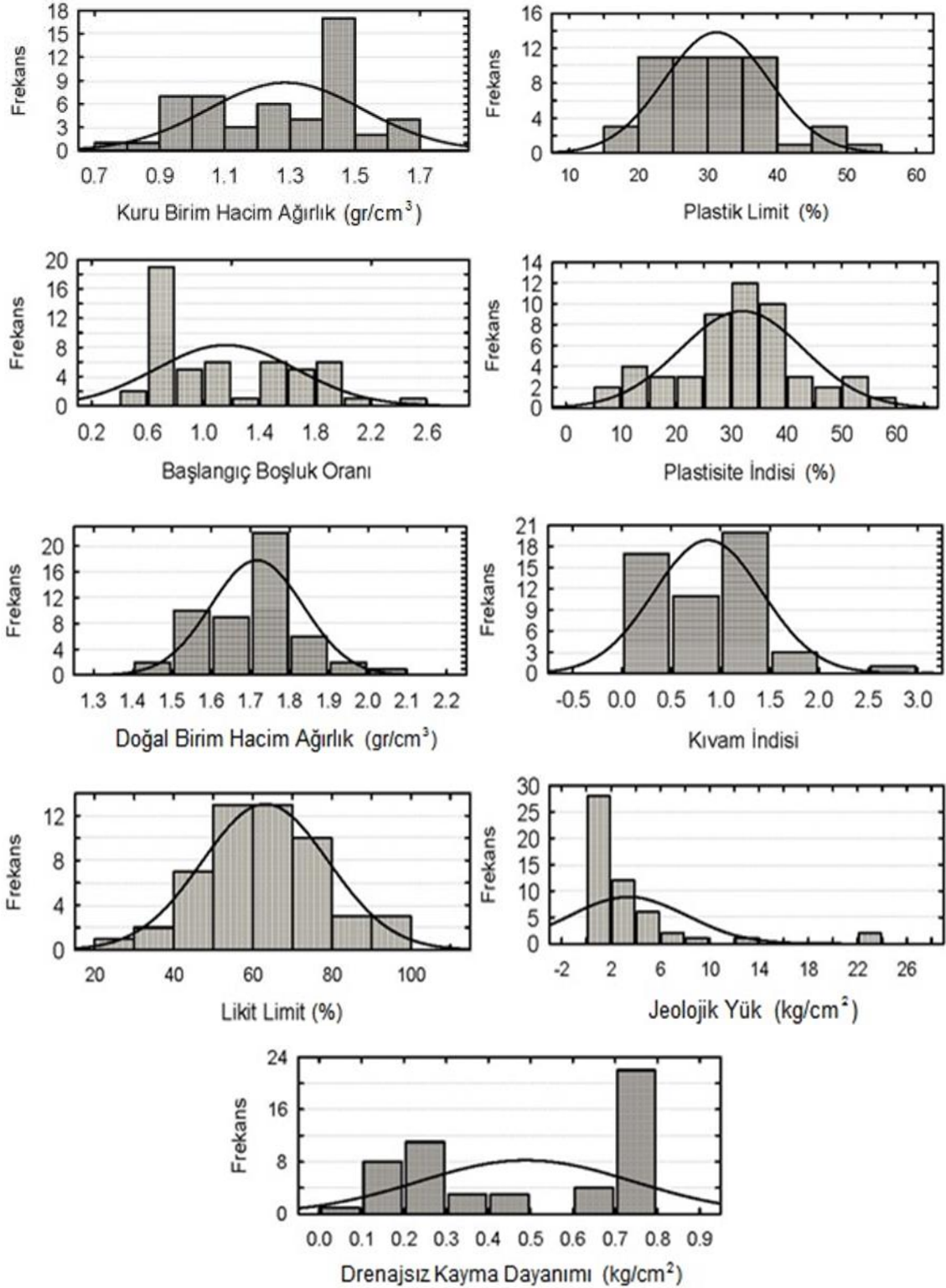
Yapılan lineer regresyon analizinde elde edilen en iyi determinasyon katsayısı  $R^2=0,801$ ’dir. Bu analizde 11 adet değişken kullanılmıştır. Değişken sayısı azaltıldıkça determinasyon katsayısı düşmüş ve hatalar artmıştır. Bu çalışmanın amacı, laboratuvar ve arazide en az uğraş ile zeminin serbest basınç dayanımının belirlenmesi olduğundan, bu kadar değişkenin sadece ( $S_u/\sigma'_v$ ) değerinin belirlenebilmesi için kullanılması anlamsız olacaktır.

Bu nedenle daha az değişken kullanılarak tahminin iyileştirilmesi için, Bazant’ın [11] belirttiği gibi çok değişkenli tahmin problemlerinde, değişkenler saçılmış bir dağılım gösteriyorsa, log-normal fonksiyonlar kullanılarak yapılan tahminler en iyi korelasyonu vereceğinden, yapılmış lineer regresyon analizi sonuçlarından Model 2’de kullanılan değişkenler ile yeni analizler yapılmış ve zeminin başlangıç boşluk oranı ( $e_o$ ), Plastisite indisi (IP), dane birim hacim ağırlığı ( $\gamma_s$ ), doğal birim hacim ağırlığı ( $\gamma_n$ ), kıvam indisi (IC) kullanılarak (4)

H.S. AKSOY

bağıntısı belirlenmiştir. Bu ifade kullanılarak yapılan analizde  $R^2 = 0,783$  olarak elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen ve tahmin edilen verilerin karşılaştırılması Şekil 4'te görülmektedir.

$$\frac{s_u}{\sigma'_v} = \ln \left[ IP^A \cdot IC^B \cdot \left( \frac{y_n}{y_s} \right)^C \right] + D \cdot e_0 + E \cdot IC + F \quad (4)$$



Şekil 3. Zemin özelliklerine ait frekans histogramları

*İNCE DANELİ ZEMİNLERİN SERBEST BASINÇ DAYANIMININ İSTATİSTİKSEL YAKLAŞIMLA BELİRLENMESİ*

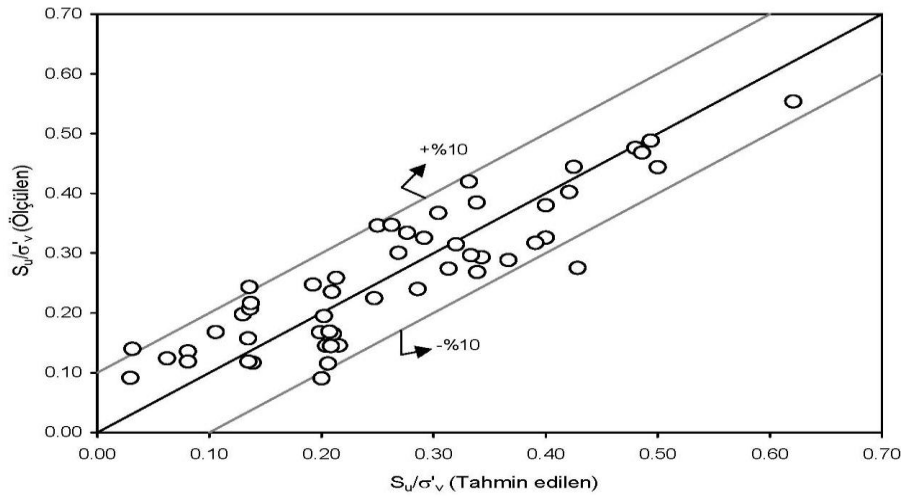
**Tablo 2.** Yapılan istatistiksel analizlerin toplu sonuçları

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
$w_o$	-0,09	-	0,004	-	-
$w_L$	0,000	-	-0,008	-	-
$w_p$	-0,005	-	-	-	-
<b>IP</b>	-0,006	-0,008	-	-	-
$e_o$	0,717	0,348	0,351	-0,094	-0,062
$\gamma_s$	-0,632	0,038	-0,079	0,302	-
$\gamma_k$	-0,305	-	-0,159	-	-
$\gamma_n$	1,399	0,825	0,940	0,145	0,240
<b>IL</b>	-0,090	-	-	-	-0,029
<b>IC</b>	0,000	0,022	0,155	0,031	
$S_r$	0,002	-	-	0,003	0,03
<b>Sabit</b>	-0,294	-1,428	-1,098	-0,842	-0,231
$R^2$	0,801	0,761	0,770	0,701	0,692
<b>Tahminin Standart Hatası</b>	0,0656	0,0687	0,0690	0,0768	0,0771

Tablo 3’te A, B ve C değişkenlerin kuvvetlerini, D ve E değişkenlerin katsayılarını ifade etmektedir. F ise sabit sayıdır.

**Tablo 3.** Değişkenlere ait katsayılar

A	B	C	D	E	F
-0,2743	1,6295	0,0446	0,4468	-0,0798	1,4753



**Şekil 4.** Deney verilerinin tahmin edilen ( $S_u/\sigma'_v$ ) değerleri ile karşılaştırılması

H.S. AKSOY

#### 4. SONUÇLAR

Zeminlerin endeks ve dayanım değerlerini içeren, 52 adet deneyden oluşan bir veri tabanı kullanılarak, zeminlerin serbest basınç dayanımının belirlenmesi için, istatistiksel analiz yöntemlerinden yararlanılmıştır.

Yapılan istatistiksel analizlerle, zeminlerin endeks özellikleri kullanılarak, zeminlerin serbest basınç dayanımlarına belirli bir yaklaşımla karar vermenin mümkün olacağı sonucuna varılmıştır. Bu amaçla bir eşitlik sunulmuştur.

Analizler göstermiştir ki,  $S_u / \sigma'_v$  yeterli yaklaşımla hesaplanabilmesi için; boşluk oranı, doğal birim hacim ağırlığı, kıvam indisi ve jeolojik yük yeterli olmaktadır. Laboratuvarında yapılacak basit endeks deneylerini kullanılarak; zeminin serbest basınç dayanımının tahmin edilebilmesi, geoteknik mühendislerine ilk tasarım aşamasında büyük bir hız ve ekonomi sağlayacaktır.

#### KAYNAKLAR

- [1] SKEMPTON, A.W., BJERRUM, L., “A Contribution to the Settlement Analysis of Foundations on Clay”, Geotechnique, 7, 168-178, 1957.
- [2] BJERRUM, L., “Embankments on Soft Ground”, Proceedings of the ASCE Special Conf. on Performance of Earth and Earth-Supported Structures. Purdue University, 2, 81-118, 1972.
- [3] KENNEY, T.C., “Formation and Geotechnical Characteristics of Glacial-Lake Varved Soils”, Bjerrum Memorial Volume, Norwegian Geotechnical Institute, Oslo, Norway, 15-39, 1976.
- [4] OSTERMAN, J., “Notes on the Shearing Resistance of Soft Clays”, ACTA Polytechnica Scandinavia, 2, 1-2, 1960.
- [5] HOLTZ, R.D., KOVACS, W.D., An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice Hall, New Jersey, US, 1981.
- [6] LADD, C.C., FOOTT, R., ISHIIHARA, K., SCHLOSSER, F., POULOS, H.G., “Stress-Deformation and Strength Characteristics. State-of-the-Art Report”, Proceedings. 9<sup>th</sup> Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Engrg., 421-494, Tokyo, Japan, 1977.
- [7] JAMIOLKOWSKI, M., LADD, C., GERMAINE, J.T., LANCELLOTTA, R., “New Developments in Field and Laboratory Testing of Soils”, Proc. of the 11th Int. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engineering, 57-153, San Francisco, US, 1985.
- [8] DAVIES, T.G., BUDHU, M., “Non-linear analysis of laterally loaded piles in heavily overconsolidated clays”, Geotechnique, 36, 527-538, 1986.
- [9] GÜNEŞ, M., ANSAL, A., “Konsolidasyon Özelliklerinin İstatistiksel Bir Değerlendirmesi”, Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 2. Ulusal Kongresi, 15-28, İstanbul, Türkiye, 1987.
- [10] YILMAZ, R., Zemin Geoteknik Parametrelerinin Değişkenliği İstatistiksel Özellikleri ve İzmir İç Körfezi Kuzey Kıyılan Zeminleri Üzerine Uygulamalar, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye, 1987.
- [11] BAZANT, Z.P., BECQ-GIRAUDON, E., “Statistical Prediction of Fracture Parameters of Concrete and Implications for Choice of Testing Standard”, Cement and Concrete Research, 32, 529-556, 2002.