



T.C.  
Niğde Üniversitesi  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PRESİYOMETRE DENEYİNDEN ELDE EDİLEN TAŞIMA GÜCÜ DEĞERİNİN  
BİLGİSAYAR YAZILIMLARI YARDIMIYLA TAHMİNİ

CEMAL YILDIZ

Eylül 2013



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PRESİYOMETRE DENEYİNDEN ELDE EDİLEN TAŞIMA GÜCÜ DEĞERİNİN  
BİLGİSAYAR YAZILIMLARI YARDIMIYLA TAHMİNİ

CEMAL YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Mustafa FENER

Eylül 2013

**Doç. Dr. Mustafa FENER** danışmanlığında **Cemal YILDIZ** tarafından hazırlanan “**Presiyometre Deney Sonucundan Elde Edilen Taşıma Gücü Değerlerinin Bilgisayar Yazılımları Yardımıyla Tahmini**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

**Başkan**

  
**: Doç. Dr. Mustafa FENER, Niğde Üniversitesi**

**Üye**

  
**: Yrd. Doç. Dr. Ahmet ORHAN, Nevşehir Üniversitesi**

**Üye**

  
**: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ, Niğde Üniversitesi**

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun ....../....../20.... tarih ve ...../..... Sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

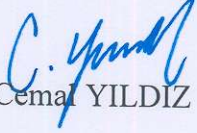
....../....../20....

Doç. Dr. Osman SİVRİKAYA

Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

  
Cemal YILDIZ

## ÖZET

### PRESİYOMETRE DENEYİNDEN ELDE EDİLEN TAŞIMA GÜCÜ DEĞERİNİN BİLGİSAYAR YAZILIMLARI YARDIMIYLA TAHMİNİ

YILDIZ Cemal

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Mustafa FENER

Eylül 2013, 77 sayfa

Bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında önemli bir İn-Situ deney olan Presiyometre Deneyinden elde edilen taşıma gücü değerinin diğer laboratuvar deney sonuçları ve bilgisayar yazılımları yardımıyla tahmin edilmesi incelenmiştir. Presiyometre Deneyi yapılırken karşılaşılan zorluklar, emek ve ekonomi düşünüldüğünde laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlardan yaklaşık bir tahmin analizi yapılmıştır.

Ayrıca Presiyometre Deneyinin yapılışı ve taşıma gücü ve oturma hesaplarına ayrıntılı bir şekilde raporda yer verilmiş, arazide elde edilen sonuçların büro ortamında düzeltilmesi sonucunda elde edilen log, basınç,-hacim grafiklerinin çizilmesi irdelenmiştir.

Bu sonuçlardan elde edilen elde edilen laboratuvar deney sonuçları ve presiyometre deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü değeri basit regresyon analizi ve genetik algoritma yardımıyla karşılaştırılmış ve bilgisayar yardımıyla yaklaşık olarak taşıma gücü tahmin edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Presiyometre Deneyi, İn-Situ, örselenme, log, abak, ampirik

## **SUMMARY**

### **ESTIMATION OF CARRYING CAPACITY VALUE OBTAINED FROM PRESSIOMETER EXPERIMENT WITH THE HELP OF COMPUTER SOFTWARE**

**YILDIZ Cemal**

**Nigde University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Geology Engineering**

**Supervisor : Assoc. Proffesor Dr. Mustafa FENER**

**September 2013,77 pages**

The aim of this thesis is to estimate carrying capacity obtained from pressiometer experiment, which is an in-situ experiment, with the help of other laboratory experiment results and computer software. Considering challenges, efforts and economy of pressiometer experiment, an approximate estimate analyse is carried out from the laboratory experiments to make it more practical.

Furthermore, performance of pressiometer experiment, carrying capacity and settlement calculations are detailed in this study and preparation of log, pressure-volume graphics obtained from the correction of the results gained in site in office.

Carrying capacity value obtained from laboratory experiment results and pressiometer experiment results are compared via simple regression analyse and genetic algorithm. Approximate carrying capacity is estimated via computer.

Key words: Pressiometer tests, experiment, in-situ, disturbance, log, abac, empiric, genetic algorithm, regression

## ÖNSÖZ

Herhangi bir projede zemin etüdü yapılırken laboratuvar ve arazi deneylerinden faydalanılmaktadır. Yerinde deneyler doğal ortamda zemini örselemeden yapıldığı için daha gerçekçi ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Ancak Presiyometre deneyi yapılırken karşılaşılan zorluklar emek ve ekonomik kayıp düşünüldüğünde laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen değerlerin genetik algoritma ve basit regresyon analizi yardımıyla formül üretilerek yaklaşık olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu çalışmada zemin etütlerinde kullanılan önemli bir deney olan presiyometre deneyi incelenmiştir. Presiyometre deneyi yerinde (in situ) yapılan bir deney olup açılan sondaj kuyusu içerisinde zemine radyal basınç uygulanması ve uygulanan basıncın zeminde oluşturduğu deformasyonların ölçülmesi esasına dayanmaktadır. Presiyometre deneyi katı ve duyarız killer ile bütün kohezyonsuz zeminlerde başarılı bir şekilde uygulanabilmektedir. Özellikle veri toplama zorluğu olan kum, çakıl, ayrılmış kayalar ve dolgu zeminler için uygun bir deneydir. Su ve hava şartlarında özelliği bozulan kayalarda, özellikle SPT yapılamayan ve numune alınamayan yerlerde presiyometre deneyi uygun bir deney yöntemi olarak kabul edilmektedir.

Çalışmada presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değeri ile birlikte aynı seviyelerden alınan numunelerden laboratuvarda Elek analizi, Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su içeriği ve tek eksenli basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar genetik algoritma ve basit regresyon analizi kullanılarak presiyometre taşıma gücü değeri yaklaşık olarak tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Bu yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında çalışmalarımı yön veren, değerli bilgi ve önerilerinden yararlandığım sayın hocalarım Doç. Dr. Mustafa FENER, Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN, Doç. Dr. Ali KAYABAŞI ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa KORKANÇ' a teşekkür ederim. Ayrıca çalışmalarına katkılarından dolayı kıymetli meslektaşlarım, Serkan TEKİN ve İsmail CENGİZ' e, çalışmam sırasında her türlü desteği veren sevgili eşim Hülya YILDIZ' a teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
SUMMARY .....	iv
ÖNSÖZ .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
FOTOĞRAFLARDİZİNİ .....	xi
BÖLÜM I. GİRİŞ .....	1
1.1 Presiyometre Deneyi .....	2
1.1.1 Presiyometre cihazı .....	3
1.1.2 Kontrol ünitesi .....	3
1.1.3 Prob .....	4
1.1.4 İletim hortumları .....	5
1.1.5 Basınç tüpü .....	5
1.2 Arazi Çalışmaları .....	6
1.2.1 Prob hacim kaybı testi .....	6
1.2.2 Basınç kaybı testi .....	7
1.2.3 Diferansiyel kalibrasyonu .....	7
1.2.4 Presiyometre deneyinin yapılışı .....	9
1.2.5 Presiyometre deney formunun arazide doldurulması .....	10
1.3 Büro Çalışmaları .....	12
1.3.1 Presiyometre deneyinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi .....	14
1.3.2 Menard elastik modül hesabı .....	14
1.3.3 Limit basınç hesabı .....	15
1.3.4 Zeminin elastik modülü ile limit basıncı arasındaki ilişki .....	16
1.3.5 Taşıma gücü hesabı .....	17
1.3.6 Temel oturmasının hesaplanması .....	21
1.4 Laboratuvar Çalışmaları .....	25

1.4.1 Elek analizi .....	26
1.4.2 Su içeriği .....	27
1.4.3 Özgöl ağırlık deneyi.....	27
1.4.4 Doğal birim hacim ağırlık deneyi .....	29
1.4.5 Likit limit deneyi .....	30
1.4.6 Plastik limit deneyi .....	31
1.4.7 Plastisite indisi .....	32
1.4.8 Tek eksenli basınç dayanımı.....	32
1.5 Regresyon Analizleri. ....	33
1.5.1 Basit (Tekli) regresyon .....	34
1.6 Genetik Algoritma. ....	37
1.6.1 Genetik algoritma pperatörleri .....	44
1.6.1.1 Kromozom .....	44
1.6.1.2 Seleksiyon.....	44
1.6.1.3 Çaprazlama .....	45
1.6.1.4 Mutasyon .....	46
BÖLÜM II. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	48
2.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	50
BÖLÜM III. MATERYAL ve METOT .....	51
3.1 Materyal.....	51
3.2 Metot.....	56
3.2.1 Basit (Tekli) regresyon analizi.....	56
3.2.2 Genetik algoritma çalışması.....	56
BÖLÜM IV. BULGULAR ve TARTIŞMALAR.....	62
BÖLÜM V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	72
KAYNAKLAR .....	74
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Hacim kaybı testi .....	6
Şekil 1.2 Basınç Kaybı Testi.....	7
Şekil 1.3 Presiyometre deney grafiği.....	15
Şekil 1.4 Derin temel ve sığ temelde limit basınçlar .....	18
Şekil 1.5 Temel şekilleri ve zemin tiplerine göre k katsayısı .....	20
Şekil 1.6 Oturmalar hesaplanırken kullanılan derinlikler .....	22
Şekil 1.7 Küresel (A) ve Deviatorik (B) gerilme bölgeleri.....	24
Şekil 1.8 Temel derinliği ve genişliği oranı.....	25
Şekil 1.9 Basit doğrusal regresyon doğrusu.....	35
Şekil 1.10 Gerçek ve tahmin edilen regresyon doğruları.....	37
Şekil 1.11 Genetik algoritma genel akış şeması .....	39
Şekil 1.12 Ağaç kodlamalı kromozomlar örneği .....	41
Şekil 1.13 Genetik algoritmanın temeli .....	43
Şekil 4.1 Presiyometre taşıma gücü ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki .....	62
Şekil 4.2 Laboratuvar deney sonuçlarından yaklaşık presiyometre taşıma gücünü tahmin eden formül ağacı.....	63
Şekil 4.3 Programa girilen tüm değerlerin yaklaşık korelasyon katsayısı .....	64
Şekil 4.4 Elek analizi değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü formül ağacı .....	65
Şekil 4.5 Elek analizi değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü korelasyonu.....	66
Şekil 4.6 Atterberg Limitleri değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü formül ağacı .....	67
Şekil 4.7 Atterberg limitleri değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü değerleri korelasyonu.....	68
Şekil 4.8 Doğal birim hacim ağırlık(d0), özgül ağırlık (d1), su içeriği (d2) değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü formül ağacı .....	69
Şekil 4.9 Doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü değerleri korelasyonu.....	70

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Presiyometre prob çeşitleri.....	5
Çizelge 1.2 Diferansiyel gösterge farkları .....	8
Çizelge 1.3 Yenilebilen zeminde hazırlanan deney formu örneği.....	10
Çizelge 1.4 Yenilemeyen zeminde hazırlanan deney formu örneği.....	11
Çizelge 1.5 Örnek presiyometre deneyi basınç – hacim değerleri ve grafiği.....	12
Çizelge 1.6 Örnek presiyometre deney logu.....	13
Çizelge 1.7 Zeminin elastik modülü ile limit basıncı arasındaki ilişki.....	16
Çizelge 1.8 Zemin cinslerine göre elastik modül ve limit basınç oranı.....	16
Çizelge 1.9 Zemin cinslerine göre k katsayıları.....	19
Çizelge 1.10 Temeller için kullanılan şekil faktörleri .....	23
Çizelge 1.11 Zemin cinsine bağlı olan reolojik katsayı değerleri .....	23
Çizelge 1.12 İkili kodlama.....	40
Çizelge 1.13 Permutasyon kodlamalı kromozom örnekleri.....	40
Çizelge 1.14 Değer kodlamalı kromozom örnekleri.....	41
Çizelge 1.15 Çaprazlama örneği .....	45
Çizelge 1.16 İki bitlik çaprazlama örneği.....	46
Çizelge 1.17 Mutasyon operatörü.....	47
Çizelge 3.1 Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü projelerinden alınan laboratuvar deneyi ve presiyometre deney sonuçları.....	51
Çizelge 3.2 Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları ve presiyometre deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü verileri.....	55
Çizelge 3.3 GeneXpro tools programına girilen eğitim verileri.....	57
Çizelge 3.4 GeneXpro tools programına girilen test verileri .....	60

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 1.1 Presiyometre cihazı ekipmanları .....	3
Fotoğraf 1.2 Presiyometre kontrol ünitesi .....	4
Fotoğraf 1.3 Presiyometre deney probu.....	5

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Gerek statik yükler ve gerekse deprem gibi dinamik yüklere maruz kalan yapıların çağdaş yöntemlerle projelendirilmesi/tasarımı kapsamında temel, yapının üzerinde bulunduğu zeminle temasını sağlayan ve yapıdan gelen yükleri zemine aktaran yapının önemli bir birimidir. Temellerin stabilite analizinde iki kriter dikkate alınır. Birincisi, temelde oluşacak oturma değeri, ikincisi ise temel altındaki zeminin yenilmesine karşı uygun bir yapıda olmasıdır. Yani, taşıma gücü standardını sağlaması gerekmektedir. Eğer oturma kriteri sağlanıyorsa, genellikle taşıma gücü kriteri de sağlanmış olacaktır. Kural olarak projelendirme ve tasarımda taşıma gücü dikkate alınarak yapılır ve oturma kriterinin kontrolü şeklinde devam eder. Taşıma gücü değeri proje yerindeki sondajlardan alınan numunelerin laboratuvar verileriyle veya arazi deneyleriyle yerinde saptanabilmektedir. Bu çalışmada da önemli bir arazi deneyi olan presiyometre deneyi incelenmiştir. Presiyometre deneyi; SPT deneyinin bloklu çakıllı zeminlerde hatalı sonuçlar vermesi, CPT deneyinin su içeriği yüksek olan kohezyonlu zeminlerde önerilmemesi, kanatlı kesici (veyn) deneyinin sadece yumuşak kıvamlı killerde uygulanabilmesi gibi nedenlerle her türlü zemine uygulanabilmesi avantajıyla diğer arazi deneylerinden daha öne çıkmaktadır. Presiyometre deneyi güvenilir sonuç vermesine karşılık; zaman alıcı, yüksek maliyeti, yeterli miktarda tecrübeli personel olmaması gibi bazı dezavantajları olan bir deneydir. Bu çalışmada dezavantajlar dikkate alınarak arazide alınan numunelerden elde edilen laboratuvar deney sonuçları ile presiyometre taşıma gücü değeri karşılaştırılmış, basit regresyon analizi ve yapay sinir ağları yöntemiyle presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 1.1. Presiyometre Deneyi

Her türlü inşaat yapısının güvenli ve ekonomik bir şekilde inşa edilebilmesi için; yapı-zemin etkileşimi, üst yapı yükleri altında temel zemin birimlerinin göstereceği davranışlar incelenmelidir. Bu davranışlar incelenirken araziden alınan numuneler laboratuvarlarda incelenerek ve arazide yerinde (in situ) deneyler yapılarak zemin örselenmeden doğal ortamında gerçek veriler elde edilerek zemin davranışları önceden tespit edilir.

Presiyometre deneyi de yerinde yapılan deneylerden biridir. Açılan sondaj kuyusu içerisinde zemine yanal yönde basınç uygulanması ve uygulanan basıncın zeminde oluşturduğu deformasyonların ölçülmesi esasına dayanmaktadır.

Uygulama esnasında, bu testin yapılacağı seviyeye kadar sondaj kuyusu açılarak silindirik bir boşluk oluşturulur. Radyal genişlemeye elverişli olan presiyometre probu istenilen test seviyesine kadar indirilir ve boşluğu genişletmek için şişirilir. Uygulanan her basınç kademesinde oluşan hacim artışları kaydedilir.

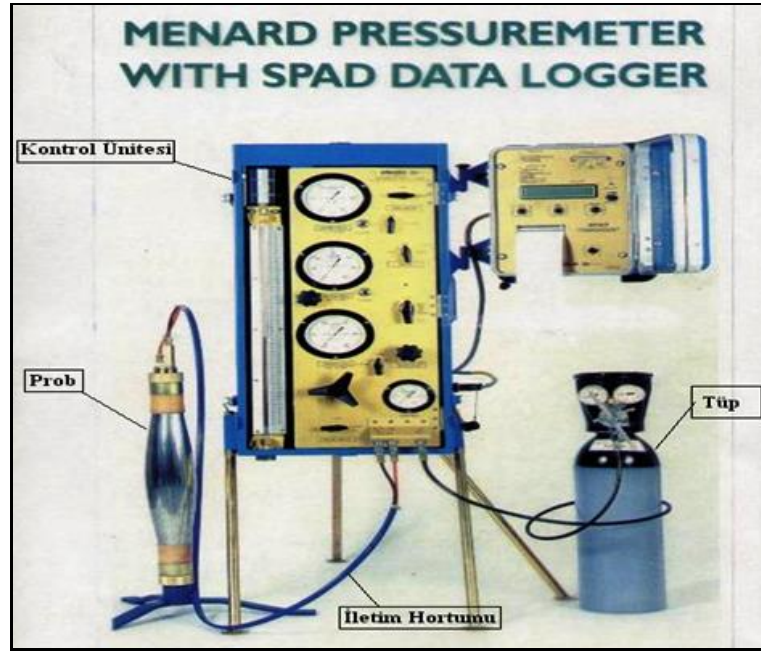
Arazide presiyometre deneyi yapılarak;

- Zeminin mukavemet parametreleri ( $P_i$ ,  $P_f$ ,  $P_l$ ,  $E$ ,  $C$ ,  $\phi$ ,  $G$ ) tespit edilir.
- Zeminin taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesi hesaplanabilir.
- Zemine uygulanacak yük biliniyorsa, bu yük altında temel zemininde meydana gelen oturmalar hesaplanabilir.
- Presiyometre deneyi ile yamaç, alüvyon, dolgu ve her türlü dekapaj işlerinde hafriyat sınırı tespit edilir.
- Presiyometre ile şev stabilite etüdüleri yapılabilir. Bunun için kayma zonları tespit edilir ve presiyometrik verilerden faydalanılarak şev analizleri yapılır.
- Galeri ve tünellerde; bir kesit üzerinde sondaj delikleri açılarak her metrede bir deney yapılmak suretiyle galeri veya tünel etrafında meydana gelen gevşeme sınırı tespit edilerek gelen yükler hesap edilebilir.

- Enjeksiyondan önce ve enjeksiyon sonra deney yapılmak sureti ile enjeksiyon etkilik katsayısı hesaplanabilir.
- Dolguların sıkıştırılmasından sonra deney yapılarak ne kadar yük taşıyabileceği tespit edilebilir. (Kayabasi, A., 2010).

### 1.1.1 Presiyometre Cihazı

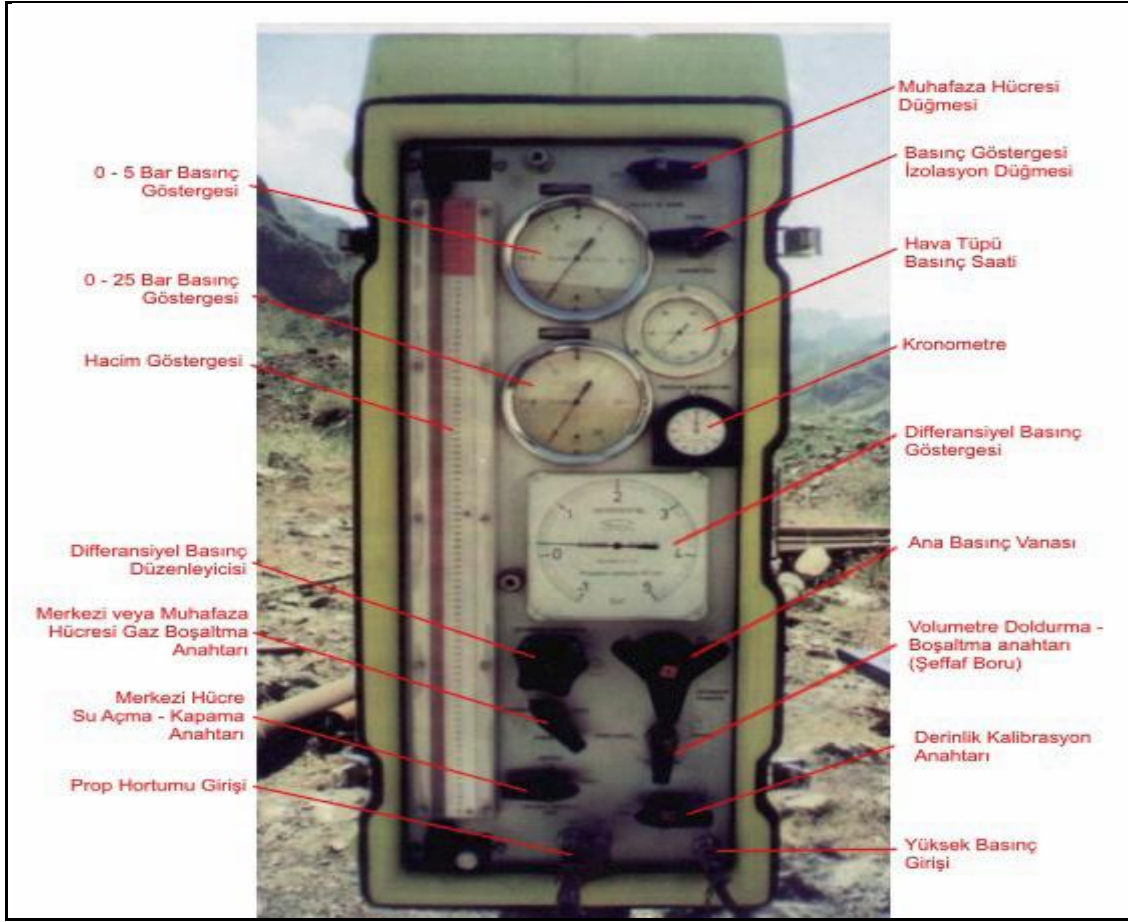
Presiyometre cihazı 4 ana üniteden oluşmaktadır; (Menard, L., 1975).



Fotoğraf 1.1 Presiyometre cihazı ekipmanları

### 1.1.2. Kontrol ünitesi

Presiyometre deney aletinin ana kısmını oluşturur. Üzerinde sondaj kuyusuna indirilen proba verilen basınç değerlerini ayrıntılı olarak gösteren manometreler vardır. Benzer şekilde su-gaz basınç farklarını düzenleyen bir dedantör mevcuttur. Deney sırasında, verilen basınç altında zeminde oluşan hacim değişiklikleri volumetreden giden su miktarıyla gösterilir. Volumetredeki su gidişleri  $0.5 \text{ cm}^3$ 'e kadar rahatlıkla gözlenebilir. İlave göstergelerle bu hassasiyet artırılabilir. (Fotoğraf 1.2)



**Fotoğraf 1.2** Presiyometre kontrol ünitesi

### 1.1.3. Prob

İstenen deney kotuna yerleştirilen ve radyal olarak genişleyen silindirik sondadır. Metalik bir silindirin iç içe geçirilmiş 2 lastik kılıf ile kaplanmasıyla oluşan prob, iki hücreden oluşur. Muhafaza Hücresi olarak adlandırılan dış kısımdaki koruyucu hücre kuru hava, CO<sub>2</sub>, azot gazı gibi tüpten gelen gazlarla dolar (deney esnasında). İç kısımdaki merkezi hücre ise su ile dolar. Bu iki hücre birbirini ile bağlantılı değildir. Hücreler, hacim ölçer (volumeter) ile ayrı ayrı bağlantılı olup aynı basınç ile yüklenirler. Değişik çap ve uzunlukta olanları mevcuttur (Fotoğraf 1.3).



**Fotoğraf 1.3** Presiyometre deney probu

Piyasada değişik tip ve ebatlarda prob bulunmaktadır. BX Probu yaygın olarak kullanılmaktadır, referans prop olarak bilinmektedir, probun ölçüm yapan kısmı yaklaşık olarak prop uzunluğunun yarısıdır, AX Probusunun ölçüm hücresi, BX probu ile aynı hacime sahiptir, AX probu BX probuna göre daha uzundur (Çizelge 1.1).

**Çizelge 1.1** Presiyometre prob çeşitleri (Menard, L. 1975).

Prob Kodu	Kuyu Çapı (mm)		Prob Çapı (mm)	Ölçüm Hücresi Hacmi Vc (cm <sup>3</sup> )
	Min.	Max.		
AX	46	52	44	535
BX	60	66	58	535
NX	70	76	74	790
EX	34	38	32	535

#### 1.1.4. İletim hortumları

Prop ile kontrol ünitesi arasındaki bağlantıyı sağlayan iletim hortumları iç içe iki ayrı boru halinde imal edilmiştir. İçteki boru saf su, dıştaki boru gaz iletir.

#### 1.1.5. Basınç tüpü

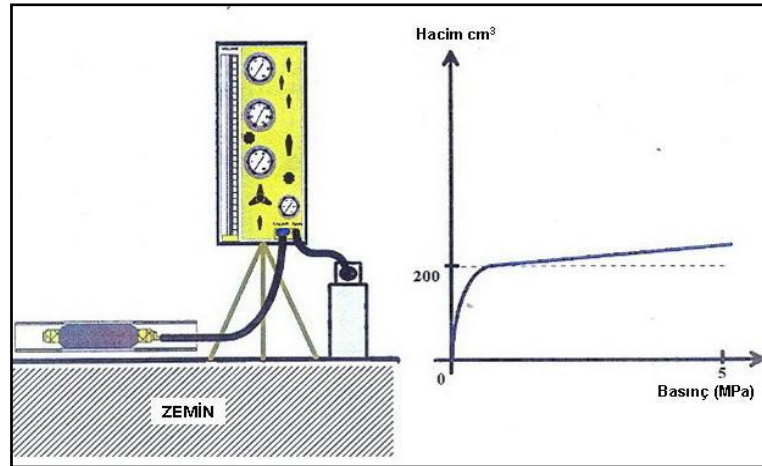
Sistemin sirkülasyon basıncı için sıkıştırılmış kuru hava, azot veya karbondioksit gazı kullanılabilir.

## 1.2. Arazi Çalışmaları

Herhangi bir temel zemin etüdünde presiyometre deneyine başlamadan önce belirli kalibrasyonların muhakkak yapılması gerekmektedir. Bu kalibrasyonlar deney probundaki hacim, basınç kayıplarının olup olmadığının önceden belirlenmesi sonucunda hesaplamaların daha doğru bir şekilde yapılmasını sağlar. Kalibrasyonlar her proje başında, önemli projelerde ise her kuyu başında yapılmalıdır. Ayrıca prob lastiği değişiminde, basınç tüpünün değişiminde ve cihaza konulan saf suyun takviye edilmesinden sonra da yapılmalıdır. Bu değerler daha sonra presiyometre ham verilerinin düzeltilmesinde kullanılır.

### 1.2.1. Prob hacim kaybı testi

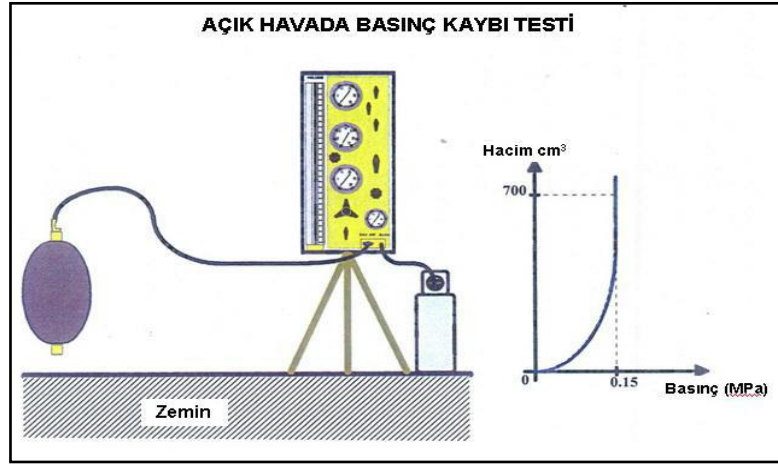
Tüm su hattı boyunca oluşabilecek hacimsel bir genişleme deney sonuçlarını etkileyebilecektir. Bu nedenden dolayı kuyu çapında yapılmış kalibrasyon cihazı içerisine prob sokularak test prob kuyuya sokulmadan önce deney yapılır. Çelik kalibrasyon cihazı içinde basınç karşılığında oluşan hacimsel genişleme verilerinin grafiği çizilir. Prob kuyu kotuna indirilir ve deney yapıldıktan sonra çelik muhafaza içinde alınan volümetre değerleri deney volümetre değerlerinden çıkarılarak cihaza ait hacimsel genişleme değerleri elimine edilir. (Şekil 1.1) (Gümüş, V., 2010).



Şekil 1.1 Hacim kaybı testi

### 1.2.2. Basınç kaybı testi

Probun lastik kısmının az da olsa bir direnci vardır. Bu direnç için kullanılan basınç değerinin deneyin yapıldığı zemine verilen basınç içine dahil edilmemesi için kuyu içine prob sokulmadan, açık havada, toplam suyun ( $700 \text{ cm}^3$ ) proba gidebileceği kadar basınç verilerek deney yapılır. Bu basınç değerleri daha sonra deneyde oluşturulan basınç deneylerinden çıkarılır. (Şekil 1.2) (Gümüş, V., 2010).



Şekil 1.2 Basınç kaybı testi

### 1.2.3. Diferansiyel kalibrasyonu

Prob merkezi hücre ve muhafaza hücresinin kuyu yamaçlarına eşit basınçla yaslanması gerekmektedir. Basınç eşitliğinin sağlanabilmesi için diferansiyel kalibrasyonunun yapılması gerekir.

Yüzeyde (Monitoring box seviyesinde) gaz hücresi basıncı ile merkez hücre basıncı arasındaki fark 1 bar iken, 10 metre derinlikte her iki göstergedeki basınç değerleri aynı olur. 20. metredeki derinlikte, gaz hücresi 1 bar önde giderken 30. metrede bu fark 2 bar'a çıkmaktadır. Esas amaç prob ve hortumlardaki hidrostatik su basıncını elimine etmektir (Çizelge 1.2) (Gümüş, V., 2010).

**Çizelge 1.2** Diferansiyel gösterge farkları (Menard, L. 1975).

Prob Derinliği (m)	Muhafaza Hücresi Göstergesi ve Merkezi Hücre Göstergesi Farkı (Bar)
0*	- 1,0
1	- 0,9
2	- 0,8
3	- 0,7
4	- 0,6
5	- 0,5
6	- 0,4
7	- 0,3
8	- 0,2
9	- 0,1
10	Eşit Basınç
11	0,1
12	0,2
20	1,0
25	1,5
30	2,0

\*Kalibrasyon Testi İçin

Muhafaza hücresi göstergesi ile merkez hücre göstergesi arasındaki fark matematiksel olarak aşağıdaki formül ile de hesaplanabilir.

$$\text{Diferansiyel Basınç Farkı} = (\text{Deney Zonu}-10) / 10 \quad (1.1)$$

#### **1.2.4 Presiyometre deneyinin yapılışı**

Presiyometre deneyi sondaj işleminden hemen sonra yapılmalıdır. Yapılacak araştırmanın niteliğine bakılmaksızın derinliğin bir fonksiyonu olarak direnç parametrelerinin değişimlerinin daha ayrıntılı olarak kayıt edilebilmesi için deneyler sistematik olarak metre metre yapılmalıdır. Kural olarak etüt edilen üst yapının genişliğinin temel kazısından itibaren yaklaşık 1,5 katı derinliğe kadar sürekli olarak her metrede deney yapılmalıdır. Deney aralıkları zemin cinsine göre arttırılabilir.

Kalibrasyonu daha önce yapılmış olan prob test zonuna yani kuyu içine indirilir ve basınçlı hava (CO<sub>2</sub>, N, kuru hava vb.) ile şişirilir. Probun şişmesi dolayısı ile boşluğun genişlemesini sağlamak için gaz tüpünden dedantör yardımı ile ölçme hücre sine eşit aralıklar ile (1, 2, 3 bar) arttırılan basınçlar uygulanır. Arttırılan her basınç seviyesinde, sabit bir zaman aralığına kadar (genellikle 1 dakika) beklenilir. Belirlenen bu zaman aralığında her basınç artışı (pm) için ölçme hücre sindeki hacim değişimleri (Vm) volumetreden kaydedilir. Boşluk hacminde oluşan bu artış kuyunun yalnız radyal olarak genişlemesi şeklindedir. Bir deney zonuna en az 10 kademelik basınç uygulanır. Böylece bir deney yaklaşık olarak 10-15 dakika sürer. Bu ise kilde drenajsız, serbestçe drene olan kum ve çakılda ise drenajlı deney yapmak anlamına gelmektedir. Bir yapının inşasını, temel zemininde süratli, yani drenajsız bir yükleme durumu yaratacağının kabul edilebileceği hatırlanırsa sonuçların önemi kavranabilir.

XY koordinat sisteminde, X eksenini arttırılan basınç kademelerini (kg/cm<sup>2</sup>), Y ekseninde bu kademelerde oluşan hacim değişimlerini (cm<sup>3</sup>) gösterecek şekilde basınç – deformasyon eğrisi çizilir.

Başlangıçtan sonra eğrinin ilk kırılma noktası, verilen basınç artması ile probun zemine oturmasını göstermekte olup bu noktanın apsisi zeminin P<sub>i</sub> yatay içsel basıncına tekabül eder. Daha sonra eğri lineer artış gösterir. Eğrinin bu kısmı “Psüdo-elastik Safhayı” oluşturur. Bu safhadan sonra eğri yükselmeye başlar ve PL (Limit basınç) ile tariflenen sınır basıncına asimtotik olur. Bu safhaya da “Plastik Safha” denir. Limit basınç (PL) hacim artışlarının sonsuza vardığı noktadır ki, zeminin teorik olarak “Nihai Taşıma Gücü” ne tekabül eder. 30 ve 60 saniyelik aralıklarda hacim değişimleri aynı grafikte gösterilerek “Akma Eğrisi” (Creep Curve) elde edilir. Akma eğrisini yukarıya doğru kırıldığı nokta PF akma basıncıdır. Genellikle psüdo-elastik safhanın üst sınırına karşılık gelir. (Gümüş, V. 2010).



Çizelge 1.4 Yenilemeyen zeminde hazırlanan deney formu örneği

<b>PRESİYOMETRE DENEY FORMU</b>							
<b>Proje Adı</b>				<b>Kuyu No</b>			
<b>Lokasyon</b>				<b>Sondaj Derinliği</b>			
<b>Teknisyen</b>				<b>Deney Seviyesi</b>			
<b>Tarih</b>				<b>Yas Seviyesi</b>			
<b>Kuyu Kotu</b>				<b>Koordinat</b>			
<b>Notlar</b>							
<b>Basınç (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Hacim (cm<sup>3</sup>)</b>			<b>Basınç (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Hacim (cm<sup>3</sup>)</b>		
	<b>V-15</b>	<b>V-30</b>	<b>V-60</b>		<b>V-15</b>	<b>V-30</b>	<b>V-60</b>
<b>0</b>	5						
<b>1</b>	20	45	70				
<b>2</b>	90	110	130				
<b>3</b>	140	150	160				
<b>4</b>	165	170	180				
<b>5</b>	185	190	200				
<b>7</b>	205	210	215				
<b>9</b>	217	220	225				
<b>12</b>	228	230	233				
<b>15</b>	234	235	237				
<b>18</b>	238	239	240				
<b>21</b>	241	242	243				
<b>24</b>	244	245	246				
<b>27</b>	247	248	249				
<b>30</b>	250	251	251				
<b>33</b>	251	251	252				

### 1.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları, proje sahasında yapılan presiometre deneylerinde her seviye için aşağıdaki tablo ve grafik hazırlanır. Tabloda arazide tatbik edilen deney sonuçları ile basınç ve hacim düzeltmesiyle elde edilen düzeltilmiş basınç ve hacim değerleri yer almalıdır. Grafik kısmı ise basınç ve hacim oranlarına göre çizilir ve kalibrasyon değerleri eklenerek eğrinin lineer kısmındaki elastik seviyenin başlangıç ve bitiş noktası belirlenir. Daha sonra Limit basınç değeri belirlenerek grafik çizgisi devam ettirilir (Çizelge.1.5).

Çizelge 1.5 Örnek presiometre deneyi basınç – hacim değerleri ve grafiği

PSİ		PRESİYOMETRE DENEYİ / Pressuremeter Test				DSİ Genel Müdürlüğü Jeoteknik Hiz. Ve YAS D. Bşk. Kaya ve Zemin Mekaniği Şb. Md.Şb.	
PROJE ADI Project Name	Osmaniye-Kadirli Savrun Barajı		SONDA ÇAPı Probe Diameter (mm)	44,00	KUYU NO Borehole No	SK-6	
DENEY YERİ Test Location	Sol Omuz Plinth(Yol)		MANOMETRENİN YÜKSEKLİĞİ Height of Manometer (m)	0,70	DENEY SEVİYESİ Test Level	15,70	
PRESİYOMETRE TÜRÜ Pressuremeter Type	Menard GA		V <sub>0</sub> HACİM DEĞERİ V <sub>0</sub> Volume Reading (cm <sup>3</sup> )	535	TARİH Date	10-26.08.2011	
(1) Kademe Arbığı Increment	(2) Hacim Ölçer Basıncı Volumeter Pressure kg/cm <sup>2</sup>	(3) Hacim Ölçer Okuması Volumeter Reading cm <sup>3</sup>	(4) (2)+Hidrostatik Basıncı Pressure kg/cm <sup>2</sup>	(5) Hacim Düzeltilmiş Volumeter Correction cm <sup>3</sup>	(6) Düzeltilmiş Hacim Corrected Volume cm <sup>3</sup>	(7) Membran Düzeltilmesi Membrane Correction kg/cm <sup>2</sup>	(8) Düzeltilmiş Basıncı Corrected Pressure kg/cm <sup>2</sup>
1	0	10	0,00	0,00	10,00	0,00	0,00
2	1	170	1,07	0,00	170,00	0,74	0,33
3	2	240	2,07	0,00	240,00	0,99	1,08
4	3	250	3,07	0,00	250,00	1,03	2,04
5	4	254	4,07	0,00	254,00	1,04	3,03
6	6	260	6,07	0,00	260,00	1,06	5,01
7	8	264	8,07	0,00	264,00	1,08	6,99
8	11	270	11,07	2,00	268,00	1,09	9,98
9	14	275	14,07	4,00	271,00	1,10	12,97
10	17	279	17,07	5,00	274,00	1,11	15,96
11	20	282	20,07	7,00	275,00	1,12	18,95
12	23	284	23,07	8,00	276,00	1,12	21,95
13	26	286	26,07	8,00	278,00	1,13	24,94
14	29	288	29,07	9,00	279,00	1,13	27,94
15	32	289	32,07	10,00	279,00	1,13	30,94
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							

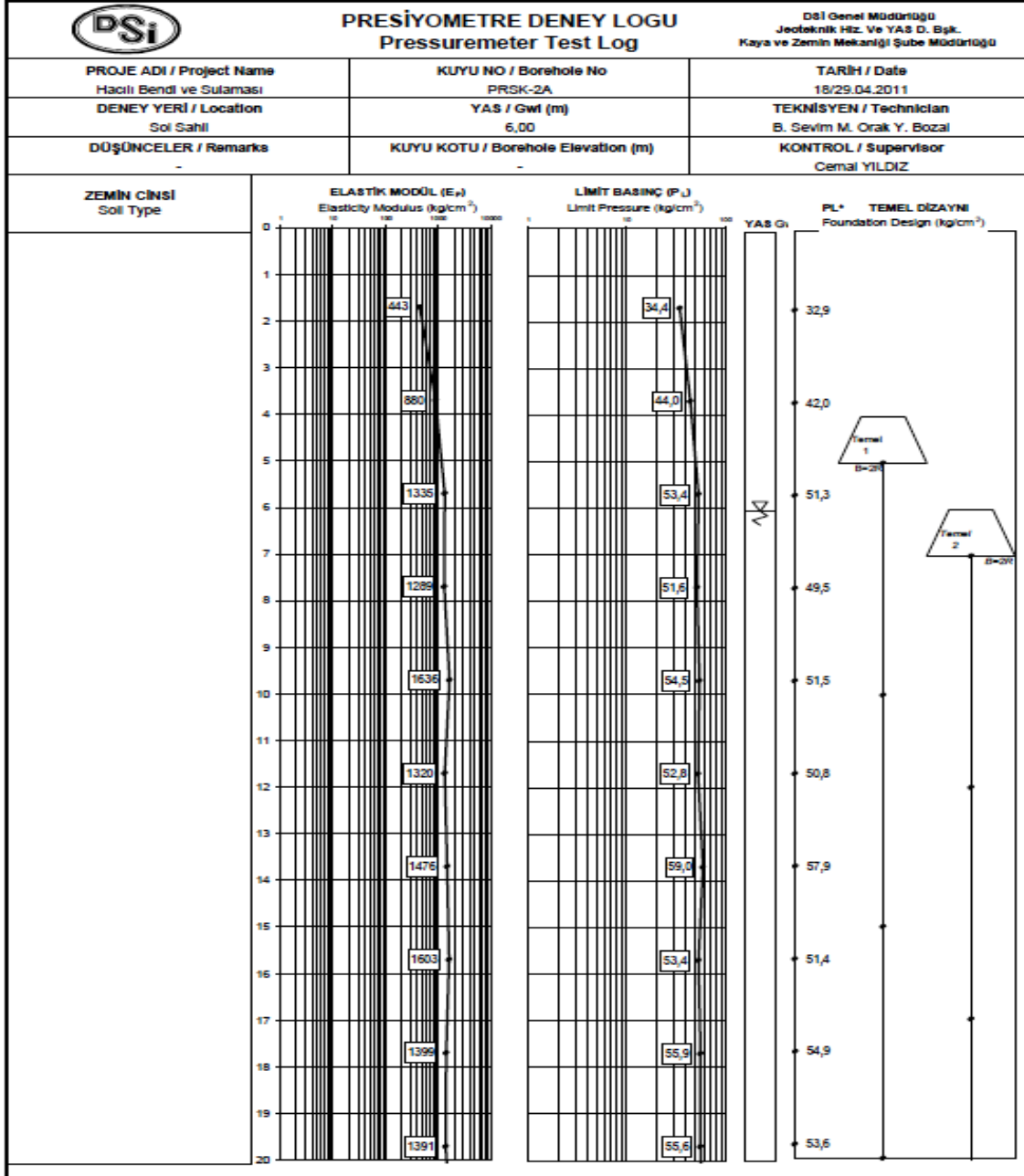
  

BELİRLENEN DEĞERLER / Assessed Values			
P <sub>i</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) =	6,99	V <sub>i</sub> (cm <sup>3</sup> ) =	264
P <sub>f</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) =	27,94	V <sub>f</sub> (cm <sup>3</sup> ) =	279
P <sub>L</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) =	85,59	E <sub>p</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) =	2995,80
ΔP (kg/cm <sup>2</sup> ) =	20,95	P <sub>L</sub> -P <sub>i</sub> (kg/cm <sup>2</sup> ) =	78,60
ΔV (cm <sup>3</sup> ) =	15,00	E <sub>p</sub> / P <sub>L</sub> =	35,00

TEKNİSYEN / Technician	KONTROL / Supervisor
B. Sevim M. Orak Y. Bozal	Cemal YILDIZ

Presiyometre deneyinde her seviye için limit basınç ve elastik modül değerleri hesaplandıktan sonra kuyu bazında presiyometre deney logu hazırlanır. Logda elastik modül, limit basınç ve net limit basınç değerlerinin yanısıra yapının temel derinlikleri ve yeraltı su seviyesi de yer almalıdır (Çizelge 1.6).

Çizelge 1.6 Örnek presiyometre deney logu



### 1.3.1 Presiyometre deneyinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

#### 1.3.2 Menard elastik modül hesabı

Presiyometre deney grafiğinde  $V_o$  ile  $V_f$  arasında, zeminin elastik malzemeye benzer biçimde hareket ettiği söylenebilir; çünkü eğri bu bölge içerisinde yaklaşık düz bir çizgidir. (Menard, L. 1975).

Elastik Modül:

$$V = V_o + V_m \quad (1.2)$$

formülü ile ifade edilir.  $V$  = Basınç uygulama safhasında ortalama prob hacmidir.

$\mu$  = Poisson oranı

$V_o$  = Ölçüm hücresinin boş hacmi ( $\text{cm}^3$ )

$V_m$  = Elastik safhadaki suyun hacmi ( $\text{cm}^3$ )

$$V_m = \frac{V_i + V_f}{2} \quad (1.3)$$

$V_i$  = Elastik safhanın başlangıcındaki hacim ( $\text{cm}^3$ )

$V_f$  = Elastik safhanın bitimi, plastik safhanın başlangıcındaki hacim ( $\text{cm}^3$ )

Böylece deformasyon modülü,

$$E = 2V(1 + \mu)\Delta P/\Delta V \quad (1.4)$$

şeklinde yazılabilir.

Poisson oranı ( $\mu$ ) presiyometrik değerlendirmelerde genellikle 0,33 alınır.

Sonuç olarak Pressiyometre Elastik Modülü;

$$E_p = 2,66 (V_o + V_m)\Delta P/\Delta V \quad (1.5)$$

olur.

$\Delta P$ = Lineer kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki basınç farkı

$\Delta V$ = Lineer kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki hacim farkı

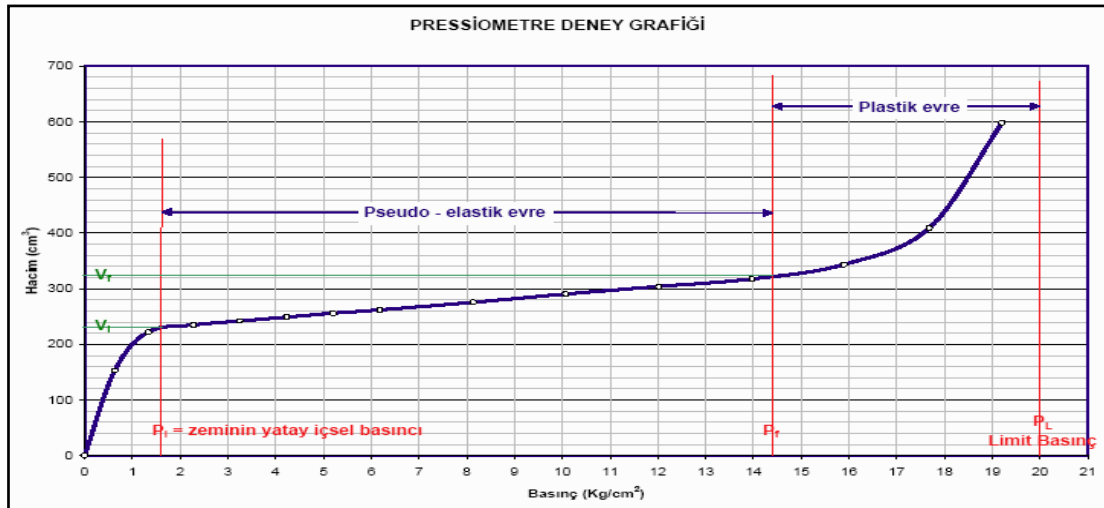
### 1.3.3 Limit basınç hesabı

Limit Basınç, teorik olarak zeminde açılmış olan silindirik bir boşluğun ilksel hacminin iki katına yaklaştığı hacme ( $2V_0+V_c$ ) karşılık gelen basınç değeri olarak tanımlanabilir.

Net limit basınç ise; limit basınç değerinden probun zemine dayandığı lineer safhanın başı olan kısmın çıkarılması ile bulunur. Hesaplamalarda mutlaka net limit basınç değeri kullanılmalıdır. (Menard, L. 1975).

$$P_L^* = P_L - P_i \quad (1.6)$$

Limit basınç (PL) silindirik bir boşluğun çevresindeki artan üniform basıncın etkisi altında kalan bir zeminin yenilmesinin sınır durumuna karşılık gelir ve zeminin teorik olarak Nihai Taşıma Gücünü temsil eder. Bu değer temel karakteristik presiyometre yöntemlerine yapılan tüm duraylılık analizlerinde kullanılır.



Şekil 1.3 Presiyometre deney grafiği

### 1.3.4. Zeminin elastik modülü ile limit basıncı arasındaki ilişki

Presiyometre deneyini yapan teknik elemanın deney yapacağı zemine, alınan karot veya SPT deneyinden elde edilen numuneleri inceleyerek ne kadarlık bir basınç uygulaması gerektiğini önceden tahmin etmesi büyük kolaylık sağlayacaktır. Ana zemin tiplerinin Em ve PL değerlerinin genel değişim aralıkları aşağıda verilmiştir (Çizelge 1.7)

**Çizelge 1.7** Zeminin elastik modülü ile limit basıncı arasındaki ilişki (Menard, L. 1975).

Zemin Cinsi	Elastisite Modülü( $E_p$ )( $kN/m^2$ )	Limit Basıncı (PL) ( $kN/m^2$ )
Balçık	200 - 500	20 - 150
Yumuşak Kil	500 - 3 000	50 - 300
Plastik Kil	3 000 - 8 000	300 - 800
Sert Kil	8 000 - 40 000	600 - 2 000
Marn	5 000 - 60 000	600 - 4 000
Gevşek Siltli Kum	500 - 2 000	100 - 500
Silt	2 000 - 10 000	200 - 1 500
Kum ve Çakıl	8 000 - 40 000	1 200 - 5 000
Tortul Kum	7 500 - 40 000	1 000 - 5 000
Kireçtaşı	80 000 - 20 000 000	3 000 - 10 000
Yeni Toprak Dolgu	500 - 5 000	50 - 300
Eski Toprak Dolgu	4 000 - 15 000	400 - 1 000

Elastik Modül ile Limit basınç arasında, zeminin cins ve özelliğine göre değişen bir oran mevcuttur. Em/PL oranı 12 ile 30 arasında ise çok sıkı, 5-8 arasında ise daha çok alüvyonal bir zemini temsil eder.

**Çizelge 1.8** Zemin cinslerine göre elastik modül ve limit basınç oranı (Menard, L. 1975).

Zemin Cinsleri	EM/PL
Suya doymuş, gevşek ve çok gevşek kum	4-7
Kompakt ve sıkı kum	7-10
Yumuşak , orta sıkı kil	8-10
Sert ve çok sert kil	10-20
Lös	12-15

### 1.3.5. Taşıma Gücü Hesabı

Yapılarda aranan en önemli şartlardan birisi, yapıdan gelecek yüklerin zemin tarafından emniyetle taşınmasıdır. Zeminin taşıma gücü presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınç ( $P_L^*$ ) yardımıyla doğrudan Menard'ın yarı ampirik formülüyle hesaplanabilir. (Menard, L. 1975).

Taşıma gücü;

$$q = k \cdot (P_L - P_0) \quad \text{veya} \quad q = k \cdot P_L^* e \quad (1.7)$$

denklemleriyle ifade edilir.

Zeminin nihai taşıma gücü ise;

$$q_u = q_0 + k \cdot P_L^* e \quad (1.8)$$

olarak ifade edilir.

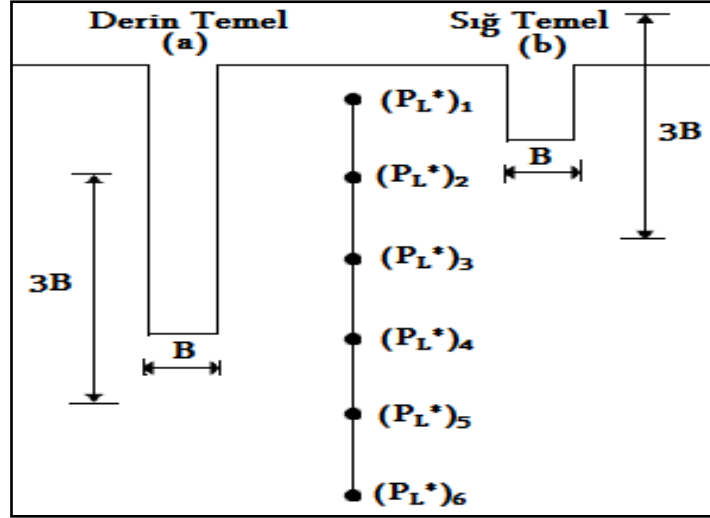
Burada;

$q_0$ = Temel taban seviyesindeki efektif derinlik basıncı ( $\gamma \cdot h$ )

$k$ = Temelin geometrik karakteristiklerine ve zeminin özelliklerine bağlı taşıma gücü katsayısı

$P_0$ = Deney seviyesindeki toplam yanal zemin basıncıdır.

Direnci derinlikle değişken olan tabakalara temel oturtulduğunda, elde edilen net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması alınarak eşdeğer net limit basınçların ( $P_L^* e$ ) hesaplanması gerekir. (Şekil 1.4)



Şekil 1.4 Derin temel ve sığ temelde limit basınçlar (Gürsoy, N. 2008).

$$PL^*e = ((PL^*)_1 \times (PL^*)_2 \times (PL)_3) 1/3 \quad (1.9)$$

Yukarıdaki formül ile eşdeğer net limit basınç değeri bulunur. Eşitlikteki net limit basınç değerleri temel taban seviyesinin altında ve üstünde  $\pm 1,5 B$  kalınlığındaki bölgedeki net limit basınç değerleridir. Yüzeysel temellerde eğer malzeme kaldırılacaksa  $PL^*1$  dikkate alınmayabilir. Eğer temel derinse  $3B'$  lik zon içerisinde yer alan 2'den 5' e kadar olan  $PL^*$  değerleri hesaba katılmalıdır. (Menard, L. 1975).

$$PL^*e = ((PL^*)_2 \times (PL^*)_3 \times (PL)_4 \times (PL)_5) 1/4 \quad (1.10)$$

$(PL^*)_1$  = Temel taban seviyesinin üstünde (+3R ile +R) aralığında tespit edilen net limit basınç değeri ( $B=2R$ )

$(PL^*)_2$  = Temel taban seviyesinin üstünde (+R ile -R) aralığında tespit edilen net limit basınç değeri

$(PL^*)_3$  = Temel taban seviyesinin üstünde (-R ile -3R) aralığında tespit edilen net limit basınç değeri (Menard, L. 1975).

Kullanılan nihai taşıma gücü formülü, eşdeğer net limit basınçlar bulunduktan sonra;

$$q = q_0 + k \cdot PL^*e \quad (1.11)$$

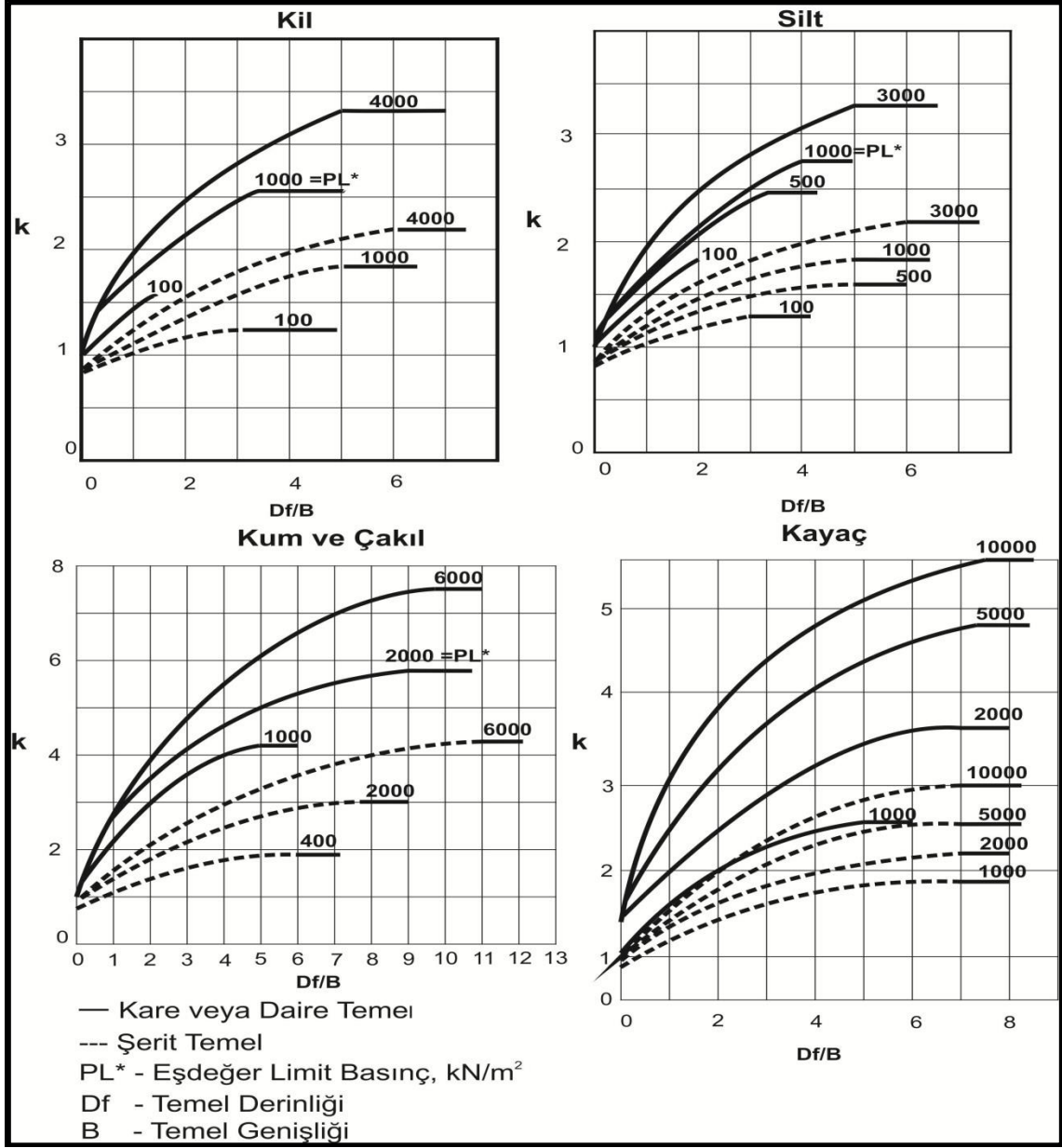
olarak ifade edilir.

Taşıma gücü katsayısı olan 'k' değeri yüzeysel temellerde genellikle 0,8 olarak alınır. Aşağıdaki tablodan k değeri yaklaşık olarak bulunabilir (Çizelge 1.9).

**Çizelge 1.9** Zemin Cinslerine göre k katsayıları (Gürsoy, N. 2008).

<b>Zemin Cinsi</b>	<b>k</b>
Kohezyonlu	1 + 0,2.B/L
Taneli – Gevşek	1,1 + 0,2.B/L
Taneli - Sıkı	1,2 + 0,4.B/L

Grafiksel yöntemlerle ve ampirik yöntemlerle de 'k' değeri hesaplanabilmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 Temel Şekilleri ve Zemin Tiplerine göre k katsayısı (Menard, L. 1975).

Zemin Emniyet gerilmesi ise aşağıdaki eşitlikle bulunur;

$$q = k \cdot PL^*e/GS + q_0 \quad (1.12)$$

Presiyometrik hesaplamalarda güvenlik katsayısı (GS) genellikle 3 olarak alınır. Ancak özel durumlarda daha düşük bir güvenlik katsayısı kullanılabilir. Bu katsayı projenin mahiyeti, zemin özellikleri v.b. gibi birçok faktöre bağlıdır.

### 1.3.6. Temel Oturmasının Hesaplanması

Menard ve Rousseau (1962), presiyometre deneyinden yararlanılarak, yüzeysel temellerin oturmalarının tahmin edilebilmesi için yarı ampirik bir bağıntı önermişlerdir. Temel derinliğinin, temel genişliğinden büyük veya eşit olması ( $D_f \geq B$ ) durumunda, bir dikdörtgen temelin oturması aşağıdaki bağıntı ile tahmin edilebilmektedir.

$$S = ((1 + \mu) / 3 \times E_B) \times P \times R_0 (\lambda_d \times B / R_0)^\alpha + (\alpha \times B \times P \times \lambda_c / 4,5 \times E_A) \quad (1.13)$$

Burada;

S= Zeminde meydana gelen oturma miktarı (cm)

$\mu$  = Poisson oranı

$E_B$ = Deviatorik bölgedeki eşdeğer elastisite modülü

$E_A$ = Küresel bölgedeki eşdeğer elastisite modülü

$R_0$ = Temel referans genişliği, genellikle 60 cm alınır.

B = Temel genişliği (m)

$\alpha$ = Zemin cinsine ve  $E_m/PL^*$  oranına bağlı reolojik katsayı

$\lambda_d, \lambda_c$  = Temelin L/B oranına bağlı olan şekil faktörü

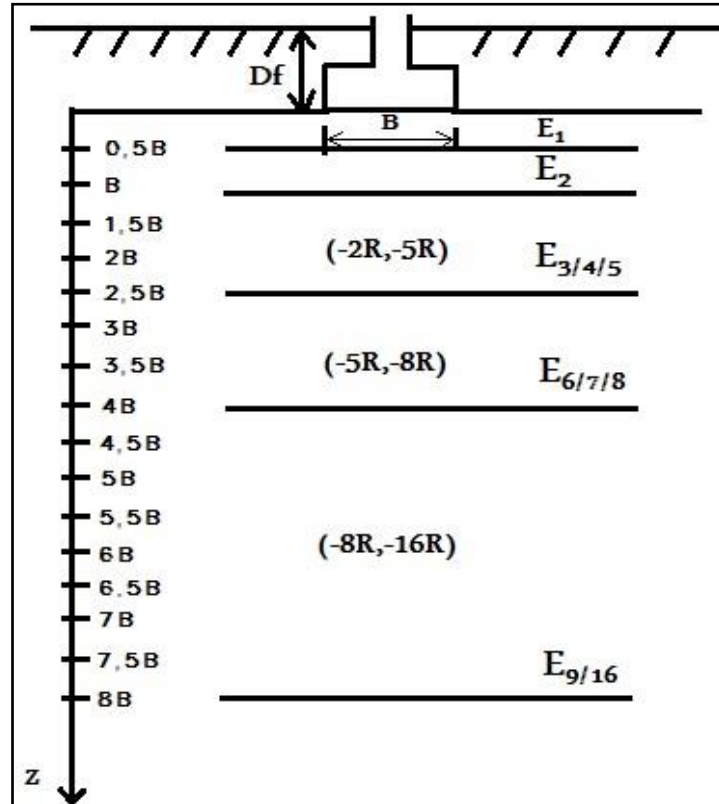
P = Proje yükü ( $kg/cm^2$ )

Yüklenmiş zemin ortamında, herhangi bir noktadaki gerilme, küresel (A bölgesi) ve deviatorik (B bölgesi) bileşenlerine ayrılabilir. Küresel bileşen temelin hemen altında en

büyük değere sahiptir. Deviatorik bileşen ise, temel genişliğinin yarısına ( $B/2$ ) eşit bir derinlikte, en büyük değerine sahiptir. (Baquelin vd.,1978).

Temel oturması her iki bölge için ayrı ayrı hesaplanır. Bu nedenle oturma formülündeki ilk kısım, gerilmenin deviatorik bileşenin etkisinde hacim değişimi olmaksızın kayma deformasyonu sonucu meydana gelen oturmayı, ikinci kısım ise gerilmenin küresel bileşen etkisi altında zemin hacim azalması sonucu meydana gelen oturmayı (konsolidasyon deformasyonu) gösterir. (Menard, L. 1975).

Her iki bölgedeki presiyometre modülünün ( $E_c$ ,  $E_d$ ) belirlenebilmesi için, temel altındaki zemin  $R(B/2)$  kalınlığında tabakalara ayrılır. (Şekil 1.6)



Şekil 1.6 Oturmalar hesaplanırken kullanılan derinlikler

Temeller için  $\lambda_d$  ve  $\lambda_c$  şekil faktörleri aşağıdaki abaktan bulunur;

**Çizelge 1.10** Temeller için kullanılan şekil faktörleri (Menard, L. 1975).

Şekil Faktörleri	Uzunluk - Genişlik Oranı (L/B)					
	1	1	2	3	5	20
	daire	kare				
$\lambda_c$	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
$\lambda_d$	1	1.12	1.2	1.3	1.4	1.5

Zeminin cinsine ve  $E_p/P_L^*$  oranına bağlı reolojik katsayı değerleri aşağıdaki tablodan bulunur;

**Çizelge 1.11** Zemin cinsine bağlı olan reolojik katsayı değerleri (Menard, L. 1975).

Zemin Cinsi	Turba	Kil		Silt		Kum		Kum ve Çakıl	
Zemin Durumu	$\alpha$	$E_p/P_L^*$	$\alpha$	$E_p/P_L^*$	$\alpha$	$E_p/P_L^*$	$\alpha$	$E_p/P_L^*$	$\alpha$
Aşırı konsolide veya çok sıkı	-	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normal konsolide veya sıkı	1	9 - 16	2/3	8 - 14	1/2	7 - 12	1/3	6 - 10	1/4
Düşük konsolide veya gevşek	-	7 - 9	1/2	5 - 8	1/2	5 - 7	1/2	-	1/4

Kayalar için,  $\alpha$  değeri fissürlerin ve yapısal zayıflıkların boyutuna daha çok bağlıdır. Aşağıdaki değerler bunları temsil edici niteliktedir.

**Aşırı kırıklı kayalar**  $\alpha=1/3$

**Normal Kayalar**  $\alpha=1/2$

**Az kırıklı-çok zayıf kayalar**  $\alpha=2/3$

Çoğu zeminlerin heterojen bir yapı göstermeleri nedeniyle, elastisite modülü derinliğe ve geçilen tabakaların cinsine göre değişim gösterir. Bu durumda oturma hesaplarında her iki gerilme alanındaki zemini temsil eden  $E_c$  ve  $E_d$  eşdeğer modül değerlerini hesaplamak gerekir. Bu modül değerlerini bulmak için yapı temelinin genişliğine ya da çapına bağlı olarak  $R=B/2$  kadar kalınlıkta hayali tabakalara ayrılarak, bu tabakalar içinde deneyler

sonucu bulunmuş olan elastisite modüllerinin harmonik ortalaması alınarak o tabakayı temsil eden  $E_i$  değeri hesaplanır. (Menard, L. 1975).

$$E_i = n / \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \frac{1}{E_3} \dots \dots \dots + \frac{1}{E_n} \right) \quad (1.14)$$

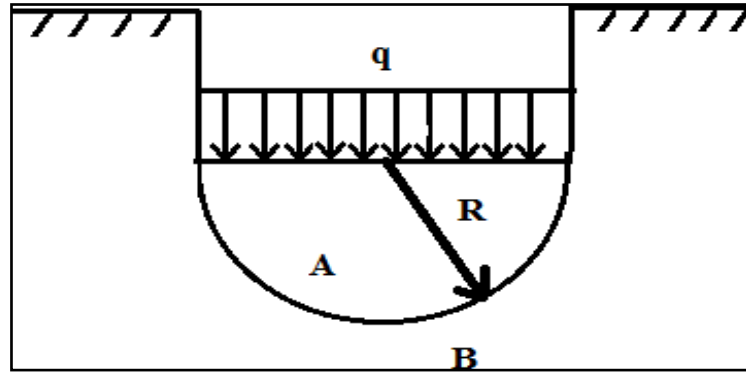
$E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$  = Tabaka içerisindeki presiyometre elastisite modülleri

(A) Küresel gerilme için elastisite modülü ( $E_c$ ), temel hemen altındaki ilk tabakanın presiyometre elastisite modülüne eşittir.  $E_c = E_1$

(B) Deviatorik gerilme alanını karakterize eden eşdeğer elastisite modülü ( $E_d$ ), ise,

$$\frac{1}{E_d} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85 \times E_2} + \frac{1}{E_{3,4,5}} + \frac{1}{2.5 \times E_{6,7,8}} + \frac{1}{2.5 \times E_{9,16}} \right) \quad (1.15)$$

eşitliğinden hesaplanır.



Şekil 1.7 Küresel (A) ve Deviatorik (B) gerilme bölgeleri

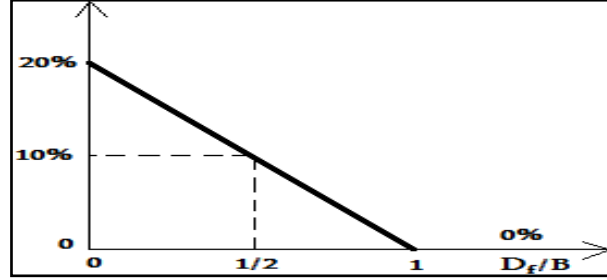
(A) Küresel gerilme alanı

(B) Deviatorik gerilme alanı

Yapısal temellerin geniş olması durumunda presiyometre deneyleri temel yarıçapının 16 katı ( $16R$ ) derinliğe kadar yapılmalıdır. Çeşitli nedenlerden dolayı belirtilen derinliğe kadar

yapılamaması durumunda E3,4,5 - E6,7,8 - E9,16 eşdeğer elastisite modüllerinin üstteki tabakalar göre daha yüksek olduğu kabulü ile teorik olarak E2 değerine eşit olarak kabul edilebilir.

Eğer  $D_f < B$  veya  $D_f = 0$  ise aşağıdaki şekilde oturma hesabı eşitliğinden elde edilen değer  $D_f/B$  oranına



Şekil 1.8 Temel derinliği ve genişliği oranı

Tabloya göre elde edilen oturma değeri ;

$D_f = R$  için; %10

$D_f = 0$  için; %20 (yüzeysel temeller)

oranında arttırılmalıdır.

Eğer yukarıda bahsedilenlerden farklı olarak  $B < B_0$  ise oturma hesaplamaları için aşağıdaki bağıntı kullanılmalıdır. (Menard, L. 1975).

$$S = q^* \cdot \frac{B}{9} \cdot EM(2\lambda\alpha d + \alpha\lambda c) \quad (1.16)$$

#### 1.4 Laboratuvar Çalışmaları

Bu çalışmada, DSİ Genel Müdürlüğü Projelerinden elde edilen Türkiye' nin değişik bölgelerindeki farklı zemin tiplerine ait laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır.

### 1.4.1 Elek analizi

Bu deney, tane çapı dağılımının bulunması için yıkamalı eleme metoduna göre yapılmaktadır. Deney sonuçları ile herhangi bir zeminde, ince kum boyutunda ve daha iri tanelerin tane çapı dağılımı belirlenir. Ayrıca, kil ve siltin toplam miktarı da hesaplanabilir.

Yarılanma veya eyrekleme metodu ile numuneyi temsil edecek miktardaki deney numunesi alınır. Numune  $(105 \pm 10) ^\circ\text{C}$  lik etüvde 24 saat kurutulur ve toplam ağırlığı 0.01 g doğrulukla tartılır. Numune geniş bir tepsi içine serilir ve su ile örtülür. Kullanılan suyun her bir litresi için 2 g sodyum hekzametafosfat ( $\text{NaPO}_3$ ) katılır. Bunun nedeni parçacıkların üzerine yapışan ince malzemelerin yumuşaması içindir. Numune en az 1 saat süreyle ara sıra karıştırılarak su içinde bekletilir.

Tepsi içindeki deney numunesi ve su, yavaş yavaş No 200 (75 mm göz açıklıklı) eleğin üzerine aktarılır. İri tanelerin No 200 eleğe zarar vermemesi için No 200 eleğin üzerine daha büyük göz açıklıklı başka bir elek (No 40 veya No 10 gibi) konularak iri tanelerin bu eleğin altına geçmesi önlenir.

No 200 elekten geçemeyen iri taneler üzerindeki ince malzemelerden temizlenene kadar tel veya benzeri sert bir fira ile firalanır. Temizlenen bu iri taneler yumuşak yapılı ise, temizleme işlemi sırasında kendi yapılarından parça kopmamasına zen gösterilmelidir. Bu işlem elekten geçen su hemen hemen duru olana kadar sürdürülür. No 200 elek üzerinde kalan malzeme tepsi veya porselen potalar içinde  $(105 \pm 10) ^\circ\text{C}$  doğrulukla sıcaklık sağlayabilen etüvde 24 saat kurutulur.

Numune en büyük göz açıklığı en üstte olacak şekilde st üste duran elek serisi üzerine bırakılır ve elekler numunenin düzensiz olarak yuvarlanacak biçimde hareket ettirilir. Eleme, sarsma makinesiyle yapılıyorsa, sarsma süresi en az 10 dakika olmalıdır.

Her elekte kalan malzeme tartılır ve ‘‘Tane apı dağılımı deneyi formu’’ na yazılır. (zaydın, V. 2012).

### 1.4.2 Su içeriği

Bu deney ile zemin numunesinin su miktarı belirlenerek, zeminin kuru birim ağırlığının yzdesi olarak bulunur. Deney kabı ve kapağı iyice temizlenir, kurutulur ve tartılır, W1 olarak kaydedilir.

Su içeriği alınacak numuneden (ince taneli zeminden en az 30 g, orta taneli zeminden en az 300 g ve iri taneli zeminden en az 3 kg) alınır, kabın içine gevşek bir biçimde konularak, kapağı ile birlikte tartılır, W2.

Kabın kapağı açılarak, etüv içine konulur ve  $(105 \pm 10)$  °C sıcaklıkta en az 24 saat veya değişmez ağırlığıa gelene kadar kurutulur (numune jips ise, sıcaklık en fazla 80 C olmalıdır).

Etüv durdurularak, numuneler soğuyuncaya (oda sıcaklığına gelinceye) kadar uygun şekilde odada (ince ve orta taneli zeminlerin içerisine konulduğu kabın kapağı kapatılarak) veya desikatörde bekletilir. Numune soğuduktan sonra, kapağı ile birlikte tartılır, W3.

Deneyden elde edilen değerler “Su içeriği deneyi formu” na yazılır. Zeminin Su içeriği aşağıdaki eşitlikten hesaplanır; (Özaydın, V. 2012).

$$W_n = \frac{W_2 - W_3}{W_3 - W_1} \times 100 \quad (1.17)$$

W1 = Deney kabı ile kapağının ağırlığı (g),

W2 = Deney kabı, kapağı ve yaş numune ağırlığı (g),

W3 = Deney kabı, kapağı ve kuru numune ağırlığı (g)

### 1.4.3 Özgöl ağırlık deneyi

Bu deney ile ince taneli zemin numunesinin bağlı yoğunluğu bulunmaktadır.

500 mL kapasiteli piknometre kurutulur, desikatörde soğutulur ve 0,01 g doğrulukla tartılır, W1. Yarılama metodu ile elde edilen 200 g numune, elekten elenerek alınır ve  $(105 \pm 10)$  °C sıcaklıkta 24 saat kurutulur ve desikatörde veya ağzı kapalı kapta oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Piknometrenin içine 100 g numune (diğer 100 g numune 2. Deney için kullanılacaktır) konularak 0,01 g doğrulukla tartılır, (W2).

Malzemeyi hemen örtecek biçimde damıtık su eklenir. Not - Numunede suda eriyebilen tuzlar var ise, damıtık su yerine gazyağı veya alkol kullanılabilir. Vakum pompası ile piknometre, hava kaçağı olmaksızın plastik tıpa ile hortumlarla birbirine bağlanır. Piknometre çalkalanarak, numuneden hava kabarcıkları çıkışı durana kadar vakum uygulanır.

Piknometrenin boyun kısmında bulunan seviyeye kadar  $(20 + 1)$  °C sıcaklığındaki damıtık su eklenir. Piknometre,  $(20 + 1)$  °C sıcaklığındaki su banyosunun içine daldırılır. Yaklaşık 1 saat süre bekletilir. Piknometrenin işaretli yerinden su seviyesinde artma/azalma olmuş ise, piknometrenin işaretli yerine kadar tekrar damıtık su ile doldurulur ve  $(20 + 1)$  °C sıcaklığındaki su banyosunun içine tekrar daldırılır. Yaklaşık 1 saat süre bekletilir. Bu işleme, piknometrenin işaretli yerinden su seviyesinde artma/azalma olmayana kadar devam edilir. Piknometre banyodan çıkartılarak dış yüzeyi kurulanır ve 0,01 g hassasiyette tartılır, (W3).

Piknometre boşaltılır, temizlenir, damıtık su piknometrenin boyun kısmındaki işaretli yere kadar doldurulur. Piknometre,  $(20+1)$  °C sıcaklığındaki su banyosunun içine daldırılır. Yaklaşık 1 saat süre bekletilir. Piknometrenin işaretli yerinden su seviyesinde artma/azalma olmuş ise, piknometrenin işaretli yerine kadar damıtık su ile doldurulur ve  $(20+1)$  °C sıcaklığındaki su banyosunun içine tekrar daldırılır. Yaklaşık 1 saat süre bekletilir. Bu işleme, piknometrenin işaretli yerinden su seviyesinde artma/azalma olmayana kadar devam edilir. Piknometredeki damıtık suyun sıcaklığı ölçülür. Şişe banyodan çıkartılır, dış yüzeyi kurulanır 0,01 g hassasiyette tartılır, (W4).

Yukarıda anlatılan işlemler 2. zemin numunesine de uygulanır. Zemin bağıl yoğunluğu aşağıdaki eşitlikten hesaplanır; (Özaydın, V. 2012).

$$G_s = G_{20} = \frac{\gamma_L(W_2 - W_1)}{\gamma_w[(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)]} \quad (1.18)$$

$\gamma_L$  = Kullanılan deney sıvısının deney sıcaklığındaki yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>),

$\gamma_w$  = Suyun deney sıvısının sıcaklığındaki yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>),

$W_1$  = Piknometrenin boş olarak ağırlığı (g),

$W_2$  = Piknometre + numune ağırlığı (g),

$W_3$  = Piknometre + numune + su ağırlığı (g),

$W_4$  = Piknometre + su ağırlığı (g)

Bulunan bağıl yoğunluk değerleri arasındaki fark 0,03'ten büyük çıkmışsa, deney tekrarlanır. Aksi takdirde her iki deney ortalaması alınır.

#### 1.4.4 Doğal birim hacim ağırlık deneyi

Bu deney ile düzgün bir geometrik şekle sahip olan veya olmayan zeminlerin parafin yardımı ile tabii birim hacim ağırlığı bulunur. (Özaydın, V. 2012).

Deney numunesi hacmi bilinen geometrik bir şekil (silindir, kare, dikdörtgen, vb.) olarak tıraşlanır ve 0,01 g doğrulukla tartılır, (W).

Deney numunesinin boyutları farklı yerlerden kumpas ile 0,01 mm doğrulukla birkaç kez okunur ve ortalaması alınarak numunenin hacmi hesaplanır (V). Deney numunesinin su içeriği değeri su içeriği deneyi yardımıyla belirlenir (w<sub>n</sub>).

Parafin ağırlığı aşağıdaki eşitlikten bulunur;

$$W_p = W_1 - W \quad (1.19)$$

Parafinin hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$V_p = W_p / \gamma_p \quad (1.20)$$

Burada  $\gamma_p$  parafinin yoğunluğudur ( $0,92 \text{ g/cm}^3$  alınabilir).

Parafinli numunenin hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$V_{pn} = (W_1 - W_2) / \gamma_w \quad (1.21)$$

Burada  $\gamma_w$  damıtık suyun deney esnasındaki sıcaklıkta ki yoğunluğudur. Numunenin hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$V = V_{pn} - V_p \quad (1.22)$$

Tabii birim ağırlık aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\gamma_n = W/V \quad (1.23)$$

Kuru birim hacim ağırlık ise,  $w_n$  su içeriği olmak üzere aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\gamma_k = \gamma_n / (1+w_n) \quad (1.24)$$

#### **1.4.5 Likit limit deneyi**

Bu deney ile açıkta veya etüvde kurutulmuş zeminin likit limiti bulunur. Numunenin deneyden önceki durumu ve kurutma şekli aşağıda belirtilenlerden birisine uymalıdır:

- a) Tabii,
- b) Etüvde kurutma ,
- c) Kurutma yöntemi bilinmiyor şeklinde belirtilerek, birisine uygun olarak 0,425 mm göz açıklığındaki elekten elenir. Genellikle tabii (havada) kurutma şekli seçilmelidir.

Elenmiş numunedan 200 g alınır. Numune karıştırma kabında, üzerine damıtık su eklenerek numunenin homojen bir şekilde macun kıvamına gelmesi sağlanır. Macun kıvamındaki numune hava geçirmez kaba yerleştirilerek 24 saat bekletilir. Daha sonra 10 dakika süreyle karıştırılır. Hazırlanan bu numune likit limit aletinin yarım küre kapağının içine sıvanır. Yüzeyi tabana paralel olarak düzlenir. Oluk açma bıçağı ile kapağa sıvanmış numune iki eşit parçaya bölünür. Düşüş hızı, saniyede iki düşüş olacak şekilde likit limit aletinin kolu çevrilir. Numune üzerine açılan kanalın ortasındaki kapanmanın kanal doğrultusu boyunca 13 mm olduğu andaki düşüş sayısı saptanır. Bu kapanmanın olduğu bölgeden su içeriğinin saptanması için en az 10 g numune alınıp su içeriği bulunur.

Bu işlemler su içeriği artırılarak en az beş defa tekrarlanır. Seçilen başlangıç su ve deney sırasında eklenen su miktarları, elde edilen düşüş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılmasını sağlayacak biçimde ayarlanmalıdır. Her denemeden elde edilen su içeriğine karşı düşüş sayısı yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir. Elde edilen noktalara uyan en uygun doğru çizilir. Akış doğrusu üzerinde 25 düşüş sayı karşısındaki su içeriği zeminin likit limitini (LL) verir. (Özaydın, V. 2012).

#### **1.4.6 Plastik limit deneyi**

Bu deney ile ince taneli zeminlerin plastik kıvamda bulunduğu en düşük su içeriği ölçülür. Likit limit deneyi için hazırlanmış olan numunedan en az 20 g alınır. Alınan numune parmaklara yapışmayacak ve kolayca yuvarlanabilecek homojen duruma getirilir. Numune silindir bir makarna şeklini alıncaya kadar düz bir satıh üzerinde el ayası ile yuvarlanır. Silindirler yaklaşık 3 mm çapına gelinceye (3 mm çapındaki metal çubuk karşılaştırma amacıyla kullanılabilir.) ve yüzeyinde çatlama ve dağılmaların görüldüğü ana kadar bu

işlem sürdürülür. Çatlayıp, dağılan numuneler rutubet kabına konularak su içeriği saptanır. Bu deney en az 2 defa tekrarlanır. Su içeriği değerleri plastik limit değerini verir. Deney kaç defa tekrarlandı ise, bu tekrarların ortalaması alınarak plastik limit değeri (PL), bulunur. (Özaydın, V. 2012).

#### **1.4.7 Plastisite indisi**

Plastisite indisi, Likit limit değerinden, plastik limit değeri çıkarılarak bulunur. Zeminin plastik özellik gösterdiği su muhtevası olarak tanımlanır.

$$PI = LL - PL \quad (1.25)$$

#### **1.4.8 Tek eksenli basınç dayanımı**

Bu deney ince taneli zeminlerin örselenmemiş veya sıkıştırılmış haldeki serbest basma dayanımının bulunması ile ilgilidir. Deney, çapı en az 50 mm, yüksekliği ise, çapının iki katı olan silindir şeklinde, doymuş ve kılcal çatlak içermeyen kohezyonlu deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilmelidir. Zorunlu durumlarda, raporda belirtilmek şartıyla, deney çapı 35 mm olan numuneler üzerinde gerçekleştirilebilir. Bu deney, kumlu zeminler için elverişli değildir.

Yükleme numunede dakikada % (0,5 - 2) arası birim boy kısalması oluşturacak biçimde yapılır. Kuvvet ve boy değiştirme okumaları uygun aralıklarda kaydedilir. Her durumda deney süresi 10 dakikayı geçmemelidir. Deney, numunede kesin göçme (kırılma) elde edilene, en büyük dayanımın belirmediği yumuşak killerde ise, % 20 birim boy kısalmasına kadar sürdürülür. Deney sona erdiğinde numunenin göçme şekli çizilerek, ölçülebiliyorsa, yatayla yaptığı açı bulunur. Numune tekrar tartılarak su içeriği bulunur. (Özaydın, V. 2012).

Tek eksenli basınç dayanımı  $q_u$  (kPa veya kg/cm<sup>2</sup>) aşağıdaki eşitlikten bulunur;

$$q_u = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{A_o}{1-\delta}} = \frac{F}{\frac{A_o}{1-\Delta H/H_o}} = \frac{F}{\frac{A_o}{H_o-\Delta H/H_o}} = \frac{F(H_o-\Delta H)}{A_o H_o} \quad (1.26)$$

F = Numuneye uygulanan kuvvet (kN veya kg)

A = Numuneye uygulanan kuvvet anındaki numunenin kesit alanı (cm<sup>2</sup>),

A<sub>o</sub> = Numunenin başlangıçtaki eksene dik alanı (cm<sup>2</sup>),

Δ = Birim şekil değiştirme (ΔH/H<sub>o</sub>),

H<sub>o</sub> = Numunenin başlangıçtaki uzunluğu (cm),

ΔH = Numunenin alanı A olduğu andaki boy kısalması (cm)

Eşitlikten hesaplanan göçme anındaki en büyük  $q_u$  değeri numunenin serbest basınç değeri olarak alınır.

### 1.5 Regresyon analizleri

Değişkenler arasındaki ilişkiyi incelemek bilimin uğraşlarından birisi olagelmıştır. Çünkü gerek günlük hayatımızda gerekse bilimsel araştırmalarda karşılaştığımız sorunların çoğunluğu iki (veya daha çok) değişken arasında bir ilişki olup olmadığının saptanması ile ilgilidir. İki değişken arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, eğer varsa bu ilişkinin derecesinin saptanması da istatistiksel çözümlenmelerde sık sık karşılaşılan bir sorundur. Değişkenler arasındaki ilişkinin incelenmesinde regresyon ilk akla gelen tekniktir. İstatistiksel anlamda iki değişken arasındaki ilişki, bunların değerlerinin karşılıklı değişimleri arasında bir bağıllık şeklinde anlaşılır. Gerçekten X değişkeninin değerleri değişirken buna bağlı olarak Y değişkeninin değerleri de değişiyorsa, bu ikisi arasında bir ilişki bulunduğu söylenebilir.

Regresyonda, amaçlardan biri bağımlı değişkenle bağımsız değişken(ler) arasındaki ilişkilerin ortaya çıkarılmasıdır. Örneğin Y ile X arasında  $Y_i = a + \beta X_i + \epsilon_i$  (  $i=1,2,3,\dots$  )

gibi doğrusal bir ilişki öngörülüyorsa ilk adım modelin bilinmeyen a ve b parametrelerinin tahmin edilmesidir. Modelin bilinmeyen parametreleri tahmin edildiğinde bağımsız değişken(ler)'in farklı değerleri için bağımlı değişkenin alacağı değeri tahmin etmek regresyonda bir diğer amaçtır. Bağımsız değişken(ler)'in her farklı değer(ler)'i için bağımlı değişkenin değeri sabit ise ortada araştırılacak bir problem yoktur. Hem regresyonda hem de varyans çözümlemesinde bağımlı değişken en az eşit aralıklı düzeyde ölçülür. Regresyonda, bazı özel durumlar dışında, bağımsız değişken(ler) de en az eşit aralıklı düzeyde ölçülmelidir. Varyans çözümlemesinde ise bağımlı değişken yine en az eşit aralıklı düzeyde ölçülürken bağımsız değişken(ler) sınıflama ya da sıralama ölçme düzeyinde ölçülür. Bu nedenle regresyon ve varyans çözümlemesinde amaç aynı olmakla beraber hangisinin kullanılacağı bağımsız değişken(ler)in ölçme düzeyine bağlıdır.

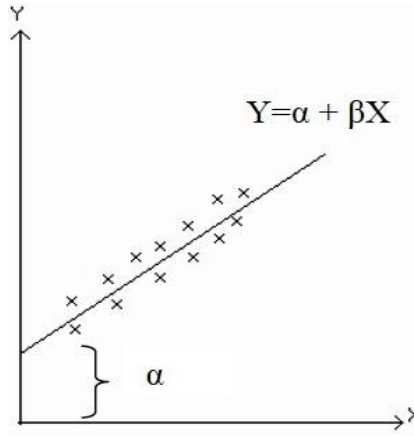
### **1.5.1 Basit (tekli) regresyon analizi**

Birçok istatistiksel çalışmada olduğu gibi regresyon analizinde de ana kütle verilerinin tümü yerine bu ana kütlede seçilen örnek verileri ile analiz yapılır. Daha sonra elde edilen sonuçlar ana kütledeki ilişkinin tahmininde kullanılır. Bilindiği gibi, ana kütle birimi sayısı çok fazla olduğundan, zamandan ve araştırma masraflarından tasarruf amacıyla tüm ana kütle birimleri yerine, bu ana kütlelerden tesadüfi olarak belirli sayıda birim (n) seçilerek istatistik analizler yapılır. Ana kütle ve örnek verileriyle yapılan istatistik araştırmalarda tekniklerinin uygulanmasında farklılık yoktur. Ancak teknikler uygulandıktan sonra örnekleme teorisinden yararlanılarak ana kütle parametrelerinin testleri ve tahminleri yapılır. Regresyon analizinde de uygulama aynı şekilde olmaktadır. Büyük harfler ana kütle, küçük harfler ise örneğe ait verileri ve istatistik ölçüleri göstermekte kullanılmaktadır.

Basit doğrusal regresyon analizi, Y bağımlı değişkeninin tek bir bağımsız (açıklayıcı) değişken X ile arasındaki ilişkinin doğrusal fonksiyonla ifade edilmesine dayanmaktadır. Basit doğrusal regresyon modeli, tek bir serbest değişken içeren;

$$Y_i = a + \beta X_i + \epsilon_i \quad (1.27)$$

modelidir. Bu modelin  $a$  ve  $b$  parametrelerini bulmak için  $X$  serbest değişkeni,  $Y$  bağlı değişkeni ve  $e$  hata terimi ile ilgili gözlemlere gerek duyulur. Ana kütle içinde birer  $\alpha$  ve  $\beta$  değeri varken, bu ana kütlede çekilen her bir örneklem için ayrı birer  $\alpha$  ve  $\beta$  elde edilmektedir. İşte bu  $\alpha$  ve  $\beta$  normal bölünmeye sahip olup beklenen değerleri sırasıyla  $\alpha$  ve  $\beta$  dir. Uygulamada tek bir örneklem alınmakta ve bu örneklem yardımıyla ana kütle parametreleri tahmin edilmektedir.  $\alpha$  doğrusal fonksiyonun sabitidir.  $X=0$  olduğunda regresyon doğrusunun dikey eksen olan  $Y$  ile kesiştiği noktayı göstermektedir.  $\beta$  ( $\beta_{yx}$  ile de gösterilebilir), ise doğrusal fonksiyonun eğimidir. Regresyon analizinde bağımsız değişken  $X$  deki bir birimlik değişmenin bağımlı değişken  $Y$ 'de ( $Y$  cinsinden) ne kadarlık bir değişime yarattığını gösteren regresyon katsayısıdır. Fonksiyon tipinin belirlenmesi için regresyon analizine serpilme diyagramı çizilerek başlanır. Aşağıdaki serpilme diyagramında gözlem noktalarının dağılımının doğrusal bir eğilimde olduğu açıkça görülmektedir (Şekil 1.9).



**Şekil 1.9** Basit doğrusal regresyon doğrusu

$\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin gösterdiği grafikte regresyon doğrusunun eğiminin pozitif olduğu anlaşılmaktadır.  $\beta$  'nın işareti iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü göstermektedir. Her iki değişken birlikte artıyor veya azalıyor  $\beta$  'nın işareti pozitif (+), değişkenlerden biri artarken diğeri azalıyor  $\beta$  'nın işareti negatif (-) olacaktır.  $\beta$  'nın sıfır (0) olması ise iki değişkenin arasında bir ilişki olmadığını göstermektedir. Sıfır (0) dan farklılık ise iki değişken arasında belirli bir ilişkinin varlığını ifade etmektedir. Regresyon katsayısının alt

sınırı (0) vardır, ancak belirli bir üst sınırı yoktur. Bu nedenle regresyon doğrusuna bakarak ilişkinin gücü hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir.

Regresyon modeline açıkça dahil edilemeyen diğer değişkenleri temsil etmek üzere  $Y_i = a + \beta X_i + \epsilon_i$  modelinde yer verilen  $\epsilon$  hata terimini gözlemek hiçbir zaman mümkün olmaz. Dolayısıyla  $\epsilon$  hata terimi hakkında aşağıda değineceğimiz bazı varsayımları yapmak zorunlu hale gelir. “Y ve X arasındaki gerçek ilişki” ;  $Y = a + \beta X_i + \epsilon$  iken “gerçek regresyon doğrusu” :  $E(Y_i) = \alpha + \beta X_i$  eşitliğidir.

Öte yandan, “Tahmin edilen ilişki”;

$$\hat{Y} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} X_i + e_i \quad (1.28)$$

şeklinde gösterilmektedir.

Tahmin edilen regresyon doğrusu ise şudur:

$$\hat{Y}_i = \hat{\alpha} + \hat{\beta} x_i \quad (1.29)$$

Yukarıdaki eşitliklerde ;

$Y_i$  : Y değişkeninin gözlenen değerini,

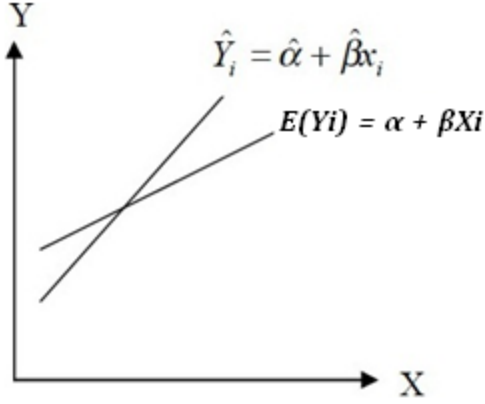
$\hat{Y}_i$  : X değişkeninin belli bir değeri veri iken Y değişkeninin tahmin edilen değerini,

$\hat{\alpha}$  :  $\alpha$  gerçek kesim noktasının tahminini,

$\hat{\beta}$  :  $\beta$  gerçek parametresinin tahminini,

E :  $\epsilon$  hata teriminin gerçek değerinin tahminini ifade eder.

Gerçek ve tahmin edilen regresyon doğruları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir; (Şekil 1.10)



Şekil 1.10 Gerçek ve tahmin edilen regresyon doğruları

### 1.6 Genetik Algoritma

Genetik algoritma (GA) rastlantısal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir (Goldberg, 1989).

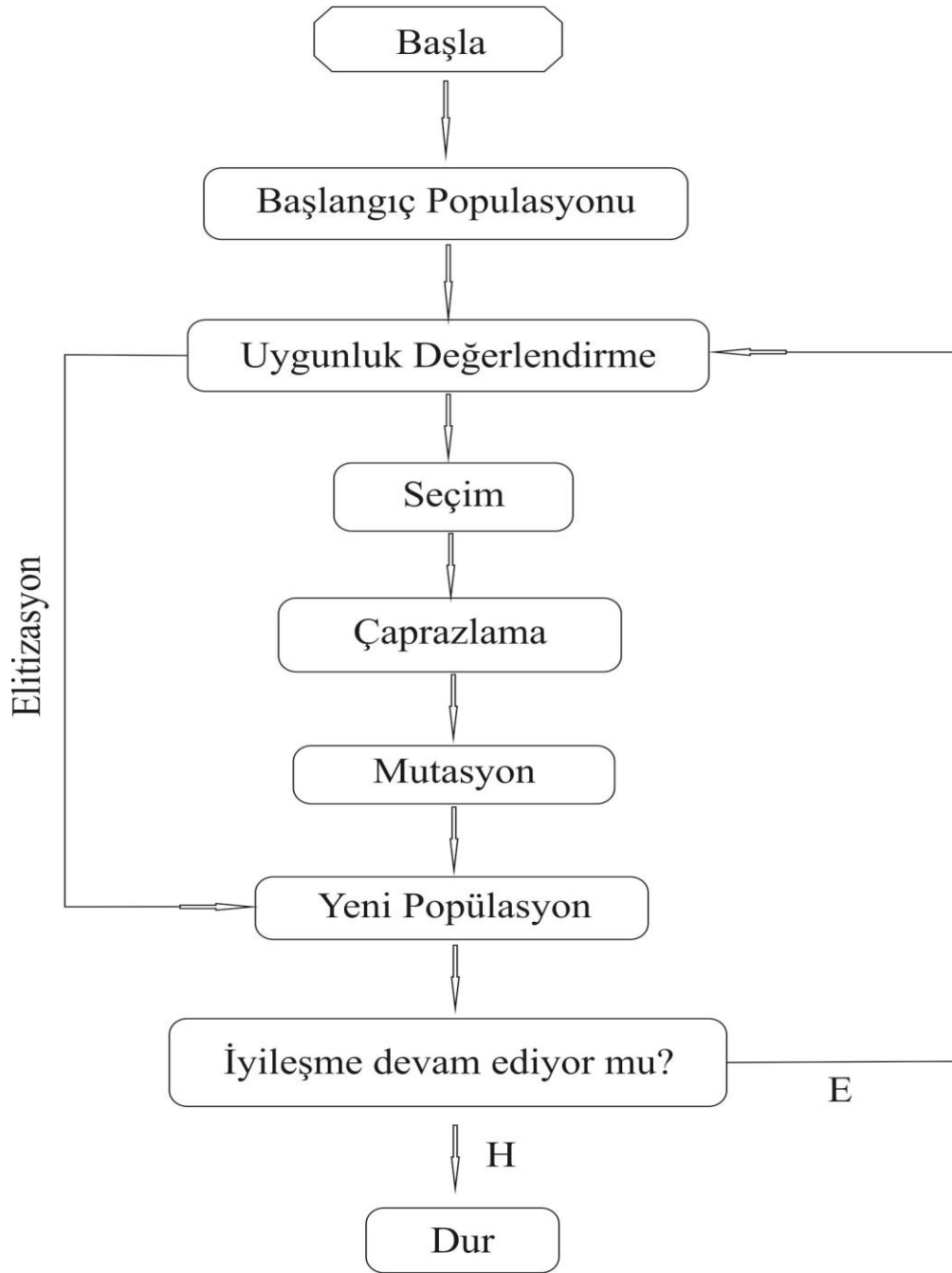
Genetik algoritmalar, doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alır ve iyi nesillerin kendi yaşamlarını muhafaza edip, kötü nesillerin yok olması prensibine dayanır. Matematiksel modellemenin yapılamadığı veya kesin çözümün olmadığı problemlerde genetik algoritmadan yararlanır. Bu algoritma, anne ve baba bireyden (bir önceki nesil) doğan yeni çocuk bireylerin şartlara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmesine dayanır. Yeni bireyler, anne ve babasından gelen iyi genleri bünyelerinde muhafaza edebileceği gibi kötü genleri de almış olabilir. Bu durumda kötü genlere sahip çocuk bireyler varlıklarını sürdürmeyecektir. Genetik algoritmalar doğadaki en iyinin yaşamasını gerektirmekte ve bunu belirleyen uygunluk (fitness) işlevi, yeni çözümler üretmek için çaprazlama, kopyalama ve değiştirme gibi operatörleri kullanır. Genetik algoritmanın önemli özelliklerinden birisi de bir grup üzerinde çözümü araması ve bu sayede çok sayıda çözümün içinden en iyiyi seçmesidir (Biroğul, 2005).

Genetik algoritma geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Çok genel anlamda genetik algoritmanın üç uygulama alanı bulunmaktadır. Bunlar deneysel çalışmalarda optimizasyon, pratik genetik algoritma endüstriyel uygulamalar ve sınıflandırma sistemleridir (Gathercole ve Ross, 1997). Genetik

algoritmalar, birden fazla (popülasyon büyüklüğü kadar) çözüm üzerinde çalışırlar (Şerifoğlu vd. 2000) . Çözümler, problemin yapısına uygun bir şekilde kodlanmış kromozomlar tarafından temsil edilirler. Genetik algoritma, bireylerin bir başlangıç popülasyonunu alarak ve her yeniden üretimde genetik operatörleri kullanarak bu prosesleri simüle eder. Optimizasyon açısından, popülasyondaki her birey, verilen problemde olası çözümü gösteren bir dizi veya kromozoma kodlanır. Bir bireyin uyumu, verilen amaç fonksiyonuna göre değerlendirilir. Uyum fonksiyonu, kromozomların ifade ettikleri çözümlerin ne derece iyi olduğunu ifade eder. Yüksek uyum gösteren bireyler veya çözümler, çaprazlama prosedüründe diğer yüksek uyumlu bireylerle, genetik bilgilerindeki parçaları değiştirerek yeniden üretilme fırsatını bulurlar. Bu da ebeveynlerin her ikisinden de alınan bazı karakterleri paylasan yeni çocuk çözümler üretir. Mutasyon çoğu zaman dizilerdeki bazı genleri değiştirerek çaprazlamadan sonra uygulanır. Çocuk, bütün popülasyonu değiştirmekle elde edilebileceği gibi, az uyumlu özelliklerin değişmesiyle de oluşabilir. Bu, çevrim-seçim-yeniden üretim döngüsü, istenen sayıda kuşak yaratılana veya başka bir durma kriteri doğrulanana kadar tekrarlanır ve oluşturulan en iyi çözüm problemin çözümü olarak alınır. Genetik algoritmaların genel akış seması Sekil 1.5’de gösterilmiştir.

Genetik algoritmayı diğer arama tekniklerinden farklı kılan özellikleri şöyledir (Goldberg, 1989):

- Genetik algoritmanın arama alanı, yığının veya popülasyonun tamamıdır; tek nokta veya noktalarda arama yapmaz,
- Genetik algoritma, parametrelerin kendileri ile doğrudan ilgilenmez, parametre setlerinin kodları ile ilgilenir,
- Genetik algoritmalarda amaç fonksiyonu kullanılır, sapma değerleri veya diğer hata faktörleri kullanılmaz,
- Genetik algoritmaların uygulanmasında kullanılan operatörler stokastik yöntemlere dayanır, deterministik yöntemler kullanılmaz.



**Şekil 1.11** Genetik algoritma genel akış şeması

**Adım 1.** Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur (çözüm grubu, biyolojideki benzerliği nedeniyle, toplum (population), çözümlerin kodları (string) da kromozom olarak adlandırılır).

Bu adıma toplumda bulunacak birey sayısını belirleyerek başlanmaktadır. Kullanılacak sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100-300 aralığında bir büyüklüktür. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Toplum bu işlemten sonra rasgele oluşturulur. Kromozomun temsil ettiği çözüm hakkında bilgiyi herhangi bir yolla içermesi gerekir. En çok kullanılan kodlama ikili stringtir.

**Çizelge 1.12** İkili kodlama

Kromozom 1	1101100100110110
Kromozom 2	1101111000011110

Her kromozom bir ikili stringe sahiptir. Bu stringteki her bit çözümün belli karakteristiğini temsil eder veya tüm string bir sayıyı temsil eder. Tabiki bir çok kodlama yolu vardır. Bu daha çok çözülen probleme bağlıdır. Mesela tam sayı veya reel sayı olarak kodlanabilir, bazen de bazı permutasyonları kodlamak kullanışlı olabilir.

Permutasyon kodlama düzenleme problemlerinde kullanılır. Satıcı gezici problemi veya sipariş probleminde. Burada her kromozom sayıları bir sırada temsil eden bir sayılar stringidir

**Çizelge 1.13** Permutasyon kodlamalı kromozom örnekleri

Kromozom A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Kromozom B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

Permutasyon kodlama sadece sipariş problemleri için kullanışlıdır.

Değer kodlama reel sayılar gibi komplike değerlerin kullanıldığı problemlerde doğrudan değer kodlanması kullanılabilir. Bu tip problemler için ikili kodlama işi çok zordur.

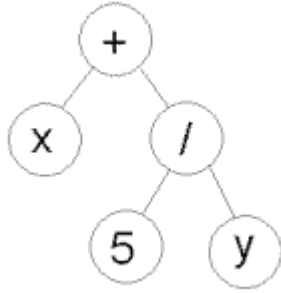
**Çizelge 1.14** Değer kodlamalı kromozom örnekleri

Chromosome A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Chromosome B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Chromosome C	(back), (back), (right), (forward), (left)

Bu bazı özel problemler için çok iyidir. Diğer taraftan bu tip kodlama için probleme özel yeni bazı mutasyon ve çaprazlamalar geliştirmek lazımdır.

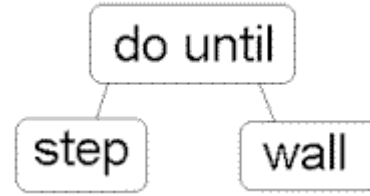
Ağaç kodlamada, gelişen değişen programlar veya ifadeler için kullanılır (Genetik programlama). Ağaç kodlamada her kromozom bazı nesnelerin, mesela fonksiyonlar ya da programlama dilindeki komutlar gibidir.

Kromozom A



( + x ( / 5 y ) )

Kromozom B



( do\_until step wall )

**Şekil 1.12** Ağaç kodlamalı kromozomlar örneği

**Adım 2.** Her kromozomun ne kadar iyi olduğu bulunur.

Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon işletilerek kromozomların uygunluklarının bulunmasına ise hesaplama (evaluation) adı verilir. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır.

Genetik algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Uygunluk fonksiyonu kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir (decoding), sonra bu parametrelere göre hesaplamayı yaparak kromozomların uygunluğunu bulur. Çoğu zaman genetik algoritmanın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

**Adım 3.** Bu kromozomlar eşlenerek (mating), yeniden kopyalama (recombination) ve değiştirme (crossover) operatörleri uygulanır. Bu sayede yeni bir toplum oluşturulur.

Kromozomların eşlenmesi kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerleği seçimi (roulette wheel selection) , turnuva seçimi (Tournament Selection) gibi seçme yöntemleri vardır. Örnek olarak bu çalışmada kullanılan rulet tekerleği seçimi aşağıda açıklanmıştır.

- 1- Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloya yazılır.
- 2- Bu değerler toplanır.
- 3- Tüm bireylerin uygunluk değerleri toplama bölünerek  $[0,1]$  aralığında sayılar elde edilir. Bu sayılar bireylerin seçilme olasılıklarıdır. Sayıların hepsi bir çizelgede tutulur.
- 4- Seçilme olasılıklarını tuttuğumuz sayılar birbirine eklenerek rasgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığında yada geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu çözüm seçilmiş olur.

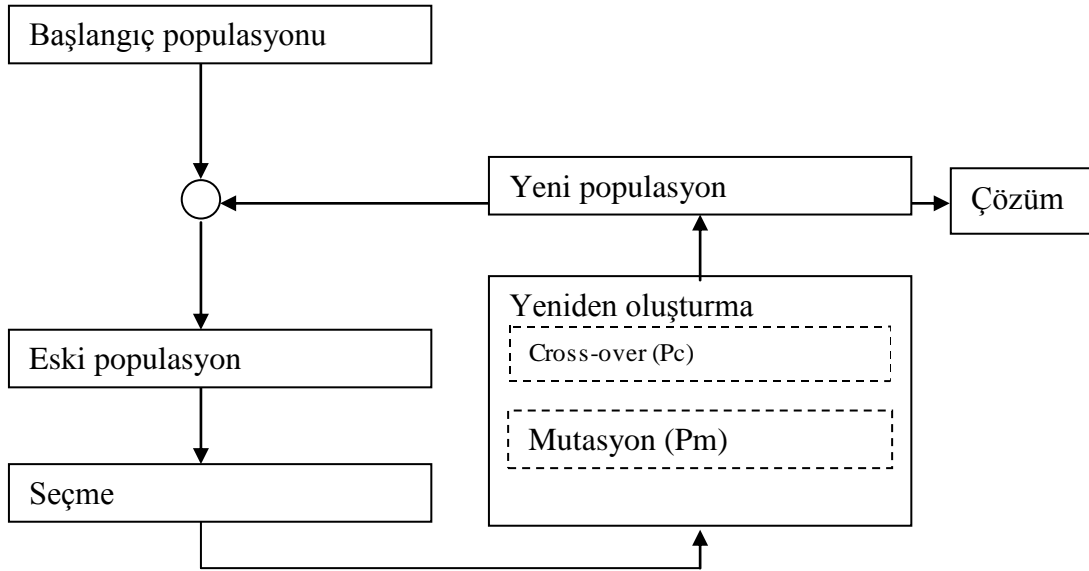
Rulet tekerleği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin negatif olmamasını gerektirir. Çünkü olasılıklar negatif olursa bu çözümlerin seçilme şansı yoktur. Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesiller belli noktalara takılıp kalabilir.

**Adım 4.** Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır. Eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir toplum sağlanır.

**Adım 5.** Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır. Tüm kromozomlar yeniden hesaplanarak yeni toplumunun başarısı bulunur.

**Adım 6.** Eğer jenerasyon süresi dolmamışsa 3. adıma gidilir. Genetik algoritma defalarca çalıştırılarak çok sayıda toplum oluşturulup hesaplanır.

**Adım 7.** O ana kadar bulunmuş en iyi kromozom sonuçtur. Toplumların hesaplanması sırasında en iyi bireyler saklandığı için o ana kadar bulunmuş en iyi sonuç çözümdür. Genetik algoritmanın temel diyagramı aşağıda verilmiştir (Şekil 1.13)



**Şekil 1.13** Genetik algoritmanın temeli

## **1.6.1 Genetik algoritma operatörleri**

Temel bir genetik algoritmanın çalışabilmesi için belli operatörlere ihtiyaç vardır. Bu operatörler belirlenirken probleme uygunluğu gözetilmelidir. Seçim stratejisi, çoğalma operatörleri, kromozom, sonlandırma kriteri ve değerlendirme fonksiyonu temel kavramlardır.

### **1.6.1.1 Kromozom**

Problemin muhtemel çözümünün bir dizi parametre ile temsil edildiği ilkesine uygun olarak öncelikle parametre sayısının belirlenmesi gerekir. Parametreler gen olarak anılırlar ve birleşerek kromozomları oluştururlar. Kromozomların gösteriminde belirli bir alfabe kullanılır. Bu alfabe sembollerden, iki tabanlı sayılar olan  $\{0,1\}$ 'den, tamsayılardan, gerçel sayılardan ve matrislerden oluşabilir. Genetik algoritmanın yaygınlaşmaya başladığı ilk zamanlarda, parametre değerleri için iki tabanlı gösterim daha uygun görülüp yaygın olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, fonksiyon optimizasyonunda, kromozomların iki tabanlı gösterime kıyasla gerçel sayılarla ifade edilmesi daha verimlidir. Gen bilimi terminolojisinde, belirli bir kromozomun gen içeriğine genotip adı verilir. Genotip bir organizmayı teşkil etmekte gerekli olan bilgiyi içerir. Teşkil edilmiş görüntüye de fenotip denir. Aynı terimler genetik algoritmalar için de kullanılabilir. Örneğin bir tasarımda, belirli bir tasarımı temsil eden parametreler genotipi oluştururken gerçekleştirilen tasarım fenotip olur. Kromozom uygunluk değeri ise, fenotipin başarımına dayanır. Bu da uygunluk fonksiyonu kullanılmak suretiyle kromozomdan hesaplanabilir (Michalewicz, 1994).

### **1.6.1.2 Seleksiyon**

Yeniden üretme operatörü, hazır topluluktan uygun olan bireylerin seçilmesi ve bunların sonraki topluluğa kopyalanarak hayatta kalmalarıyla ilgilidir. Seçim modeli, tabiatın hayatta kalabilmek için uygunluk mekanizması modelidir. Yeniden üretme işleminde, bireyler onların uygunluk fonksiyonlarına göre kopya edilirler. Uygunluk fonksiyonu, mümkün olduğu kadar yükseltilmesi gereken bazı faydalı ve iyi ölçülerdir. Topluluk

uzayındaki her bir bireyin uygunlukları baz alınarak ne kadar sayıda kopyasının olacağına karar verilir. En iyi bireylerden daha fazla kopya alınır. En kötü bireylerden kopya alınmaz. Bu hayatta kalmak için uygunluk stratejisinin genetik algoritmaya sağladığı avantajdır.

### 1.6.1.3 Çaprazlama

Amaç, ana (parent) kromozom genlerinin yerini değiştirerek çocuk (child) kromozomlar üretmek ve böylece varolan uygunluk değeri yüksek olan kromozomlardan, uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir.

Burada önemli olan bir konuda, çaprazlama noktasının çaprazlamadan elde edilecek çocuk kromozomların uygunluk değerleri üzerindeki etkisidir. Bu işlem yapılırken her zaman sonuçlar önceden tahmin edilemez. Bu yüzden gelişmiş güzel yapılan değişikliklerde sonucun mükemmelliğe doğru gitmesi için belirli kriterler bulmak için çalışılır. Kromozomlardaki genlerin yapısı ve etkileri araştırılarak, bu genlere yapılan müdahalelerle bireye bazı iyi özellikler kazandırılabilir. Çaprazlamadan elde edilecek çocuk kromozomların uygunluk değeri bir önceki ana kromozomlardan daha yüksek olmayabilir.

Çizelge 1.15’ de çaprazlamaya bir örnek verilmiştir.

**Çizelge 1.15** Çaprazlama örneği

AA	BB	aa	bb
AABB		aabb	

Benzer şekilde genetik algoritma, çaprazlama işlemini uygunluk değerlerine göre seçilmiş iki ebeveyn bireyden, iyi özellikte yeni bireyler elde etmek için kullanır. Çaprazlama rasgele seçilmiş iki çift katarın içindeki alt küme bilgilerin değiştirilmesi işlemidir. Kendi içindeki bilgilerini 1. Pozisyondan itibaren, katarın uzunluğunun bir eksik pozisyonuna kadar, aradaki bilgi kısmen karşılıklı bireyler arasında yer değiştirilir.

Eğer iki bireyin problemin çözümünde bazı etkileri var ise onların bir parçaları faydalı, iyi veya uygun nitelenebilecek bilgi taşımaktadır. Çaprazlama belki problemin çözümünde, bu

faydalı bilgileri birleştirerek, daha çok etkili yeni bireyler üretecektir. Tablo 1.6' da ikili kodda verilmiş bir katarıda, örnek 2 bitlik bir çaprazlama işlemi verilmiştir.

**Çizelge 1.16** İki bitlik çaprazlama örneği

1.	<i>100110/00</i>	1.	<i>10011001</i>
2.	<i>110111/01</i>	2.	<i>11011100</i>

Çaprazlamadan başka tersinme denilen bir üreme yöntemi daha vardır. Holland bunu tanımlayarak kromozom uzunluğu çok olan bireylerde çaprazlama yerine bunun kullanılmasını performans açısından önermiştir. Tersinme (inversion) bir kromozomu oluşturan genlerden ardışık bir grubun kendi içerisinde birbirleriyle yer değiştirerek ters dizilmeleridir. Örneğin: 011110101 kromozomu (her genin bir bit olduğu varsayımı ile) 5.ve 8. Gen kromozomları arasında tersindiğinde ortaya 011101011 kromozomu çıkar. Tersinme genellikle kromozom uzunluğu fazla olan populasyonlara uygulanır.

#### **1.6.1.4 Mutasyon**

Amaç, varolan bir kromozomun genlerinin bir ya da birkaçının yerlerini değiştirerek yeni kromozom oluşturmaktır. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirlerini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda farklı kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. İşte bu nedenle nesildeki kromozomlarının çeşitliliğini artırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğratılır. Açıklandığı gibi mutasyonun birinci maksadı bir populasyonun içindeki değişimi tanımlamaktır. Mutasyon populasyonlarda çok önemlidir. Öyle ki burada ilk populasyon mümkün olan tüm alt çözümlerin küçük bir alt kümesi olabilir ve ilk populasyondaki tüm kromozomların önemli biti sıfır olabilir. Halbuki o bitin problemin çözümü için 1 olması gerekebilir ve bunu da çaprazlama düzeltemeyebilir. Bu durumda o bit için mutasyon kaçınılmazdır. Genellikle önerilen mutasyon oranı 0.005/bit/generasyondur. Bu işlem çaprazlamadan sonra gelir. Mutasyonun yapılıp yapılmayacağını bir olasılık testi belirler. Örneğin yeni neslin ortalama uygunluğu  $\leq$  Eski neslin ortalama uygunluğu ise; x.

Kromozomun y. Bitini değiştir denilebilir. Bu yeni çocuğu rast gele değiştirir. İekli kodlama için rast gele seçilmiş bitlerden 0'lar 1, 1'ler 0 yapılır.

Tablo 1.7.' de bit katarında hazırlanmış bir mutasyon operatörünü göstermektedir.

**Çizelge 1.17** Mutasyon operatörü

Orijinal ocuk 1	1101111000011110
Orijinal ocuk 2	1101100100110110
Mutasyonlu ocuk 1	1100111000011110
Mutasyonlu ocuk 2	1101101100110100

## BÖLÜM II

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Presiyometre ile ilgili ilk belgelenmiş kanıtlar Kogler, 1933' e aittir. 1954 yılında, Ilionis Üniversitesi' nden Louis Menard, ilk presiyometre geliştirmelerine başlamıştır. Menard tarafından geliştirilen araç 1955 yılında patenti alınarak Menard presiyometresi olarak tanınmıştır. Bu cihaz zemin özelliklerini elde etmek için sadece bir enstruman olarak kalmamış, uluslararası bir standart haline gelmiştir. İlk cihazın probu çok büyük çaplı olup pratiklik arz etmesi amacıyla, Menard tarafından 1955 yılında geliştirilip probun her türlü temel tasarımında kullanılmasını sağlanmıştır.

(Jezequel ve ark.,) 1968 yılında o basit boşluğunda genişleme kuramlarını kullanarak yerinde, zemin özelliklerini değiştirmeden temel tasarımında kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir. Bu olay Fransa ve İngiltere'de presiyometrenin gelişmesini sağlamıştır.

Sığ temeller, kazık temeller, dubalar, taşıma kapasitesi ve yerleşim alanlarını kapsayan Tasarım kuralları, Menard Teknikleri tarafından 1960 yılında geliştirilen, 1971 yılında "Laboratoire Central Des Ponts et Chaussees" tarafından standart olarak üretilen presiyometre için öneriler ve yöntemler, Setra, (1985) tarafından yayımlanmıştır.

Presiyometreye adanmış üç uluslararası konferans olmuştur. İlk ikisi 1982 yılında Paris'te ve 1986 yılında Teksas' da üçüncüsü ise presiyometre ve deniz uygulamaları ile ilgili, 1990 yılında Oxford' da yapılmıştır. Presiyometre testi tüm yönleriyle ele alınarak yeni bir konferans önerilmiştir.

Presiyometre deneyi in-situ (yerinde) yapılan bir deneydir. Herhangi bir sondaj kuyusunda silindirik bir prob yardımıyla zeminin radyal olarak genişletilerek yenilmesi esasına dayanır. Kuyu içi yanal yükleme deneylerinin bir türü olan presiyometre deneyi geniş uygulama alanıyla birçok jeoteknik problemin çözümünde kullanılır.

Ülkemizde ilk presiometre deneyi DSİ tarafından 1969 yılında Menard firmasından alınan GA tipi cihazla yapılmıştır.

Genetik algoritmada Evrimsel hesaplama ise 1960'larda I. Rechenberg'in Evrim Stratejileri ("Evolutionsstrategie") adlı çalışmasında tanıtılmıştır. (Quagliarella vd., 1997) Rechenberg'in çalışması daha sonra başka araştırmacıların da ilgisini çeker ve araştırmalar bilgisayarla bütünleşik çözümler bulma üzerine yoğunlaşır. Genetik algoritma böylece John Holland tarafından bulunur. Onun öğrencileri ve arkadaşları tarafından da geliştirilir. Holland 'ın kitabı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adaption in Natural and Artificial Systems)" 1975 yılında yayınlanır. (Roggen, 2005) Holland ve arkadaşları çalışmalarını iki amaçta toplamışlardır;

- Doğal sistemlerin uygun proseslerini açıklamak,
- Doğal sistemlerin mekaniğini elinde tutan yapay sistemler yazılımını tasarlamak.

Luis (1993)'in belirttiğine göre ilk defa 1960'larda John Holland tarafından ortaya atılan; kendisi, öğrencileri ve meslektaşları tarafından geliştirilen genetik algoritmalar, mühendislik dünyasında birçok alanda genişçe işlenmiş, deneyleri yapılmış ve uygulanmıştır (Çetin, 2002). Holland 'ın asıl amacı, adaptasyon olgusunu tabiatta meydana geldiği sekliyle resmi olarak incelemek ve özel problemleri çözmek için algoritmalar düzenlemek yerine, doğal adaptasyon mekanizmalarının bilgisayar sistemlerine aktarılabilceği yollar geliştirmektir (Tanrıseven, 2000), Luis (1993)'ün belirttiğine göre 1992'de, John Koza genetik algoritmayı, verilen bazı görevleri gerçekleştirecek programlar geliştirmek için kullandı. Koza, bu yöntem genetik programlama ("Genetic Programming" - GP) adını vermiştir (Çetin, 2002). Sonraki yıllarda araştırmalar devam etmiş ve genetik algoritmalar çözüm alternatifleri üstel olarak artan problemlerde başarı ile uygulanmıştır. Günümüzde genetik algoritmalar güçlü arama algoritmaları olarak kendilerini ispatlamıştır. Genetik algoritmaların asıl etkisi, çok çeşitli problemlerde başarıyla uygulanabilmesinden kaynaklanmaktadır.

## 2.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Zeminlerde proje tasarımında kullanılan taşıma gücü değeri, bir çok yöntemle hesaplanmakla birlikte, bir in-situ deney olan presiyometre deneyi sonuçları kullanılarak da hesaplanmaktadır.

Bu deneyde proje sahasında belli yükün bineceği bölgelerde kademeli sondajlar açılarak her kademede zemini yeninceye kadar (yenilmeyen zeminlerde belli basınç seviyelerine kadar) radyal basınç uygulanarak yapılan deney sonuçlarının işlenmesi ve temel şekline ve boyutlarına bağlı olarak hangi derinlikte bir temel planlanıyorsa o derinlik için taşıma gücü ve oturma hesaplanması esasına dayanmaktadır.

Bu deneyin her bir kademesi yaklaşık 25-30 dk sürmektedir, dolayısıyla sorunsuz olarak devam eden 30 mt' lik bir kuyuda yaklaşık 15 kademe olduğunu düşünürsek yaklaşık 6 saat sürmektedir. Bu değer kuyu sayısı ne kadar çok ise o kadar artmaktadır. Ancak sonuçlarda o derece güvenli olmaktadır.

Presiyometre deneyi in-situ (yerinde) yapılan bir deney olduğu için ve deney yaparken kaybedilen zaman ve emek düşünüldüğünde, araziden alınan numunelerden laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar basit regresyon analizi ve genetik algoritma kullanarak bilgisayar yazılımları yardımıyla taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## BÖLÜM III

### MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Materyal

Bu çalışmada ülkemizin değişik bölgelerindeki Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü' nün baraj, gölet vb. projelerinden alınan 160 farklı zemin tipine ait laboratuvar deney sonuçları ve aynı projelerdeki presiyometre deney sonuçları materyal olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Ayrıca 32 adet tek eksenli basınç dayanımı sonucu ve presiyometre deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü sonuçları materyal olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1** Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü projelerinden alınan laboratuvar deneyi ve presiyometre deney sonuçları

Örnek No	Çakıl Yüzdəsi	Kum Yüzdəsi	İnce Malzeme Yüzdəsi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgöl Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	3.7	96.3	52.1	27.7	24.4	2.71	21.5	20.96	2.13
2	6	12.1	81.9	34.1	22.3	11.8	2.72	19.3	20.42	2.15
3	5	12.6	82.4	42.6	22.7	19.9	2.71	16.3	21.07	2.61
4	4	78.5	17.5	29.3	19.2	10.1	2.74	12.9	21.19	4.21
5	0	0.3	99.7	52.6	26.3	26.3	2.77	27.9	19.19	2.68
6	8	35.2	56.8	34.7	21.1	13.6	2.71	24.1	18.84	2.38
7	0	2.1	97.9	40.5	23.2	17.3	2.72	26.6	19.33	2.55
8	8	4.5	87.5	47.6	22.6	25	2.75	17.4	20.55	2.82
9	11	12.3	76.7	28.5	20.4	8.1	2.72	22.4	18.64	4.1
10	15	19.2	65.8	28.3	17.8	10.5	2.53	29.7	18.71	4.5
11	0	0.2	99.8	55.1	30	25.1	2.78	37.3	18.72	3.4
12	8	11	81	44.9	23.3	21.6	2.68	18.8	16.94	5.5
13	5	20	75	43.6	23.4	20.2	2.68	17.8	17.5	3.8
14	6	14	80	37.6	21.7	15.9	2.67	19.3	17.98	4.5
15	10	11	79	45.3	21.9	23.4	2.68	19	17.81	3.7
16	15	14	71	42.4	22.2	20.2	2.68	20.9	18.15	5.5
17	14	15	71	40.6	21.9	18.7	2.67	19.7	18.2	4.2
18	0	20	80	61.9	26.1	35.8	2.71	22.7	18.42	2.3
19	4	7	89	39.3	21.1	18.2	2.68	18.2	18.25	6.5
20	7	15	78	48	23.8	24.2	2.69	20.6	17.97	3.3
21	0	27	73	50.9	24.2	26.7	2.69	21.9	18.28	5.4
22	8	13	79	38.4	21.6	16.8	2.67	19.1	18.46	4.5

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
24	6	14	80	37.4	22.3	15.1	2.67	19.7	18.55	6.5
25	3	14	83	50.9	24.4	26.5	2.69	21.5	17.74	3.2
26	0	21	79	52.7	24.2	28.5	2.7	21.4	18.15	3.1
27	2	13	85	43.4	23.2	20.2	2.68	19.8	18.04	4.7
28	6	20	74	35.7	22.2	13.5	2.67	18.8	18.31	4.6
29	6	15	79	39.7	23.1	16.6	2.67	19.7	18.02	4.1
30	1	19	80	54.6	25.1	29.5	2.72	22.5	17.82	3
32	10	16	74	45.7	24.1	21.6	2.68	18.7	18.06	3.3
33	0	2	98	64.9	26.6	38.3	2.52	26	19.45	2.2
34	0	1	99	66.2	27.5	38.7	2.51	24.6	20.12	2
35	10	16	74	41.8	23.5	18.3	2.66	19.6	18.77	2.3
36	2	11	87	43.1	24	19.1	2.65	28.3	19.33	3.6
37	12	15	73	36.7	22.4	14.3	2.67	24.4	18.6	2.1
38	15	14	71	47.7	25.4	22.3	2.68	23.6	18.5	3
39	2	19	79	53.3	23.7	29.6	2.68	24.2	18.7	3.8
40	10	61	29	25.9	19.5	6.4	2.72	12.6	17.88	3.2
41	6	12	82	40.1	26.4	13.7	2.62	24.7	19.35	4.9
42	13	51	36	26.7	18.6	8.1	2.72	13.9	17.78	3
43	0	2	98	42	21	21	2.71	18.55	20.2	2.3
44	0	0	100	43	18	25	2.72	16.45	20.1	4.7
45	0	1	99	48	20	28	2.71	21.25	20.87	4.6
46	0	3	97	43	20	23	2.74	17.62	18.95	3.4
47	0	2	98	33	20	13	2.77	19.44	20.49	4.1
48	0	1	99	35	18	17	2.71	20.44	20.07	6.6
49	0	1	99	29	17	12	2.72	16.43	20.29	5.6
50	0	0	100	43	20	23	2.75	12.5	20.79	4.5
51	0	1	99	39	17	22	2.72	11.4	21.02	6.4
52	0	1	99	39	17	22	2.53	16.3	18.65	5.6
53	0	2	98	30	15	15	2.78	18.6	19.88	8.3
54	0	1	99	43	18	25	2.68	19.2	20.23	6.6
55	0	2	98	45	25	20	2.68	19.6	20.29	3.3
56	0	1	99	39	24	15	2.67	11.5	20	4
57	0	1	99	33	16	17	2.71	21.8	21.7	4.2
58	0	5	95	39	20	19	2.67	15.3	19.8	4.8
59	0	1	99	41	20	21	2.71	18.5	21.6	4.6
60	0	1	99	36	18	18	2.71	13.4	20.5	7.4
61	4	12.4	83.6	46.1	24.1	22	2.69	25.9	21.6	1.7
62	2	12.5	85.5	50.1	26.1	24	2.69	22.5	19.8	1.8
63	0	4.7	95.3	45.9	22.8	23.1	2.74	12.4	21.4	2.1
64	15	24.7	60.3	42.2	19.7	22.5	2.74	15.3	18.9	2.2

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
66	0	15.4	84.6	52.7	28.8	23.9	2.72	18.9	20.4	2.3
67	0	8.9	91.1	61.4	29.9	31.5	2.66	23.4	20.1	1.4
68	0	7.4	92.6	54.3	26.1	28.2	2.65	12.3	21.5	2.7
69	23	20.7	56.3	46.1	25.8	20.3	2.6	19.6	18.06	5.4
70	2	16.1	81.9	54.6	28.4	26.2	2.62	22	18.11	2.4
71	10	20.4	69.6	54.3	22.9	31.4	2.62	34.4	18.07	3
73	0	20.2	79.8	68.6	27.9	40.7	2.62	21	18.09	2.3
74	0	6.1	93.9	82.3	32.2	50.1	2.62	35.5	18.03	1.4
75	0	5.1	94.9	91.8	35.5	56.3	2.61	38.3	18.02	3.2
76	10	14.1	75.9	71.6	35.1	36.5	2.64	36.5	17.77	1.6
77	23	20.69	56.31	33.67	21.8	11.87	2.47	19.55	17.11	5.1
78	21	20.91	58.09	34.13	22.18	11.95	2.46	18.42	17.4	6.4
79	10	17.55	72.45	48.21	25.8	22.41	2.48	24.57	17.65	3.7
80	15	13.4	71.6	34.19	22.63	11.56	2.44	24.27	17.9	5.8
81	10	10.96	79.04	47.61	26.25	21.36	2.45	25.52	17.78	4.3
82	12	12.02	75.98	53.53	26.93	26.6	2.46	25.02	17.48	3.4
83	26	53.37	20.63	33.9	23.06	10.84	2.46	14.63	18.19	4.3
84	10	15.12	74.88	51.5	27.81	23.69	2.46	20.13	18.07	3.2
85	5	25.39	69.61	52.13	26.99	25.14	2.47	31.34	17.56	3
86	14	15.82	70.18	49.85	26.98	22.87	2.44	23.18	16.98	2.8
87	0	1.2	98.8	55.5	23.3	32.2	2.68	27.7	17.8	4.2
88	0	1.8	98.2	61.9	23.6	38.3	2.69	22	18.6	3
89	0	3.8	96.2	63	27.7	35.3	2.69	24.5	17.9	2.5
90	0	8.3	91.7	48.7	21.5	27.2	2.64	21.5	17.3	4.2
91	12	17.3	70.7	32.9	16.6	16.3	2.62	11.4	19.1	6.8
92	0	4.7	95.3	40.9	20.4	20.5	2.66	22.6	19.2	4.5
93	0	0.7	99.3	66.8	29.7	37.1	2.7	28.9	19.4	2.5
94	0	0.8	99.2	60.2	25.3	34.9	2.69	32.7	19.7	3
95	0	3.3	96.7	43.1	21.5	21.6	2.66	23.5	18.1	4
96	3	6.4	90.6	31.5	16.5	15	2.61	26.4	18	7.2
97	12	9.4	78.6	36.3	18.7	17.6	2.62	12.3	17.2	5.5
98	0	1	99	43.3	22.4	20.9	2.66	27.5	19.3	3.9
99	40	23	37	41.3	24.4	16.9	2.65	15.6	17.1	4.2
100	5	10	85	33.4	17.3	16.1	2.61	27.8	19.8	6.5
101	0	1.5	98.5	53.4	25.7	27.7	2.68	22.3	19.7	2.7
102	55	13.7	31.3	32.4	16.3	16.1	2.66	14.5	17.9	11.2
103	50	10.4	39.6	32.7	16.4	16.3	2.69	13.3	17.6	12
104	42	21	37	43.1	23.6	19.5	2.68	20.6	18.2	10.2
105	1	5.1	93.9	63.1	26.4	36.7	2.65	18.6	19.7	8.7
106	35	16.5	48.5	38.8	18.3	20.5	2.61	15.2	17.5	10.1

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
108	0	0	100	70.9	28.5	42.4	2.7	27.6	19.9	3.2
109	0	1	99	69.9	30.1	39.8	2.68	28.8	18.9	1.8
110	0	0	100	58.7	25.4	33.3	2.66	22.4	19.8	2.5
111	0	6.6	93.4	34.3	17.2	17.1	2.61	14.9	20.3	7.5
112	39	22.2	38.8	42.1	20.8	21.3	2.64	18.5	17.9	4.3
114	49	29.3	21.7	34.2	18	16.2	2.65	14.2	17.2	7.2
115	25	7.3	67.7	42.1	20.6	21.5	2.61	16.8	19.8	4.3
116	0	3.7	96.3	58.8	23.5	35.3	2.67	21.5	20.7	2.7
117	0	2.3	97.7	38.4	23.3	15.1	2.66	22.1	17.9	5.3
118	5	13.5	81.5	52.1	17.4	34.7	2.62	15.4	17.6	4.1
119	0	0	100	52.1	24.8	27.3	2.72	20.7	17.4	2.9
120	0	3.4	96.6	58.1	28.3	29.8	2.71	19.3	17.8	4.2
121	23	14.1	62.9	29.1	15.4	13.7	2.66	13.2	18.9	8.3
122	0	7	93	63.2	28.5	34.7	2.69	20.8	17.9	2.1
123	0	5.2	94.8	66.9	27.9	39	2.68	21.8	17.2	3.2
124	0	4.4	95.6	56	29.2	26.8	2.69	18.4	17.8	2.3
125	0	1.2	98.8	60.2	32.2	28	2.7	27.1	17.9	1.7
126	0	0	100	43.2	22.2	21	2.66	20.5	18.9	5.6
127	12	5.3	82.7	38.6	17.4	21.2	2.61	14.8	19.6	6.1
128	0	6.5	93.5	64.6	25.3	39.3	2.67	22.4	19.5	3.3
129	0	5.1	94.9	71.2	29.5	41.7	2.64	28.7	19.4	3.1
130	60	6.2	33.8	31.8	18.1	13.7	2.65	10.2	19.9	6.5
131	0	5.8	94.2	47.2	23.5	23.7	2.69	22.1	18.3	3.4
132	0	0.9	99.1	46.2	21.2	25	2.69	17.9	18.7	4.2
133	0	0	100	63.2	25	38.2	2.7	18.8	17.9	2.4
134	55	12.7	32.3	32.8	18.5	14.3	2.62	12	19.7	6.5
135	0	5.9	94.1	62	26.2	35.8	2.69	23.8	18.5	4.3
136	0	6.8	93.2	58.4	26.8	31.6	2.68	23.1	17.9	2.4
137	0	1.3	98.7	45.8	20.2	25.6	2.66	14.5	17.4	4
138	42	8.3	49.7	34.1	17.6	16.5	2.58	15.3	19.9	5.5
139	0	1	99	48.6	20.8	27.8	2.68	18.8	17.9	5.6
140	0	0	100	38.4	18.5	19.9	2.69	17.4	17.1	8.1
141	0	2.5	97.5	43.6	22.21	21.39	2.61	14	18.31	3.9
142	0	2	98	63.5	27	36.5	2.6	21.4	18.26	3.2
143	0	2.7	97.3	33.4	19.1	14.3	2.7	14	18	5.8
144	0	3	97	41.9	22.3	19.6	2.69	9.3	17.96	4.2
145	0	2.7	97.3	33.4	19.2	14.2	2.66	25.5	18.14	5.8
146	0	2.8	97.2	43.8	22	21.8	2.59	25.2	18.9	3.9
147	1	3.7	95.3	28.7	16.4	12.3	2.6	19.2	17.8	8.1
148	0	3.1	96.9	29.9	14.1	15.8	2.7	19.2	17.89	9.1

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
149	0	2	98	27	11.1	15.9	2.68	22.8	18.12	13.2
150	0	2.5	97.5	35.5	15.2	20.3	2.65	21.6	18.3	7.1
151	0	3.3	96.7	29.2	16.5	12.7	2.66	18.1	17.96	7.8
152	1	3.5	95.5	31.4	18	13.4	2.64	19.2	17.78	6.7
153	0	3.7	96.3	31.9	18.3	13.6	2.69	16.4	18.44	6.4
155	0	1	99	62.6	31	31.6	2.7	18.1	19.1	3.2
156	0	2	98	65	32.5	32.5	2.71	29.4	20.4	2.3
157	0	0	100	70.1	29.6	40.5	2.68	31.4	18.36	2.2
158	0	0.3	99.7	73.6	28	45.6	2.69	28.4	18.45	3.4
159	0	0	100	78.8	20.8	58	2.66	17.4	18.28	2.6
160	0	2.4	97.6	58.2	26.2	32	2.67	16.1	18.31	3.1

**Çizelge 3.2** Tek eksenli basınç dayanımı sonuçları ve presiyometre deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü verileri

Örnek No	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (mPa)	Presiyometre Taşıma Gücü(qu) (kg/cm <sup>2</sup> )
1	238	19.61
2	224	18.75
3	184	16.33
4	122	9.55
5	156	12.7
6	245	21.6
7	420	34.5
8	158	13.5
9	127	9.1
10	267	23.5
11	264	24.2
12	223	18.7
13	198	16.6
14	176	14.2
15	199	16.3
16	213	18.3
17	74.16	12.5
18	72	11.5
19	39.84	8.8
20	44.4	9.3
21	154.56	19.1
22	153.36	18.8

<b>Örnek No</b>	<b>Tek Eksenli Basınç Dayanımı (mPa)</b>	<b>Presiyometre Taşıma Gücü(q<sub>u</sub>) (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
24	46.32	9.5
25	70.77	15.06
26	90.83	20.1
28	13.14	5.6
29	26.07	8.9
30	16.21	7.7
31	14.44	6.6
32	20.37	9.7

### **3.2 Metot**

Bu çalışma kapsamında ilk olarak literatür çalışması yapılmış, daha sonra arazi deney sonuçları ve laboratuvar deney sonuçları DSİ Genel Müdürlüğü projelerinden elde edilmiştir. Daha sonra bu sonuçlar düzenlenerek 9 ayrı parametreden oluşan zeminlerin indeks özelliklerinden, presiyometre taşıma gücü değerleri GEP modellemesi yardımıyla tahmin edilmeye çalışılmış ve yine GEP programı yardımıyla formülize edilmiştir.

Ayrıca tek eksenli basınç dayanımı sonuçları ve presiyometre taşıma gücü sonuçları basit regresyon analizi kullanarak karşılaştırılmıştır.

#### **3.2.1 Basit regresyon analizi**

Araziden alınan numuneler üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı sonuçları ile yerinde yapılan bir deney olan presiyometre deneyinden hesaplanan taşıma gücü değerleri Microsoft Office Excel programında düzenlenerek, karşılaştırılmış ve korelasyon grafiği oluşturulmuştur. En yüksek katsayı değerine ulaşmaya çalışılmış ve eğilim doğrusu eklenerek belirlilik katsayısı ( $R^2$ ) değerleri bulunmuştur.

#### **3.2.2 Genetik algoritma çalışması**

Bu çalışmada toplanan ve düzenlenen laboratuvar ve arazi deney verileri öncelikle aynı anda değerlendirmeye alınmıştır. Daha sonra en yüksek katsayı değerine ulaşmak için her bir deney grubu çaprazlanarak çıkartılmış ve doğruya en yakın denklem bulunmaya

çalışılmıştır. Elek analizi, Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği deney sonuçlarından genetik algoritma formülüyle Presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerine ulaşılmaya çalışılmıştır.

Kullanılan parametreler öncelikle Microsoft Office Excel yardımıyla düzenlenmiş, 2/1 oranında eğitim materyali ve test materyali olarak ayrılmıştır. Program 107 deney sonuç parametresiyle eğitilmiş, 53 parametreyle test edilmiştir. Öncelikle tüm deney sonuçları değerlendirmeye alınmış daha sonra elek analizi, atterberg limitleri deneyleri ve doğal birim hacim ağırlığı, özgül ağırlık, su içeriği deneyleri ayrı ayrı değerlendirilerek presiyometre taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmıştır. GeneXpro tools programına girilen eğitim ve test verileri Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4 de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** GeneXpro tools programına girilen eğitim verileri

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	Kil Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
1	0	3.7	96.3	52.1	27.7	24.4	2.71	21.5	20.96	2.13
2	6	12.1	81.9	34.1	22.3	11.8	2.72	19.3	20.42	2.15
4	4	78.5	17.5	29.3	19.2	10.1	2.74	12.9	21.19	4.21
5	0	0.3	99.7	52.6	26.3	26.3	2.77	27.9	19.19	2.68
7	0	2.1	97.9	40.5	23.2	17.3	2.72	26.6	19.33	2.55
8	8	4.5	87.5	47.6	22.6	25	2.75	17.4	20.55	2.82
10	15	19.2	65.8	28.3	17.8	10.5	2.53	29.7	18.71	4.5
11	0	0.2	99.8	55.1	30	25.1	2.78	37.3	18.72	3.4
13	5	20	75	43.6	23.4	20.2	2.68	17.8	17.5	3.8
14	6	14	80	37.6	21.7	15.9	2.67	19.3	17.98	4.5
16	15	14	71	42.4	22.2	20.2	2.68	20.9	18.15	5.5
17	14	15	71	40.6	21.9	18.7	2.67	19.7	18.2	4.2
19	4	7	89	39.3	21.1	18.2	2.68	18.2	18.25	6.5
20	7	15	78	48	23.8	24.2	2.69	20.6	17.97	3.3
22	8	13	79	38.4	21.6	16.8	2.67	19.1	18.46	4.5
23	4	13	83	38.9	22.1	16.8	2.67	20.1	18.01	5
25	3	14	83	50.9	24.4	26.5	2.69	21.5	17.74	3.2
26	0	21	79	52.7	24.2	28.5	2.7	21.4	18.15	3.1
28	6	20	74	35.7	22.2	13.5	2.67	18.8	18.31	4.6
29	6	15	79	39.7	23.1	16.6	2.67	19.7	18.02	4.1
31	16	21	63	41.4	22.9	18.5	2.68	18.6	18.18	4.2

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	Kil Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
34	0	1	99	66.2	27.5	38.7	2.51	24.6	20.12	2
35	10	16	74	41.8	23.5	18.3	2.66	19.6	18.77	2.3
37	12	15	73	36.7	22.4	14.3	2.67	24.4	18.6	2.1
38	15	14	71	47.7	25.4	22.3	2.68	23.6	18.5	3
40	10	61	29	25.9	19.5	6.4	2.72	12.6	17.88	3.2
41	6	12	82	40.1	26.4	13.7	2.62	24.7	19.35	4.9
43	0	2	98	42	21	21	2.71	18.55	20.2	2.3
44	0	0	100	43	18	25	2.72	16.45	20.1	4.7
46	0	3	97	43	20	23	2.74	17.62	18.95	3.4
47	0	2	98	33	20	13	2.77	19.44	20.49	4.1
49	0	1	99	29	17	12	2.72	16.43	20.29	5.6
50	0	0	100	43	20	23	2.75	12.5	20.79	4.5
52	0	1	99	39	17	22	2.53	16.3	18.65	5.6
53	0	2	98	30	15	15	2.78	18.6	19.88	8.3
55	0	2	98	45	25	20	2.68	19.6	20.29	3.3
56	0	1	99	39	24	15	2.67	11.5	20	4
58	0	5	95	39	20	19	2.67	15.3	19.8	4.8
59	0	1	99	41	20	21	2.71	18.5	21.6	4.6
61	4	12.4	83.6	46.1	24.1	22	2.69	25.9	21.6	1.7
62	2	12.5	85.5	50.1	26.1	24	2.69	22.5	19.8	1.8
64	15	24.7	60.3	42.2	19.7	22.5	2.74	15.3	18.9	2.2
65	10	12.3	77.7	49.6	22.9	26.7	2.71	11.6	21.1	2.1
67	0	8.9	91.1	61.4	29.9	31.5	2.66	23.4	20.1	1.4
68	0	7.4	92.6	54.3	26.1	28.2	2.65	12.3	21.5	2.7
70	2	16.1	81.9	54.6	28.4	26.2	2.62	22	18.11	2.4
71	10	20.4	69.6	54.3	22.9	31.4	2.62	34.4	18.07	3
73	0	20.2	79.8	68.6	27.9	40.7	2.62	21	18.09	2.3
74	0	6.1	93.9	82.3	32.2	50.1	2.62	35.5	18.03	1.4
76	10	14.1	75.9	71.6	35.1	36.5	2.64	36.5	17.77	1.6
77	23	20.69	56.31	33.67	21.8	11.87	2.47	19.55	17.11	5.1
79	10	17.55	72.45	48.21	25.8	22.41	2.48	24.57	17.65	3.7
80	15	13.4	71.6	34.19	22.63	11.56	2.44	24.27	17.9	5.8
82	12	12.02	75.98	53.53	26.93	26.6	2.46	25.02	17.48	3.4
83	26	53.37	20.63	33.9	23.06	10.84	2.46	14.63	18.19	4.3
85	5	25.39	69.61	52.13	26.99	25.14	2.47	31.34	17.56	3
86	14	15.82	70.18	49.85	26.98	22.87	2.44	23.18	16.98	2.8
88	0	1.8	98.2	61.9	23.6	38.3	2.69	22	18.6	3
89	0	3.8	96.2	63	27.7	35.3	2.69	24.5	17.9	2.5
91	12	17.3	70.7	32.9	16.6	16.3	2.62	11.4	19.1	6.8
92	0	4.7	95.3	40.9	20.4	20.5	2.66	22.6	19.2	4.5
94	0	0.8	99.2	60.2	25.3	34.9	2.69	32.7	19.7	3

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	Kil Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm <sup>2</sup> )
97	12	9.4	78.6	36.3	18.7	17.6	2.62	12.3	17.2	5.5
98	0	1	99	43.3	22.4	20.9	2.66	27.5	19.3	3.9
100	5	10	85	33.4	17.3	16.1	2.61	27.8	19.8	6.5
101	0	1.5	98.5	53.4	25.7	27.7	2.68	22.3	19.7	2.7
103	50	10.4	39.6	32.7	16.4	16.3	2.69	13.3	17.6	12
104	42	21	37	43.1	23.6	19.5	2.68	20.6	18.2	10.2
106	35	16.5	48.5	38.8	18.3	20.5	2.61	15.2	17.5	10.1
107	0	0	100	46.8	23.3	23.5	2.67	21.8	19.7	3.4
109	0	1	99	69.9	30.1	39.8	2.68	28.8	18.9	1.8
110	0	0	100	58.7	25.4	33.3	2.66	22.4	19.8	2.5
112	39	22.2	38.8	42.1	20.8	21.3	2.64	18.5	17.9	4.3
113	0	9.8	90.2	58.8	24.4	34.4	2.61	20.9	19.9	2.6
115	25	7.3	67.7	42.1	20.6	21.5	2.61	16.8	19.8	4.3
116	0	3.7	96.3	58.8	23.5	35.3	2.67	21.5	20.7	2.7
118	5	13.5	81.5	52.1	17.4	34.7	2.62	15.4	17.6	4.1
119	0	0	100	52.1	24.8	27.3	2.72	20.7	17.4	2.9
121	23	14.1	62.9	29.1	15.4	13.7	2.66	13.2	18.9	8.3
122	0	7	93	63.2	28.5	34.7	2.69	20.8	17.9	2.1
124	0	4.4	95.6	56	29.2	26.8	2.69	18.4	17.8	2.3
125	0	1.2	98.8	60.2	32.2	28	2.7	27.1	17.9	1.7
127	12	5.3	82.7	38.6	17.4	21.2	2.61	14.8	19.6	6.1
128	0	6.5	93.5	64.6	25.3	39.3	2.67	22.4	19.5	3.3
130	60	6.2	33.8	31.8	18.1	13.7	2.65	10.2	19.9	6.5
131	0	5.8	94.2	47.2	23.5	23.7	2.69	22.1	18.3	3.4
133	0	0	100	63.2	25	38.2	2.7	18.8	17.9	2.4
134	55	12.7	32.3	32.8	18.5	14.3	2.62	12	19.7	6.5
136	0	6.8	93.2	58.4	26.8	31.6	2.68	23.1	17.9	2.4
137	0	1.3	98.7	45.8	20.2	25.6	2.66	14.5	17.4	4
139	0	1	99	48.6	20.8	27.8	2.68	18.8	17.9	5.6
140	0	0	100	38.4	18.5	19.9	2.69	17.4	17.1	8.1
142	0	2	98	63.5	27	36.5	2.6	21.4	18.26	3.2
143	0	2.7	97.3	33.4	19.1	14.3	2.7	14	18	5.8
145	0	2.7	97.3	33.4	19.2	14.2	2.66	25.5	18.14	5.8
146	0	2.8	97.2	43.8	22	21.8	2.59	25.2	18.9	3.9
148	0	3.1	96.9	29.9	14.1	15.8	2.7	19.2	17.89	9.1
149	0	2	98	27	11.1	15.9	2.68	22.8	18.12	13.2
151	0	3.3	96.7	29.2	16.5	12.7	2.66	18.1	17.96	7.8
152	1	3.5	95.5	31.4	18	13.4	2.64	19.2	17.78	6.7
154	0	2.2	97.8	37.1	20.1	17	2.68	17.9	18.22	5.3
155	0	1	99	62.6	31	31.6	2.7	18.1	19.1	3.2
157	0	0	100	70.1	29.6	40.5	2.68	31.4	18.36	2.2

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	Kil Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm2)
160	0	2.4	97.6	58.2	26.2	32	2.67	16.1	18.31	3.1

**Çizelge 3.4** GeneXpro tools programına girilen test verileri

Örnek No	Çakıl Yüzdesi	Kum Yüzdesi	Kil Yüzdesi	Likit Limit (%)	Plastik Limit (%)	Plastisite İndisi (%)	Özgül Ağırlık	Su İçeriği	Doğal Birim Hacim Ağırlık	Presiyometre Taşıma Gücü (kg/cm2)
3	5	12.6	82.4	42.6	22.7	19.9	2.71	16.3	21.07	2.61
6	8	35.2	56.8	34.7	21.1	13.6	2.71	24.1	18.84	2.38
9	11	12.3	76.7	28.5	20.4	8.1	2.72	22.4	18.64	4.1
12	8	11	81	44.9	23.3	21.6	2.68	18.8	16.94	5.5
15	10	11	79	45.3	21.9	23.4	2.68	19	17.81	3.7
18	0	20	80	61.9	26.1	35.8	2.71	22.7	18.42	2.3
21	0	27	73	50.9	24.2	26.7	2.69	21.9	18.28	5.4
24	6	14	80	37.4	22.3	15.1	2.67	19.7	18.55	6.5
27	2	13	85	43.4	23.2	20.2	2.68	19.8	18.04	4.7
30	1	19	80	54.6	25.1	29.5	2.72	22.5	17.82	3
33	0	2	98	64.9	26.6	38.3	2.52	26	19.45	2.2
36	2	11	87	43.1	24	19.1	2.65	28.3	19.33	3.6
39	2	19	79	53.3	23.7	29.6	2.68	24.2	18.7	3.8
42	13	51	36	26.7	18.6	8.1	2.72	13.9	17.78	3
45	0	1	99	48	20	28	2.71	21.25	20.87	4.6
48	0	1	99	35	18	17	2.71	20.44	20.07	6.6
51	0	1	99	39	17	22	2.72	11.4	21.02	6.4
54	0	1	99	43	18	25	2.68	19.2	20.23	6.6
57	0	1	99	33	16	17	2.71	21.8	21.7	4.2
60	0	1	99	36	18	18	2.71	13.4	20.5	7.4
63	0	4.7	95.3	45.9	22.8	23.1	2.74	12.4	21.4	2.1
66	0	15.4	84.6	52.7	28.8	23.9	2.72	18.9	20.4	2.3
69	23	20.7	56.3	46.1	25.8	20.3	2.6	19.6	18.06	5.4
72	4	6.2	89.8	69.5	29.6	39.9	2.63	29.7	18.09	2.3
75	0	5.1	94.9	91.8	35.5	56.3	2.61	38.3	18.02	3.2
78	21	20.91	58.09	34.13	22.18	11.95	2.46	18.42	17.4	6.4
81	10	10.96	79.04	47.61	26.25	21.36	2.45	25.52	17.78	4.3
84	10	15.12	74.88	51.5	27.81	23.69	2.46	20.13	18.07	3.2
87	0	1.2	98.8	55.5	23.3	32.2	2.68	27.7	17.8	4.2
90	0	8.3	91.7	48.7	21.5	27.2	2.64	21.5	17.3	4.2
93	0	0.7	99.3	66.8	29.7	37.1	2.7	28.9	19.4	2.5
96	3	6.4	90.6	31.5	16.5	15	2.61	26.4	18	7.2
99	40	23	37	41.3	24.4	16.9	2.65	15.6	17.1	4.2
102	55	13.7	31.3	32.4	16.3	16.1	2.66	14.5	17.9	11.2

108	0	0	100	70.9	28.5	42.4	2.7	27.6	19.9	3.2
111	0	6.6	93.4	34.3	17.2	17.1	2.61	14.9	20.3	7.5
114	49	29.3	21.7	34.2	18	16.2	2.65	14.2	17.2	7.2
117	0	2.3	97.7	38.4	23.3	15.1	2.66	22.1	17.9	5.3
120	0	3.4	96.6	58.1	28.3	29.8	2.71	19.3	17.8	4.2
123	0	5.2	94.8	66.9	27.9	39	2.68	21.8	17.2	3.2
126	0	0	100	43.2	22.2	21	2.66	20.5	18.9	5.6
129	0	5.1	94.9	71.2	29.5	41.7	2.64	28.7	19.4	3.1
132	0	0.9	99.1	46.2	21.2	25	2.69	17.9	18.7	4.2
135	0	5.9	94.1	62	26.2	35.8	2.69	23.8	18.5	4.3
138	42	8.3	49.7	34.1	17.6	16.5	2.58	15.3	19.9	5.5
141	0	2.5	97.5	43.6	22.21	21.39	2.61	14	18.31	3.9
144	0	3	97	41.9	22.3	19.6	2.69	9.3	17.96	4.2
147	1	3.7	95.3	28.7	16.4	12.3	2.6	19.2	17.8	8.1
150	0	2.5	97.5	35.5	15.2	20.3	2.65	21.6	18.3	7.1
153	0	3.7	96.3	31.9	18.3	13.6	2.69	16.4	18.44	6.4
156	0	2	98	65	32.5	32.5	2.71	29.4	20.4	2.3
159	0	0	100	78.8	20.8	58	2.66	17.4	18.28	2.6

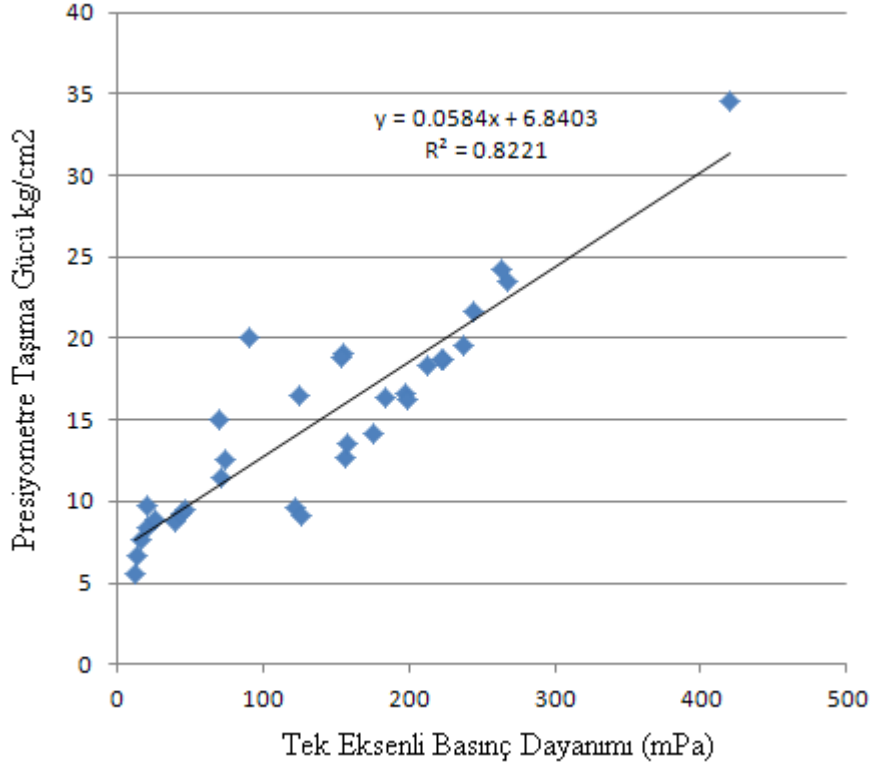
Presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerleri, araziden alınan laboratuvar deneyleri ile birlikte Microsoft Office excel programı yardımıyla eğitim ve test verileri olarak düzenlenerek GeneXpro tools programına mutasyon, gen ve kromozom sayıları değiştirilerek dört işlem (+,-,x,/) ve açılarla (cos, sin, tan) veriler, işlenmiş presiyometre taşıma gücü değerlerinin elde edilmesi için gereken formül ve en yüksek korelasyon katsayısına ulaşılmaya çalışılmıştır.

## BÖLÜM IV

### BULGULAR ve TARTIŞMALAR

Çalışmada laboratuvar deneyleri ve arazi deney sonuçları ile basit (tekli) regresyon analizi ve genetik algoritma kullanarak yüksek korelasyon katsayısına sahip denklemleri elde edilmiş olup, elde edilen sonuçlar ayrı ayrı grafiklerle gösterilmiştir.

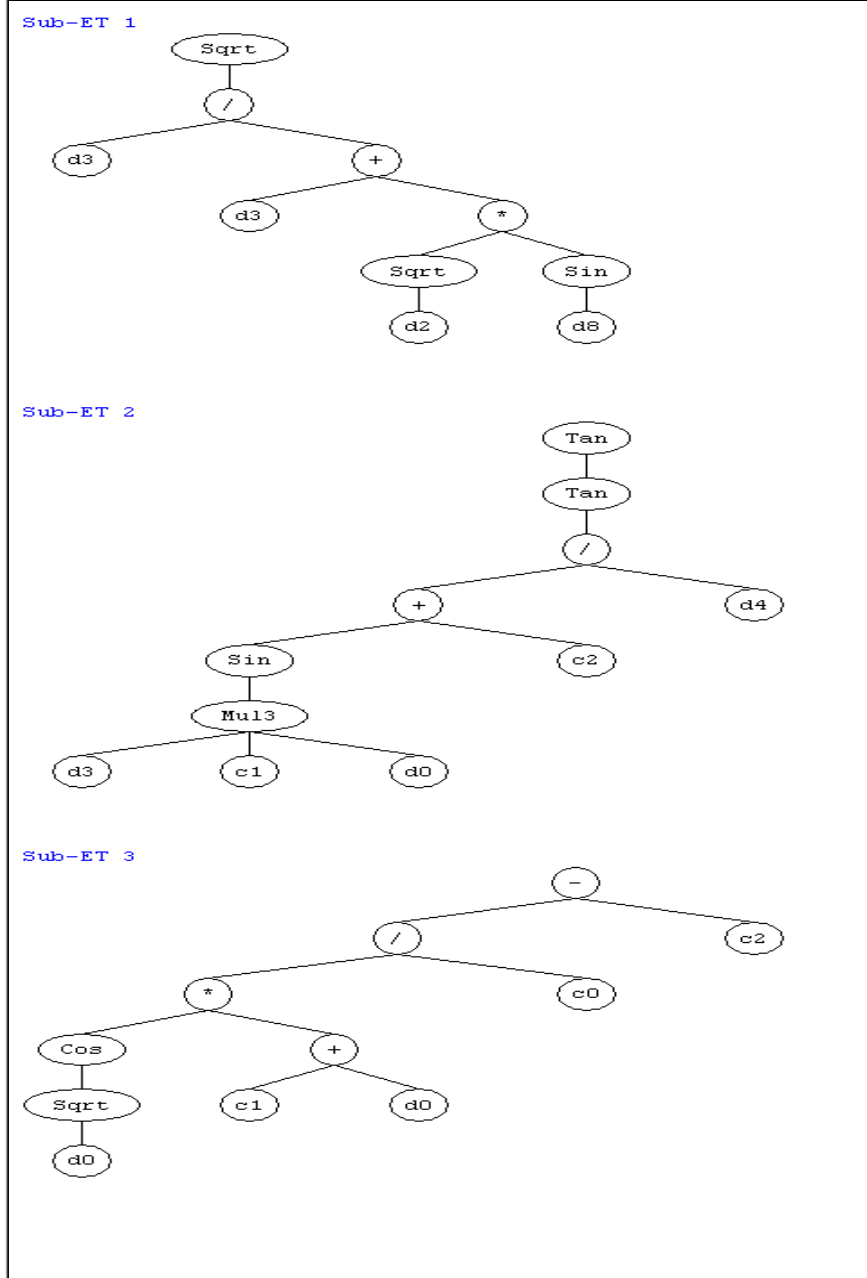
Öncelikle aynı projeden ve aynı seviyeden alınan 32 adet tek eksenli basınç dayanımı deney sonucu ile presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları karşılaştırılmış, bu korelasyondan elde edilen denklem ve grafik aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.1 Presiyometre taşıma gücü ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Daha sonra diğer deney sonuçları genetik algoritma programı olan GeneXpro tools yardımıyla 160 verinin tümü eğitim ve test verileri olarak  $\frac{1}{2}$  oranında ayrılmış ve program çalıştırılmıştır. Laboratuvar deneyleri olan elek analizi (çakıl (d0), kum (d1) ,ince (d2)), Atterberg limitleri (Likit limit (d4), plastik limit (d5), plastisite indisi (d6)), doğal birim

hacim ağırlık (d7), özgül ağırlık (d8), su içeriği (d9) kullanılarak aynı seviyedeki presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü formülü elde edilmiş ve en yüksek korelasyon katsayısı bulunarak, tahmini denklem ağacı bulunmuş ve denklem yazılımı tamamlanmıştır.



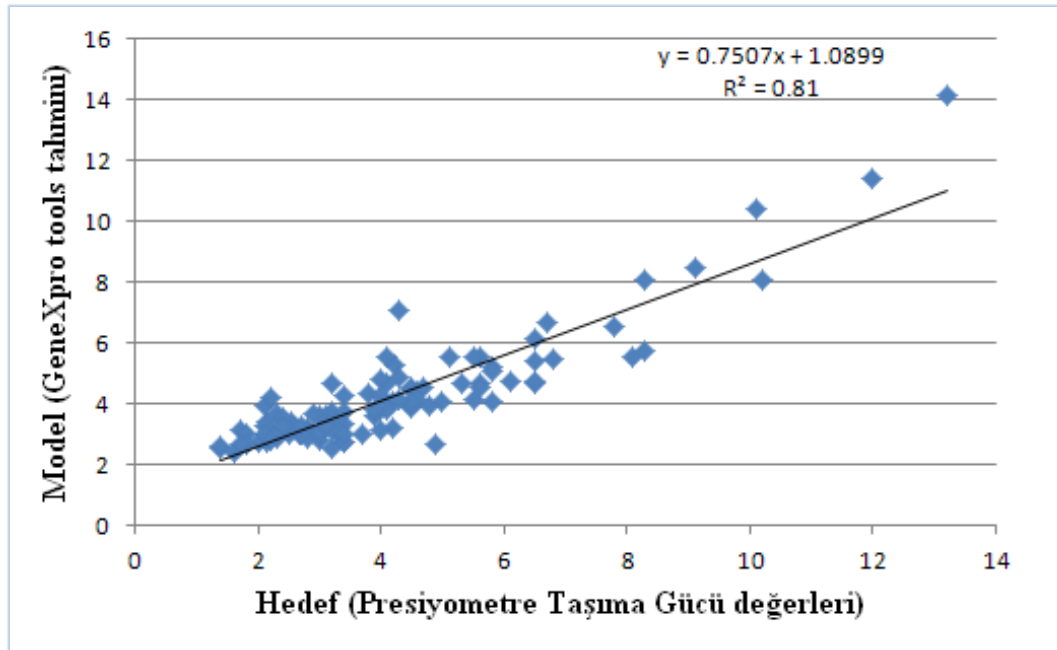
**Şekil 4.2** Laboratuvar deney sonuçlarından yaklaşık presiyometre taşıma gücünü tahmin eden formül ağacı

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (1)} = \sqrt{\left(\frac{d(3)}{d(3)} + (\sqrt{d(2)} * \sin(d(8))))\right)} \quad (4.1)$$

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (2)} = \text{qu} * \tan\left(\frac{\tan\left(\frac{\sin(d(3)*G2C1*d(0))}{d(4)} + G2C2\right)}{d(4)}\right) \quad (4.2)$$

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (3)} = \text{qu} * \left(\frac{\cos(\sqrt{d(0)}) * (G3C1 + d(0))}{G3C0} - G3C2\right) \quad (4.3)$$

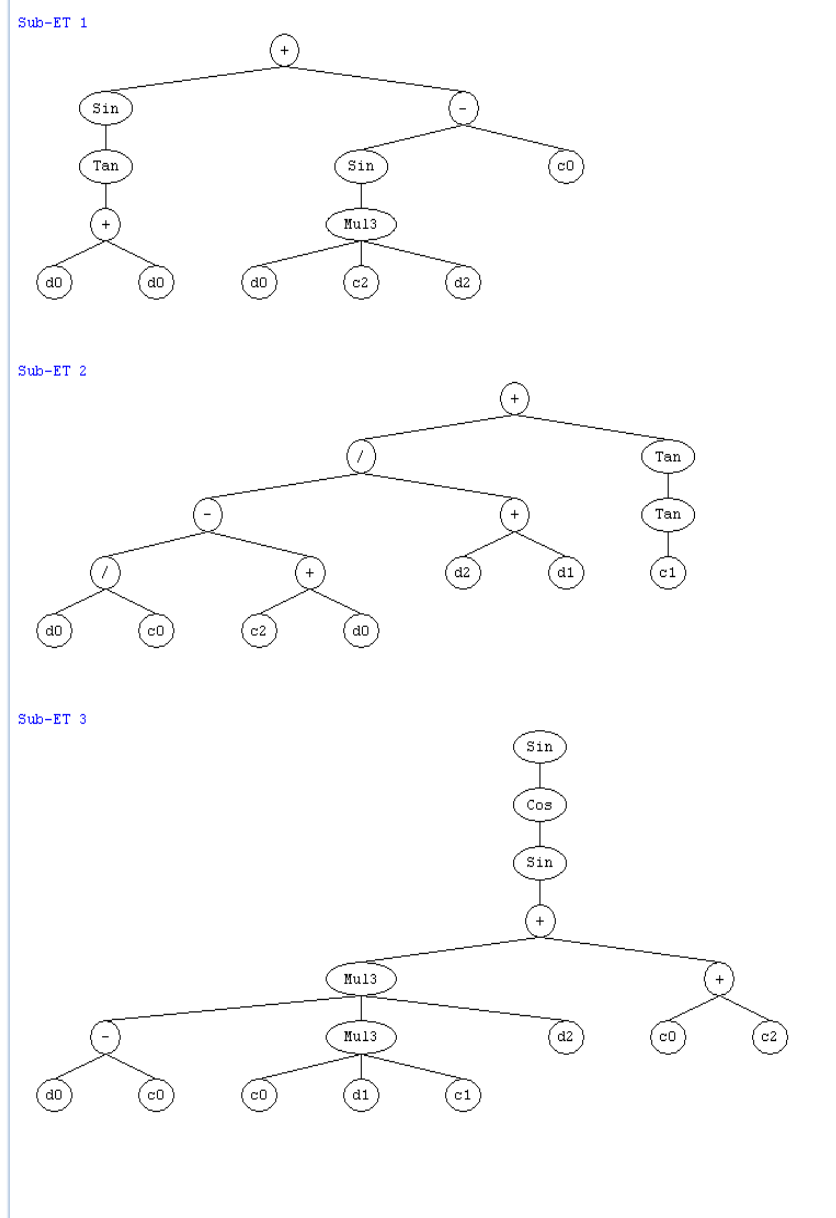
Şekil 4.2’ de tüm veriler kullanılarak presiyometre taşıma gücü tahmini yapılmış denklem ağacı program tarafından çizilmiştir. Tahmini taşıma gücü denklemi yazılmıştır. Aşağıda da tüm verilerin yaklaşık korelasyon doğruluğu Microsoft Office Excel yardımıyla grafik haline getirilmiş, ulaşılmak istenen taşıma gücü ve programdan çıkan modelle birlikte korelasyon yapılmıştır. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3 Programa girilen tüm değerlerin yaklaşık korelasyon katsayısı

İlk Modelde tüm laboratuvar deneyleri girilerek (Elek analizi, Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su içeriği) GeneXpro tools programından alınan tahmini sonuçların presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları ile korele edilmesi sonucu yüksek korelasyon katsayısına sahip değer ( $R^2 = 0.80$ ) elde edilmiştir. Tahmini presiyometre taşıma gücü değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki doğrusaldır.

Model 2' de Genetik algoritma yardımıyla aynı seviyelerden alınan elek analizi değerleri (çakıl (d0), kum (d1), ince (d2)) ve presiometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları GenXpro tools programına yine eğitim ve test verileri olarak girilmiş ve denklem ağacı aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 4.4)



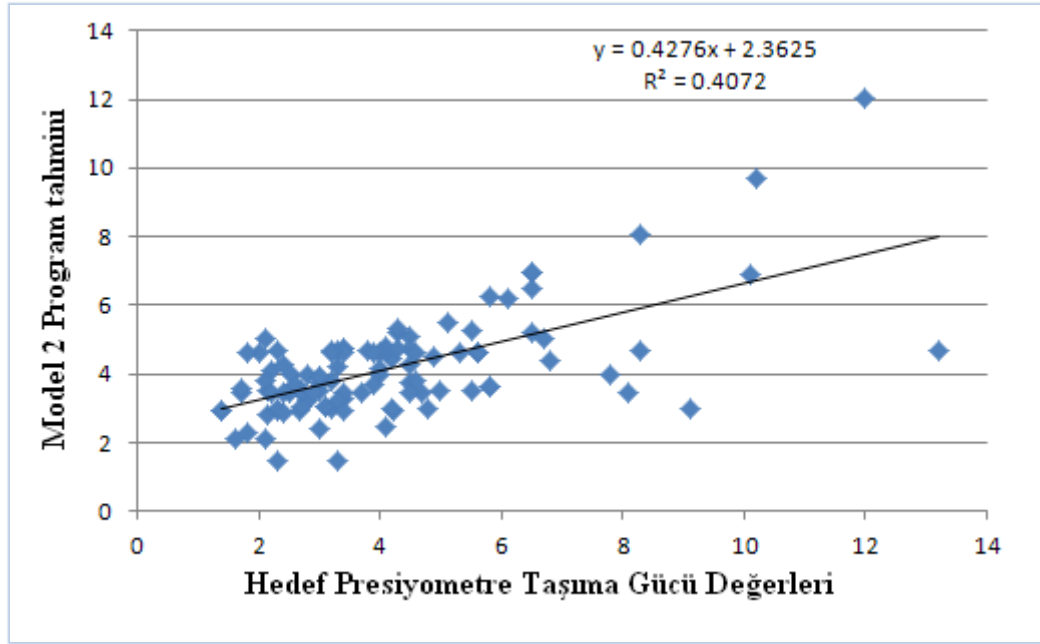
**Şekil 4.4** Elek analizi değerleri kullanılarak tahmin edilen presiometre taşıma gücü formül ağacı

$$\text{Presiyometre taşıma gücü (qu) (1) = (Sin(Tan((d(0)+d(0))))+(Sin((d(0)*G1C2*d(2)))-G1C0)) \quad (4.4)$$

$$\text{Presiyometre taşıma gücü (qu) (2) = qu * (((d(0)/G2C0) (G2C2+d(0))) / (d(2)+d(1))) + \text{Tan (Tan(G2C1))) \quad (4.5)$$

$$\text{Presiyometre taşıma gücü (qu) (3) = qu * Sin(Cos(Sin((((d(0)-G3C0) *(G3C0* d(1)* G3C1) * d(2)) + (G3C0+G3C2)))))) \quad (4.6)$$

Şekil 4.4.' de sadece elek analizi verileri (çakıl (d0), kum (d1) ve kil (d2) yüzdeleri) kullanılarak presiyometre taşıma gücü tahmini yapılmış denklem ağacı program tarafından çizilmiştir ve tahmini taşıma gücü denklemi yazılmıştır. Aşağıda da elek analizinden yapılan tahminlerin yaklaşık korelasyon doğruluğu Microsoft Office Excel yardımıyla grafik haline getirilmiş, ulaşılmak istenen taşıma gücü ve programdan çıkan modelle birlikte korelasyon yapılmıştır. (Şekil 4.5)

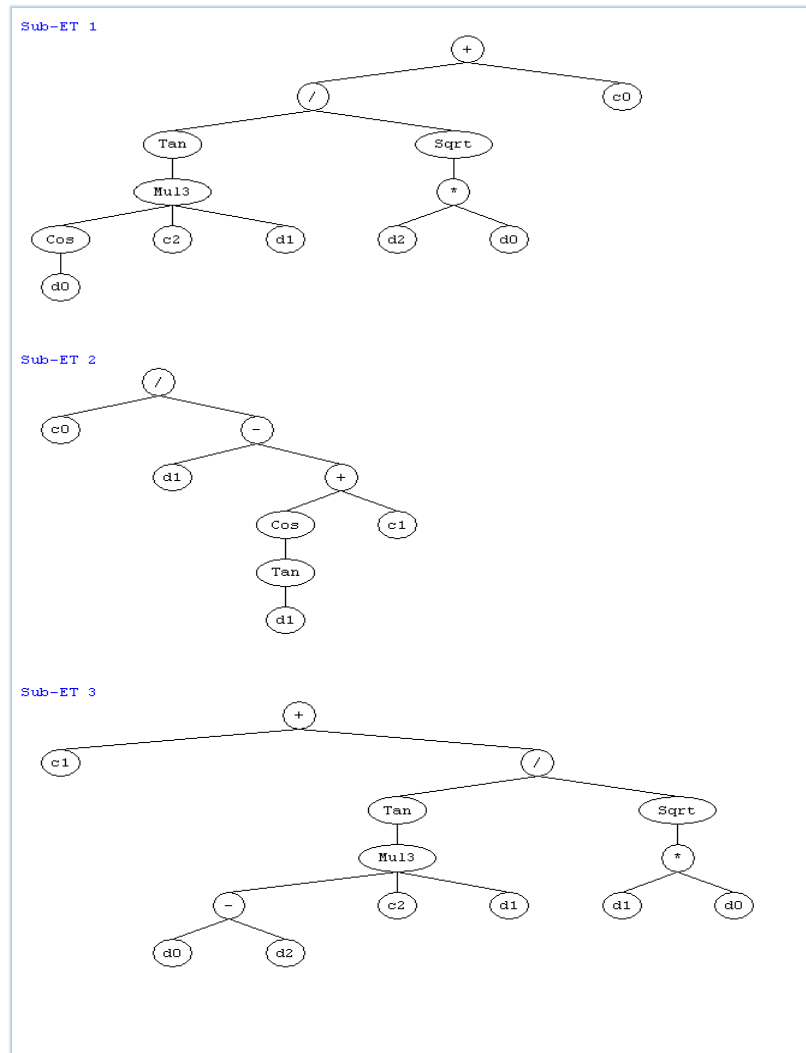


**Şekil 4.5** Elek analizi değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü korelasyonu

Programına sadece elek analizi verileri (çakıl (d0), kum (d1), ince (d2)) girilerek alınan tahmini sonuçların presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları ile korele edilmesi sonucu zayıf korelasyon katsayısı değeri ( $R^2 = 0.40$ ) elde edilmiştir. Tahmini

presiyometre taşıma gücü değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki regresyon analizinde iyi sonuç vermemiştir. Buradan elek analizi değerlerinin presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerleri üzerinde etkili olmadığı çsonucuna varılmıştır.

Model 3'te Atterberg limitleri (likit limit (d0), plastik limit (d1), plastisite indisi (d2)) girilerek presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmış, formülün denklem ağacı aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 4.6)



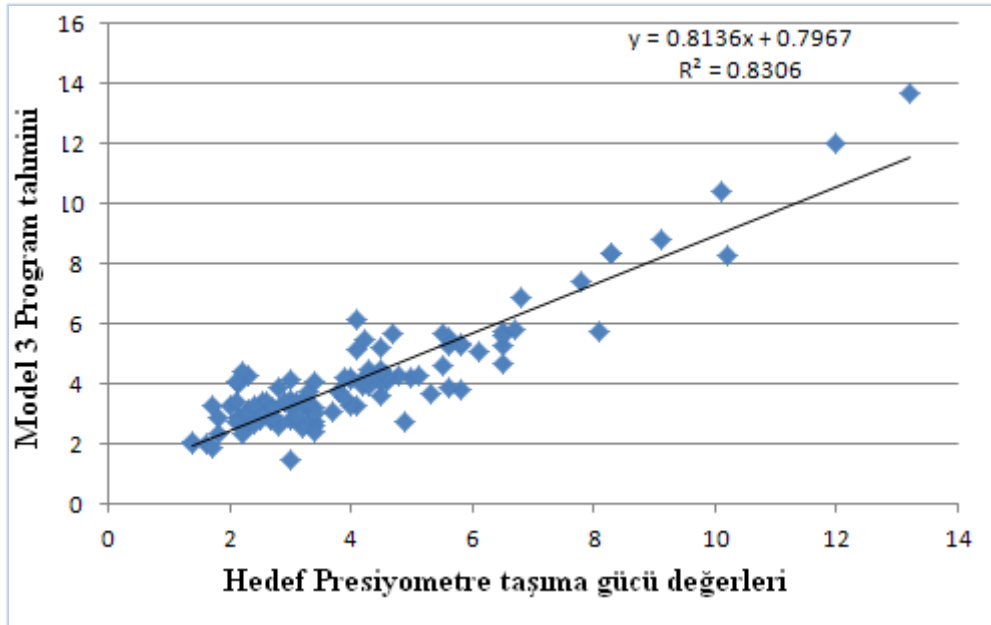
**Şekil 4.6** Atterberg Limitleri değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü formül ağacı

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (1) = ((\text{Tan} ((\text{Cos} (d(0)) * G1C2 * d(1) ) ) / \sqrt{((d(2) * d(0))))+G1C0}) \quad (4.7)$$

$$\text{Presiyometre taşıma gücü (qu) (2) = qu * (G2C0/(d(1)-(\text{Cos}(\text{Tan}(d(1))))+G2C1)) \quad (4.8)$$

$$\text{Presiyometre taşıma gücü (qu) (3) = qu * (G3C1 + (\text{Tan}(((d(0) - d(2)) * G3C2 * d(1))) / \sqrt{((d(1)*d(0)))))) \quad (4.9)$$

Şekil 4.6' da sadece Atterberg limitleri verileri (likit limit (d0), plastik limit (d1) ve plastisite İndisi (d2)) kullanılarak presiyometre taşıma gücü tahmini yapılmış denklem ağacı program tarafından çizilmiştir ve tahmini taşıma gücü denklemi yazılmıştır. Aşağıda da Atterberg limitlerinden yapılan tahminlerin yaklaşık korelasyon doğruluğu Microsoft Office Excel yardımıyla grafik haline getirilmiş, ulaşılmak istenen taşıma gücü ve programdan çıkan modelle birlikte korelasyon yapılmıştır. (Şekil 4.7.)

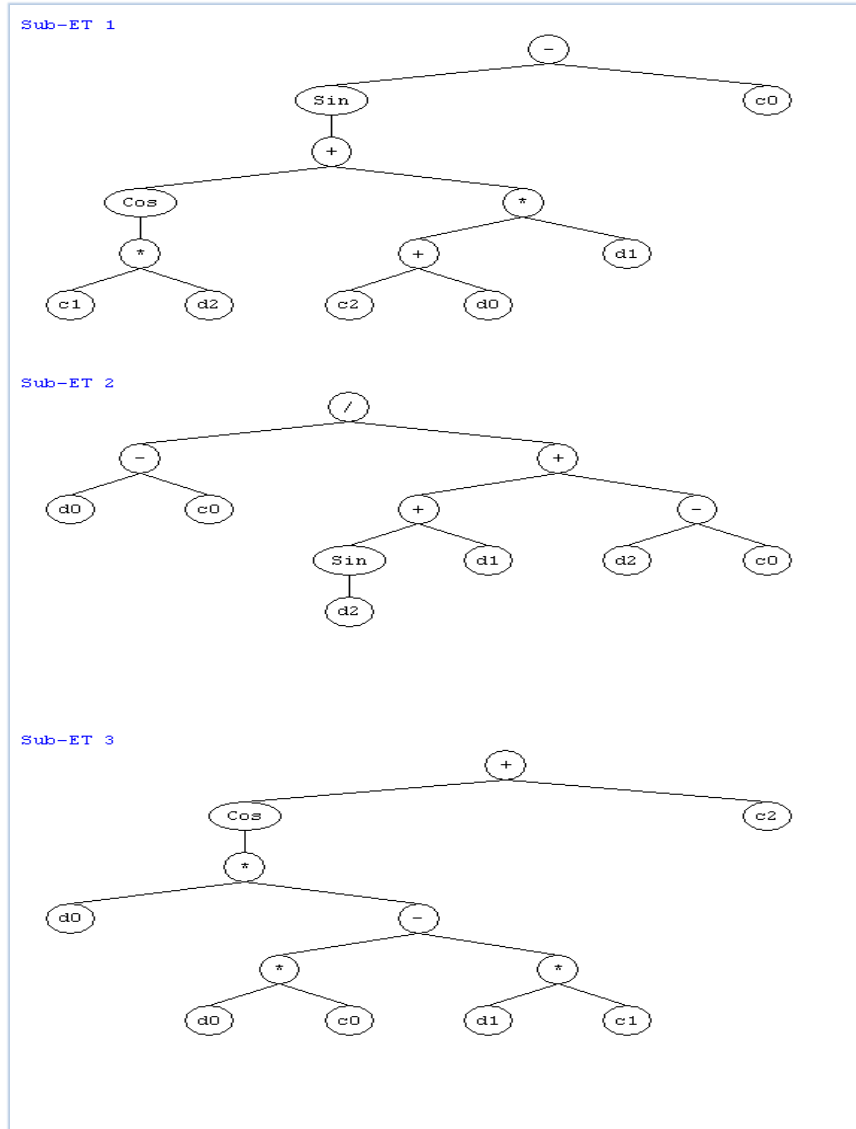


**Şekil 4.7** Atterberg limitleri değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü değerleri korelasyonu

Atterberg limitleri (likit limit (d0), plastik Limit (d1), plastisite İndisi (d2)) girilerek alınan tahmini sonuçların presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları ile korele edilmesi sonucu yüksek korelasyon değeri ( $R^2 = 0.83$ ) elde edilmiştir. Tahmini

presiyometre taşıma gücü değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki regresyon analizinde iyi sonuç vermiştir. Atterberg limitleri deney sonuçları presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçlarıyla ilişkilidir.

Model 4' de doğal birim hacim ağırlık ( $d_0$ ), özgül ağırlık ( $d_1$ ), su içeriği ( $d_2$ ), girilerek presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmış, formülün denklem ağacı aşağıda gösterilmiştir. (Şekil 4.8)



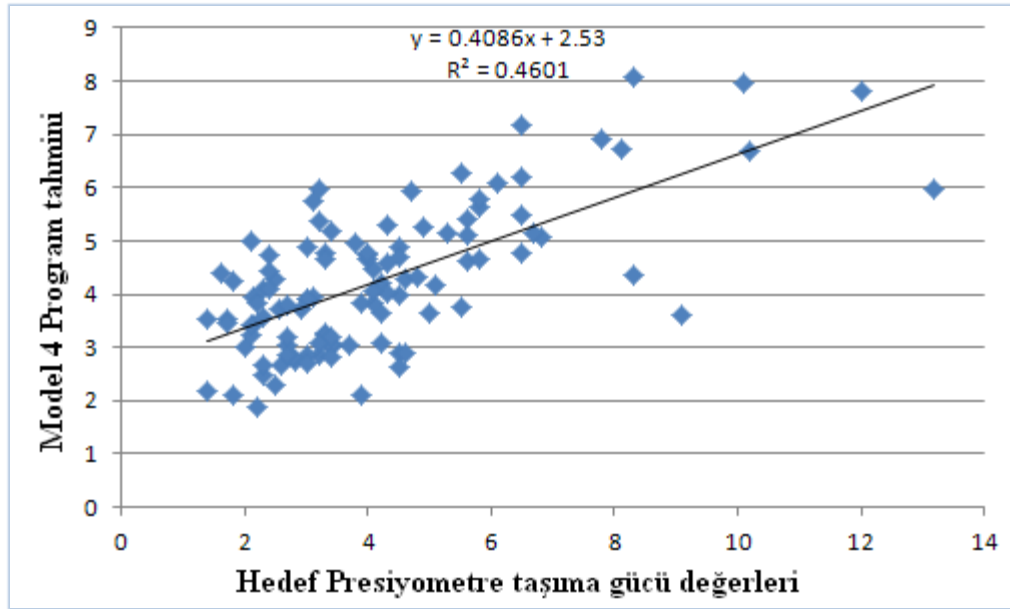
**Şekil 4.8** Doğal birim hacim ağırlık( $d_0$ ), özgül ağırlık ( $d_1$ ), su içeriği ( $d_2$ ) değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü formül ağacı

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (1) = (Sin((Cos((G1C1*d(2))))+((G1C2+d(0))*d(1))))-G1C0} \quad (4.10)$$

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (2) = qu * ((d(0)-G2C0)/((Sin(d(2))+d(1))+d(2)-G2C0))} \quad (4.11)$$

$$\text{Presiyometre Taşıma Gücü (qu) (3) = qu * (Cos((d(0)*((d(0)*G3C0)-(d(1) * G3C1 ))) + G3C2)} \quad (4.12)$$

Şekil 4.8’ de projelerden alınan laboratuvar deney sonuçlarından doğal birim hacim ağırlık (d0), özgül ağırlık (d1), su içeriği (d2) kullanılarak presiyometre taşıma gücü tahmini yapılmış denklem ağacı program tarafından çizilmiştir ve tahmini taşıma gücü denklemi yazılmıştır. Aşağıda da bu sonuçlardan yapılan tahminlerin yaklaşık korelasyon doğruluğu Microsoft Office Excel yardımıyla grafik haline getirilmiş, ulaşılmak istenen taşıma gücü ve programdan çıkan modelle birlikte korelasyonu yapılmıştır. (Şekil 4.9)



**Şekil 4.9** Doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği değerleri kullanılarak tahmin edilen presiyometre taşıma gücü değerleri korelasyonu

Doğal birim hacim ağırlık (d0), özgül ağırlık (d1), su İçeriği (d2) girilerek alınan tahmini sonuçların presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü sonuçları ile korele edilmesi sonucu düşük korelasyon değeri ( $R^2 = 0.46$ ) elde edilmiştir. Tahmini presiyometre taşıma

gücü değerleri ile gerçek değerler arasındaki ilişki regresyon analizinde iyi sonuç vermemiştir.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapıların projelendirilmesinde zemin etütleri arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen sonuçlar kullanılmaktadır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen verilerde numune almakta karşılaşılan örselenme, numunenin yerindeki özelliklerini karşılamaması, yeterli numune alınamaması gibi birçok olumsuz durumla karşılaşılmaktadır. Presiyometre deneyinde ise arazide proje yerinde doğal ortama yakın şartlarda elde edilen verilerin daha güvenilir sonuçlar verdiği kabul edilmektedir. Ancak presiyometre deneyinin yapılmasındaki güçlükler, zaman kaybı ve ekonomikliği düşünüldüğünde presiyometre deney sonuçlarından elde edilen taşıma gücü değerinin laboratuvar deney sonuçlarıyla yakın ilişkili olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada laboratuvar deney sonuçları kullanılarak presiyometre deneyinden hesaplanan taşıma gücü tahmin edilmeye çalışılmıştır. DSİ projelerinden alınan 160 adet laboratuvar (elek analizi, Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su içeriği) ve arazi deney sonuçları kullanılarak tahminler yapılmış ve denklemleri çıkartılarak korelasyon yapılmıştır.

Başlangıçta 32 adet tek eksenli basınç dayanımı deney sonucundan basit (tekli) korelasyon yapılmış oldukça yüksek korelasyon katsayısı ( $R^2 = 0.82$ ) elde edilmiştir.

Model 1' de tüm laboratuvar verileri (elek analizi, Atterberg limitleri, doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su içeriği) kullanılarak yapılan tahminde presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerinin formülü çıkartılmış, programdan çıkan yaklaşık değerlerin presiyometre taşıma gücü değerleri ile korele edilmesinden yüksek korelasyon katsayısı ( $R^2=0.80$ ) değeri elde edilmiştir. Daha sonra spesifik deney gruplarına geçilmiştir.

Model 2' de elek analizi (çakıl, kum, ince materyal yüzdeleri) verileri kullanılarak yapılan tahminde presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerinin formülü çıkartılmış, programdan çıkan yaklaşık değerlerin presiyometre taşıma gücü değerleri ile korele

edilmesinden düşük korelasyon katsayısı ( $R^2=0.40$ ) değeri elde edilmiştir. Sonuç olarak elek analizi değerlerinin presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerlerinde etkisi zayıftır.

Model 3' de Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, plastisite İndisi) verileri kullanılarak yapılan tahminde presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerinin formülü çıkartılmış, programdan çıkan yaklaşık değerlerin presiyometre taşıma gücü değerleri ile korele edilmesinden yüksek korelasyon katsayısı ( $R^2=0.83$ ) değeri elde edilmiştir. Atterberg limitleri değerlerinin presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerlerine etkisi oldukça yüksektir.

Model 4' de doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık, su içeriği verileri kullanılarak yapılan tahminde presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerinin formülü çıkartılmış, programdan çıkan yaklaşık değerlerin presiyometre taşıma gücü değerleri ile korele edilmesinden düşük korelasyon katsayısı ( $R^2=0.46$ ) değeri elde edilmiştir. Doğal birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su içeriği deney sonuçlarının presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değerlerine etkisi zayıf olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Çalışmada yapılan analizlere göre Atterberg limitlerinden (likit limit, plastik limit, plastisite indisi) elde edilen sonuçlar kullanılarak o seviyedeki zeminin presiyometre deneyinden elde edilen taşıma gücü değeri % 83 oranında tahmin edilebilmektedir.

## KAYNAKLAR

Aleisa, E. E., Lin, L., “For Effective Facilities Planning: Layout Optimization Then Simulation, Or Vice Versa, *2005 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, December 4-7, USA, 2005.

Apageo, Pressuremeter Training, Principle of Menard Pressuremeter Test, France, 2009.

ASTM, D 4719 – 07, Standard test methods for Prebored Pressuremeter testing in soils, *American Society for Testing and Materials*, USA, 2013.

B.G. Clarke., Pressuremeters in Geotechnical Design, *Department of Civil Engineering University of Newcastle*, London, 1995.

Birogul, S., Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme, Yüksek Lisans Tezi *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2005.

Brown, D. E., Huntley, C. L., Spillane, A. R., “A Parallel Genetic Heuristic for The Quadratic Assignment Problem”, *In Proc of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms*, *George Mason University*, 406-415. USA, 1989.

Bozer, Y.A., Meller, R.D., Erlebacher, S.J., “An improved-type layout algorithm for single and multiple-floor facilities”. *Department of Industrial of Operations Engineering The University of Michigan Management Science* 40 (7): 918–932, December, 1991.

Çetin, N., “Genetik Algoritma”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul , 2002

D.E., Goldberg., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison – Wesley Publishing Co, inc. USA, 1989.

Duman., C., Genetik Algoritma İle Tesis Yerleşimi Tasarımı ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2007

Emel., G.G., Taşkın., Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, Cilt XXI, Sayı 1 s.129-152, Bursa, 2002.

Engin., O., Akış Tipi Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritma ile Çözüm Performansının Arttırılmasında Parametre Optimizasyonu, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2011.

Gümüş, V., Presiyometre Deneyi, *Dsi 10.Bölge Müdürlüğü*, Diyarbakır, 2009.

Gürsoy, N., Jeoteknik Etütlerde Presiyometre Deneyi, *Jeoloji Mühendisleri Odası*, Ankara, 2008.

Gen, M.,Cheng,R., Genetic Algorithms and Engineering, Optimization, *John Wiley Sons, Inc.*, Usa, 2000.

Gen, M.,Genetic Algorithms and Industrial Engineering, *Computers and Industrial Engineering*, Vol.30, N.4, pp835-837, 1996.

İşçi, Ö., Korukoğlu, S., “Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Arastırmasında Bir Uygulama”, *Celal Bayar Üniversitesi*, Cilt:10, Sayı:2, Manisa, 2003.

Kayabaşı A., Presiyometre Deneyi, *Jeoloji Mühendisleri Odası*, Ankara, 2002.

Kulluk, S., "Tesis Yerleşimi Problemlerinde Genetik Algoritmalar ve Bir Genetik Algoritma Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 2003.

Menard, L., Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results, *Soil-Soils Techniques*, France, 1975.

Özaydın V., Zemin Mekaniği Laboratuvar Deney Yöntemleri, Formları ve TS EN ISO/IEC 17025' e Göre Belirsizlik Hesapları, *DSİ Teknik Araştırma Kalite Kontrol Daire Başkanlığı*, Ankara, 2012.

Sevim, B.. Temel Sondajı Kaya Mekaniği Arazi Deney Notları, *Hermes Tanıtım Ofset Ltd.Şti*, Ankara, 2012.

Şekercioğlu, E., Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, *Jeoloji Mühendisleri Odası*, Ankara, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

Cemal Yıldız 27.11.1981 tarihinde Mersin İli Gülnar İlçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Gülnar’ da tamamladı. 1999 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümüne girdi ve 2004 yılında mezun oldu. Çeşitli zel firmalarda zemin etüdü üzerine çalıştıktan sonra, 2010 yılında Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünde Mühendis kadrosunda göreve başladı. 2011 yılında Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda yüksek lisans eğitimine başladı. Halen burada öğrenimine devam etmektedir.