

28739

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİR ALANIN JEOFİZİK ETÜDÜ
İLE ZEMİN ETÜDÜNÜN
KARŞILAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEOFİZİK MÜHENDİSİ ÜMİT ŞEN

İSTANBUL 1993

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmamda değerli bilgilerinden yararlandığım sayın hocam Prof. Dr. Tuncer KODAMANOğLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her konuda yardımlarını esirgemeyen Arő. Görv. Tayfun ULUSOY'a, katkılarından dolayı Belirti Mühendisliğe, kaynaklarından yararlanmamı sağlayan British Council'e ve yazımda geçen emeklerinden dolayı Master Sigorta çalıőanlarına teşekkür ederim.

1993-İSTANBUL

ÜMIT ŞEN

ÖZET

Zeminlerin mühendislik özelliklerinin araştırılması, zeminlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Yeraltı araştırmalarında kullanılan jeofizik yöntemler, fiziksel ve mekanik özelliklerden yararlanarak bunların yeraltında değişime uğramasıyla tabakalanma, süreksizlik, yeraltı suyu v.b. gibi yeraltı yapılarını ortaya çıkartır.

Zemin etüdü özellikle inşaat mühendisliğinde karşılaşılan problemlerin giderilmesinde yararlıdır. Karşılaşılan temel inşaatı problemlerine ek olarak Türkiye'nin deprem kuşağında olduğu da dikkate alınırsa bu konunun çok hassas olduğu ortaya çıkar. Bundan dolayı etüdüde olabildiğince fazla bilgi elde etmeye çalışılmaktadır. Bunun içinde yeraltı araştırmalarında kullanılan yöntemlerden yararlanılmaktadır.

Bu çalışmada zemin etüdü ile belirlenmeye çalışılan zeminlerin mühendislik özelliklerinden ve bunların araştırılmasında kullanılan laboratuvar ve arazi deney yöntemlerinden bahsedilmiştir. Bu yöntemleri destekleyici yönde yapılan jeofizik yöntemlerden rezistivite incelenmiştir. Bunların korelasyonu arazi uygulaması ile sağlanmıştır.

Arazi uygulaması 200 konutun yerleşim alanı olarak düşünülen İstanbul ili, Bakırköy ilçesi, Sefaköy semtinde yapılmıştır. Bu uygulamada jeoloji, jeoteknik, jeomekanik ve jeofizik yöntemler kullanılmıştır. Kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar açıklanmış ve yöntemlere ilişkin sonuçlar karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

Researches for engineering characteristics of the ground bases are done by utilizing physical and mechanical features of the ground. Geophysical procedures employed for subterranean research, reveal varying subterranean formations such as stratification, inconstancy, subterranean waters, etc. by means of utilizing physical and mechanical features.

Ground surveys are especially practical for solving the problems encountered at civil engineering works. In addition to foundation problems of constructions added is the Turkey's being at the earthquake zone, once again underlies the importance of the question. Therefore, the maximum information yields are being sought at the surveys. There comes handy are the processes employed for subterranean researches.

This study examines engineering characteristics of the ground that is tried to be determined via ground surveys, and field researches together with laboratory analytical methods used for determining these characteristics. Resistivity of geophysical methods employed to support these processes, was scrutinized. Correlation of these were provided through field applications.

Field applications were effected at the site that is planned to be a habitation of 200 housing estates in the vicinity of Sefaköy District of the Bakırköy Country, İstanbul. This application hosted geological, geotechnical, geomechanical and geophysical methods. The applied methods and the results were described, and the methodological results were duly compared with each others.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

TEŞEKKÜR

ÖZET

ABSTRACT

1. GİRİŞ	1
2. ZEMİN OLUŞMASI	2
2.1. KİMYASAL AYRIŞMA	2
2.2. FİZİKSEL AYRIŞMA	3
3. ZEMİN DANELERİNİN BİÇİMİ	4
4. KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ	6
4.1. KAYAÇLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	6
4.1.1. BİRİM HACİM AĞIRLIK	6
4.1.2. ÖZGÜL AĞIRLIK	8
4.1.3. DOĞAL SU İÇERİĞİ	8
4.1.4. YOĞUNLUK	9
4.1.5. POROZİTE	9
4.1.6. BOŞLUK ORANI	10
4.1.7. DOYGUNLUK DERESESİ	10
4.1.8. SU EMME	10
4.1.9. PERMEABİLİTE	11
4.1.10. DANE DAĞILIMI	14
4.1.11. KIVAM LİMİTLERİ	16
4.1.12. ZEMİNLERİN KÜTLE ÖZELLİKLERİ	20
4.1.13. BİRİM HACİM AĞIRLIK BELİRLENMESİ	23
4.1.14. ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ	23
4.1.15. ATMOSFER BASINCI ALTINDA SU EMME DENEYİ	23
4.1.16. ELEK ANALİZİ	24
4.1.17. ÇÖKELTME ANALİZİ	25
4.1.18. KIVAM LİMİTLERİNİN BELİRLENMESİ	26
4.1.19. PERMEABİLİTE KATSAYISININ BELİRLENMESİ	27
4.1.20. ZEMİNİN SU İÇERİĞİNİN TAYİNİ	28

4.2. KAYAÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ (DİRENÇ ÖZELLİKLERİ)	28
4.2.1. TEK EKSENLİ BASINÇ DİRENCİ	30
4.2.2. KAYAÇLARIN ÇEKME DİRENCİ	31
4.2.3. KAYAÇLARIN KESME VE KAYMA DİRENCİ	31
4.2.4. KAYAÇLARIN TAŞIMA DİRENCİ	32
4.2.5. GERİLME-ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE KAYMA MUKAVEMETİNİN BELİRLENMESİ	33
4.2.6. ARAZİ DENEY YÖNTEMLERİ	35
5. ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI	37
5.1. GİRİŞ	37
5.2. OLUŞ BİÇİMLERİNE GÖRE SINIFLAMA	38
5.2.1. YERLİ ZEMİNLER	38
5.2.2. TAŞINMA ZEMİNLER	38
5.2.3. ORGANİK ZEMİNLER	38
5.3. DANE BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE SINIFLAMA	38
5.4. KOMPAKSİYON SINIFLANDIRILMASI	41
5.5. KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK AÇIDAN SINIFLANDIRILMASI	42
5.5.1. KAYAÇLARIN BASINÇ DİRENÇLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI	42
5.5.2. KAYAÇLARIN BASINÇ DİRENCİ VE NOKTA YÜKLEME DİRENÇLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI	42
6. ZEMİN SUYU	43
7. ZEMİNLERİN KOMPAKSİYONU VE ÖLÇÜLMESİ	45
7.1. ZEMİN KOMPAKSİYONUNUN ÖLÇÜLMESİ	46
8. ELEKTRİKSEL REZİSTİVİTE VE YÖNTEMİN İLKESİ	47
8.1. ELEKTRİKSEL REZİSTİVİTE	47
8.2. KAYAÇLARIN ÖZDİRENCİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	48
8.3. HOMOJEN İZOTROP ORTAM VE AKIMIN YAYILIŞI	53
8.3.1. TABAKALI ORTAM	54
8.3.2. REZİSTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	55
8.3.3. ÖLÇÜ SİSTEMLERİ	60

9. ARAZİ UYGULAMASI	69
9.1. GİRİŞ	69
9.2. BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ	71
9.3. JEOMEKANİK ÇALIŞMALAR	74
9.3.1. STANDARD PENETRATION TEST ÖLÇÜMLERİ	74
9.3.2. JEOMEKANİK KESİTLER	89
9.3.3. KAT HARİTALARI	93
9.4. JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR	98
9.4.1. DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI	98
9.4.2. ÖRTÜ BASKISI	98
9.4.3. DOĞAL SU İÇERİĞİ	99
9.4.4. BİRİM TEMEL PAPUCUNA BİTEN YÜK	99
9.4.5. ZEMİN DANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI	100
9.4.6. KIVAM LİMİTLERİ	100
9.4.7. CASAGRANDE SINIFLANDIRMASI	103
9.4.8. A.B.D. KARAYOLLARI SINIFLANDIRMASI	103
9.4.9. SİVİL HAVACILIK İDARESİ SINIFLANDIRMASI	103
9.4.10. CALIFORNIA TAŞIMA ORANI	103
9.4.11. KOMPAKSİYON DENEYİ	104
9.4.12. DENEY SONUÇLARI	104
9.5. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR	106
9.5.1. JEOFİZİK ETÜD SONUÇLARI	112
10. SONUÇLAR	115
11. EKLER	118
12. KAYNAKLAR	127

ÖZGEÇMİŞ

1. GİRİŞ

Zemin tanımlaması, genel olarak kayaçların parçalanması neticesinde oluşan malzeme kütlesidir. Bu tabaka genç çökellerden oluşmaktadır. İnşaat malzemesi olarak zeminin mühendislik özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir.

İlk olarak zemin tanımlamalarına bir göz atalım.

Mühendislik Jeolojisinde zemin, yerkabuğu içindeki sağlam taşların, ayrışma sonunda parçalanıp ufalanması ile meydana gelen danelerin, buldukları veya götürüldükleri yerde birikerek, birbirine yapışmadan meydana getirdikleri malzeme veya toprak kütlesidir.

Jeofizikte zemin, masif kaya ve kayaların parçalanarak gelişmesinden doğan ufak daneciklerin yığılından oluşmuştur.

Zemin mekaniğinde zemin, kayaların çevre koşulları etkisi altında ayrışması ve parçalanması sonucu meydana gelmektedir.

Kaya Mekaniğinde zemin, kendi aralarında kohezyonlu ya da aksine toz halinde olabilirler. Prensipte olarak çok zayıf bir mekanik dirence ve kuvvetli bir şekil değiştirme özelliğine sahip olurlar. Aksine olarak kayalar, az sıkışabilir kabul edilmişlerdir. Aslında zeminler ile kayalar arasındaki farklar her zaman kesin bir şekilde belirlenmiş de değildir.

- Zeminler ve kayalar, yalnızca parçalanma ölçüsü yani granülometri dolayısıyla değil fakat öncelikle bu parçalanmanın dağılım oranı dolayısıyla ayrılırlar. Zeminlerin kayalara göre ince ve homojen şekilde parçalanmış olduğunu, kayalarında ortalama olarak d_m 'nin üzerinde boyutlu özel parçalanma yönleri gösterdiğini söylemek uygun düşer.

- Zeminler genelde yüzeysel bir tabaka oluştururlar bunların çökme yaşı çok yenidir. Bütün doğal içsel basınçlarında kaybederler. Buna karşılık kayalar, şimdiki yahut geçmişteki derin yataklarının etkisiyle genel olarak sıklığı ve kohezyonu arttıran sıkışmalara maruz kalmışlar ve kendilerine özgü mekanik özellik kazanmışlardır.

- Zeminler kayalara kıyasla sulardan şiddetle etkilenirler. Su, zeminlerin hacim ve direncini kayda değer şekilde değiştirebilir. Kayalar üzerinde ise pek az etkisi vardır.

Bu tanımlamalardan kaya ile zeminin ayrı olduğunu söyleyebiliriz. Zemin mekaniği ve temel inşaatı problemlerinde zeminin incelenmesi ve

mühendislik özelliklerinin çıkartılması gerekmektedir. Zeminin incelenmesinde jeolojik, jeomekanik, jeoteknik ve jeofizik yöntemler uygulanır. Jeofizik çalışmalara göre diğerleri çok yüzeysel kalmaktadır. Zemin içinde yeraltı suyu bulunabilir, ayrıca bazı çalışmalarda sağlam kayanın belirlenmesi gerekebilir. Jeofizik çalışmalarla jeomekanik bulgular desteklenir ve yeraltı suyu, tabakalanma, sağlam kaya araştırmaları yapılabilir.

Zemin etüdünde kullanılan bu metodlar kayaların mühendislik özellikleriyle ve bu özelliklerin su, basınç gibi etkenlerle değişimiyle ilişkilidir. Özellikle jeofizik metodlarda doğrudan kayaçların fiziksel özelliklerinden yararlanarak yeraltı araştırması yapılır.

Bu çalışmada zemini oluşturan kayaların mühendislik özellikleri, bu özelliklerin belirlenmesi, çeşitli faktörlerle değişimi, jeofizik yöntemlerinden rezistivite ve arazi uygulaması vardır. Uygulanan rezistivite yöntemi, kayaçların elektriki özelliklerinden faydalanılarak uygulanır ve bu özellikle yeraltı yapısı çıkarılır. Bu özellik, kayaçların fiziki özellikleri ile de değişim gösterir.

Açıklamalarda amaç zemin etüdünün daha iyi uygulanabilmesi ve kullanılan metodların korelasyonunun sağlanmasıdır. Metodların birbirini desteklediği açıktır. İyi bir zemin etüdü bu metodların uygulanması ile elde edilir.

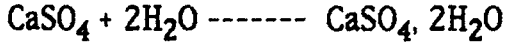
2. ZEMİN OLUŞMASI

Zemin oluşması yerkabuğundaki kayaların parçalanıp ayrışması ile olur. Bu ayrışma iki türlü olur: 1- Kimyasal, 2- Fiziksel.

2.1. KİMYASAL AYRIŞMA

İçinde erimiş veya çözülmüş O_2 veya CO_2 de bulunduran sular, kayaçlara ve minerallere etkiyerek bünyelerinde kimyasal değişikliklere neden olurlar; buna Dekompozisyon (Decomposition) veya Alterasyon (Alteration) denir. Kimyasal ayrışmada iyonik ve moleküler çözümler meydana geldiğinden çözünen kısımlar çoğunlukla yerlerinde kalarak Yerli Kalıntı Zeminleri oluştururlar. Kayaçların kimyasal ayrışmaları dört değişik yolla olur.

1. HİDRATLAŞMA (HİDRATASYON): Minerallerin havadaki sudan etkilenecek bünyelerine su almaları olayıdır. Kaolen, Talk, Klorit, Jips ve Limonit bu yolla oluşmuş sulu silikatlardır.



Anhidrit+molekül su Jips= alçıtaşı

Hidratasyon sırasında minerallerin sertliklerinde azalma ve hacimlerinde artma meydana gelir.

2. OKSİTLEŞME (OKSİDASYON): Havadaki rutubetin ve oksijenin sebep olduğu oksidasyon ekseriya hidratasyon ile beraber olur. İçinde demir sülfür olan (Pirit, Markasit, Pirotit) bütün taşlar ile içinde demir oksit olan silikatlar (Piroksen, Anfibol, Mika, Olivin) ve karbonatlar içindeki Pirit okside olarak bileşimleri değişir. Ekseri maden yataklarının üst kısmında bu olaylara rastlanır.

3. KARBONATLAŞMA (KARBONASYON): Karbonat veya bikarbonat iyonlarının bazılarla birleşip karbonat tuzları oluşturmasına denir. Karbonik asit zayıf bir asit olmasına karşın ayrıştırma özelliği yüksektir. Karbonasyon, Hidratasyon ile beraber olur. Karbonik asitli sular feldspata, hornblende, mikaya, olivine, v.b. etkileyerek değişimlerine neden olur.

4. ERİME (SOLÜSYON): Yeraltı sularının mineralleri eritmesidir. Bu olayı Hidratasyon, Karbonasyon ve Oksidasyon işlemleri kolaylaştırır. Bu sular; yumuşak, kalkerli ve marnlı bölgelerde kayaçları eriterek karstik olayları meydana getirirler. Eriyen malzeme daha sonra başka bölgelerde çökerek yeni zeminler oluştururlar.

Suların erittiği mineraller:

- Akarsularla denizlere gider (çökeliş kayaçları oluşturur).
- Çoğu, sızıntı suları ile derine toprak içine sürüklenir.
- Kısmen ayrışma sahasında çökeliş (mağaralarda).
- Bazıları da zeminde emilerek kalırlar (maden yataklarının zenginleşmesi).

2.2. FİZİKSEL AYRIŞMA

Aşağıda sıralanan dört fiziksel etken kayaç ve mineralleri şekil bakımından parçalarlar. Fakat bileşim bakımından bir değişikliğe yol açmazlar.

1. GÜNEŞLENME SÜRESİ VEYA SICAKLIK DEĞİŞİMİ SURETİYLE ZEMİN OLUŞUMU: Doğadaki günlük ve mevsimlik sıcaklık değişimleri nedeniyle kayalar sürekli güneşlenip büzülerek parçalanırlar. Kayaları oluşturan minerallerin fiziksel özellikleri farklı olduğundan genleşme-büzülme miktarları da birbirinden farklı olur. Bu anizotropik durum parçalanmayı daha da hızlandırır.

2. RÜZGAR ETKİSİYLE ZEMİN OLUŞUMU: Özellikle kurak ve çıplak arazide etkili olur. Rüzgarların ve bunların taşıdıkları malzemenin kayalara çarparak onları aşındırmaları ve kısmen olduğu yerde (in situ) kısmende çökeltme havzalarına taşarak orada zemin oluşturmaları sık rastlanan olaylardandır.

3. YAĞMUR VE AKARSU EREZYONUyla ZEMİN OLUŞUMU: Yağmur damlaları yumuşak kayalara çarparak onları aşındırırlar. Akarsular ise akış sırasında hem kendi kütleleri, hem de sürükledikleri malzemenin çarpması ile kayacı aşındırır, parçalar ve zemin oluşumuna yardımcı olurlar. Bu olayda akış hızı taşınan malzemenin şekli, boyutu, sertliği, yoğunluğu ile aşınan kayaların petrografik özellikleri önemli etkenlerdir.

Akarsuyun taşıma yükü, hızının karesiyle orantılıdır. Yani hız iki kez büyürse taşıma yükü dört kez artar. Aynı hacim ve ağırlıktaki danelerden en küçük olanlar yani küresel olanlar önce çöklerler.

4. DONMA İLE ZEMİN OLUŞUMU: Kayacın çatlak ve boşluklarında, tabaka aralarında suların donması halinde %9 civarında bir hacim genleşmesi yaklaşık 160 kg/cm² lik bir basınç oluşturan donma olayı kayaların parçalanmalarına neden olur. Kurak ve sıcak iklim bölgeleri dışında don olayı da erezyon ve zemin oluşumuna yol açar.

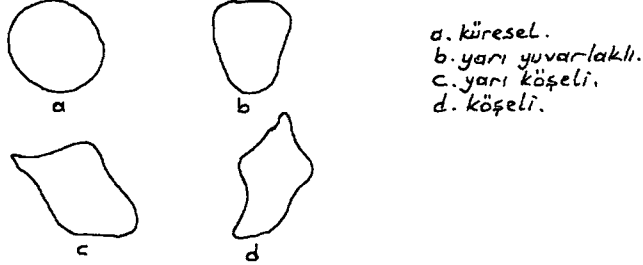
Bunların dışında, kayaca yaklaşık 10 kg/cm² lik ozmatik basınç uygulayan bitki kökleri, çökellerdeki kayaların içerisine giren tuzların kristalleşme basınç ve nihayet soğuk bölgelerdeki buzullarda erezyona ve dolayısıyla zemin oluşumuna neden olur.

3. ZEMİN DANELERİNİN BİÇİMİ

Zemin oluşumu kayaların mekanik ve fiziksel ayrışması sonucu oluşmuştur. Bu ayrışma değişik şekillerde dane oluşmasına yol açar. Kayalar içerisinde duraylı mineraller daha büyük daneler, duraysız

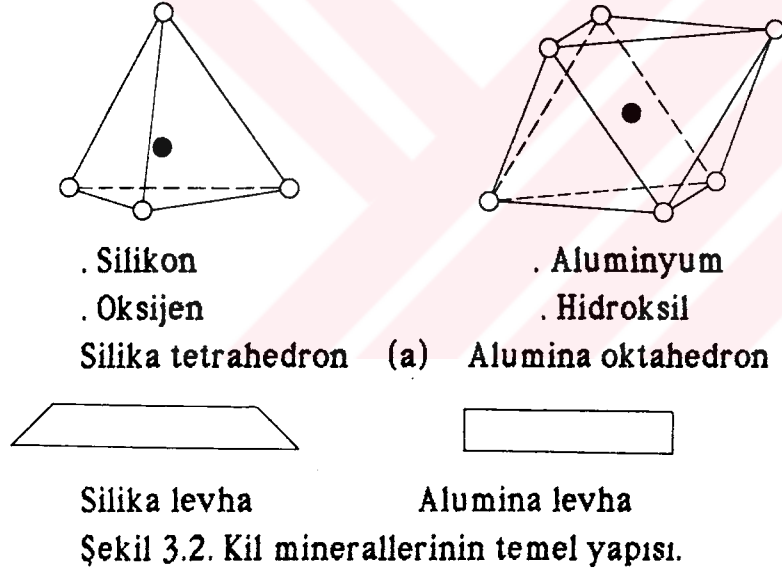
mineraller ise daha ince ve ufak danelere ayrılırlar. Buna göre birbirinden çok farklı zemin dane biçimleri oluşmuş olur.

İri daneli zeminlerde dane biçimi küresel, köşeli, yarı yuvarlak ve yarı köşeli olarak gösterilebilir.

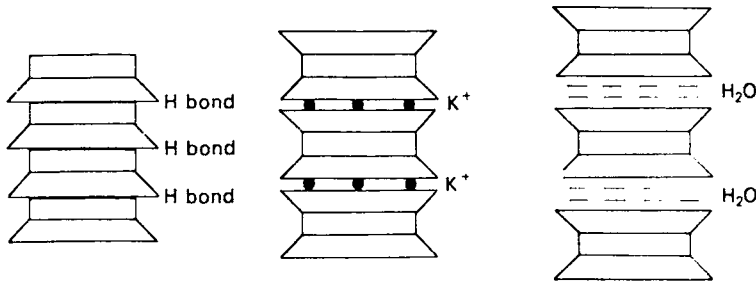


Şekil 3.1. İri daneli zeminlerin dane biçimleri.

İnce daneli zeminlerin dane biçimi ise plaka şeklinde olmaktadır. Özellikle kil mineralinin yapısı şekilde görüldüğü gibi olmaktadır.



Şekil 3.2. Kil minerallerinin temel yapısı.



Şekil 3.3. Kil mineralleri.

Görüldüğü gibi kil mineralleri levhalar şeklinde oluşmaktadır. Danelerin yüzey alanlarının hacimlerine (veya ağırlıklarına) oranı spesifik yüzey olarak tanımlanmaktadır.

Spesifik (Özgül) yüzey= Yüzey alanı/ hacim.

Kil danelerinin mineral yapısına bağlı dane boyutu değişimi ve spesifik yüzey değişim değerleri aşağıdadır.

Kil Minerali	Dane Kalınlığı ($\times 10^{-6}$ mm)	Dane Çapı ($\times 10^{-6}$ mm)	Spesifik Yüzey (km^2/kg)
Kaolin	50-2000	300-4000	0.015
Klorit	30	10.000	0.08
İllit	30	10.000	0.08
Montmorillonit	3	100-1000	0.8

Tablo 3.1. Başlıca kil minerallerinin dane özellikleri.

Bu özellikler danelerin mühendislik özelliklerini kontrol eden ve zemin içindeki su ile etkileşimini kontrol eden çok önemli unsurlardır.

4. KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

4.1. KAYAÇLARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

4.1.1. BİRİM HACİM AĞIRLIĞI (δ)

Birim hacimdeki kayacın toplam ağırlığıdır. Numunenin ağırlığının tüm hacmine bölünmesi ile bulunur. Birimleri gr/cm^3 , ton/m^3 , kN/m^3 dür.

Birim hacim ağırlıklarının değişik değerler almasını etkileyen faktörler, içlerindeki boşluk, çatlak, su miktarıdır. Mühendislik hesaplamalarında kayacın fiziksel durumuna bakılarak birim hacim ağırlığı seçilir.

Çeşitli B.H.A. ları vardır.

a- DOĞAL B.H.A. (δ_n)

Doğal halde bulunan ve içindeki hava, su ve katı kısımları kapsayan bir kayacın B.H.A. dır.

$$\delta_n = \frac{W_t}{V_t} \quad (4.1)$$

W_t = Doğal kayacın toplam ağırlığı

V_t = Doğal kayacın toplam hacmi

b- KURU KISIMLARIN B.H.A. (δ_s)

$$\delta_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (4.2)$$

W_s = Kayacın katı kısmının ağırlığı

V_s = Kayacın katı kısmının hacmi

c- SUYA DOYGUN HALDEKİ B.H.A. (δ_d)

d- KURU HALDEKİ B.H.A. (δ_k)

$$\delta_k = \frac{W_s}{V_t} \quad (4.3)$$

Kuru birim hacim ağırlığının max. değeri Proctor deneyi ile saptanır. Zeminlerde en büyük kuru birim hacim ağırlığının elde edildiği su içeriğine "optimum su içeriği" denir.

B.H.A. etkileyen parametreler

- Kayacın su içeriği.
- Minerolojisi.
- Fiziksel özellikleri.
- Kimyasal bileşimi.
- Porozite ve çimentolanma derecesi.
- Çatlaklık, ayrışma.

Genellikle az poroziteli, az su emme ve yüksek özgül ağırlık değerli kayaların birim hacim ağırlıkları diğerlerinden yüksek olur.

BAZALT	3 ton/m ³
GRANİT	2.75 ton/m ³
KALKER	2.55 ton/m ³
KİLLİ ŞİST	2.50 ton/m ³
ÇAKIL	1.90 ton/m ³

Tablo 4.1. Bazı kayaların D.B.H.A. değerleri.

4.1.2. ÖZGÜL AĞIRLIK (G)

Birim hacimdeki cismin ağırlığının, suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Birimi yoktur. Kayaçların doğal özgül ağırlıkları boşluk oranına ve su miktarına göre değişen bir değerdir. Ancak, kayaçların dane özgül ağırlıkları değişmez.

$$G_s = \frac{\delta_s}{\delta_w} \quad (4.4)$$

δ_s - Danelerin B.H.A.

δ_w = Suyun B.H.A.

Porozitesi düşük olan kayaçların kuru ve doymun özgül ağırlıkları eşdeğer sayılabilir. Porozitesi yüksek olan kayaçlarda aradaki fark büyük olabilir. Özgül ağırlık temel inşaatlarında, istinat duvarlarının hesaplarında, şevlerin stabilite problemlerinde kullanılır.

Özgül ağırlık laboratuvarında piknometre denilen hacimsel ölçülü kaplar ile saptanabilir.

4.1.3. DOĞAL SU İÇERİĞİ (W_n)

Kayaçın içerdiği suyun ağırlığının katı kısmın ağırlığına oranının % olarak ifadesidir.

$$\%W_n = \frac{\text{Su ağırlığı}}{\text{Katı ağırlık}} \times 100 \quad (4.5)$$

Kayaçın doğal su içeriği yeraltı su düzeyine, mevsimlere, yerüstü ve yeraltı suyu hareketlerine göre değişir. Su içeriğinin değişmesiyle, kayaçların mekanik ve direnç özelliklerinde değişmeler olur.

4.1.4. YOĞUNLUK (d)

Kütlenin hacme oranıdır. Birimi gr/cm^3 'dür.

Eş anlamlıymış gibi kullanılan BHA, özgül ağırlık ve yoğunluk terimlerini tekrar yazarsak;

$$d = \frac{m \text{ (gr)}}{V \text{ (cm}^3\text{)}} \quad m = \frac{F \text{ (ağırlık)}}{g \text{ (yer çekimi ivmesi)}} \quad (4.6)$$

$$d = \frac{F}{V \cdot g}$$

$$\text{BHA} : \delta = \frac{\text{Ağırlık (F)}}{\text{Hacim (V)}}$$

$$\text{Özgül Ağırlık} : G_s = \frac{\text{Kayacın BHA}}{\text{Suyun BHA}}$$

<u>Mineral</u>	<u>(gr/cm³)</u>
KUVARS	2.60
TALK	2.75
KALSİT	2.8-2.9
DOLOMIT	2.87
ANHİDRİT	3
OLİVİN	3.30
LİMONİT	3

Tablo 4.2. Bazı minerallerin yoğunlukları.

4.1.5. POROZİTE (n)

Bir kayacın porozitesi, içinde bulunan boşlukların hacminin (V_b), tüm hacme (V_t) oranıdır. % olarak ifade edilir.

$$\%n = (V_b/V_t) \times 100 \quad (4.7)$$

4.1.6. BOŞLUK ORANI (e)

Bir kayacın boşluk hacminin (V_b), katı kısımlarının hacmine oranıdır (V_s).

$$\% e = (V_b/V_s) \times 100 \quad (4.8)$$

Porozite ve boşluk oranının bilinmesi, sızma problemlerinde, permeabilitenin saptanmasında, baraj temellerinde ve çatlaklı kayaların içinde su hareketlerinin bilinmesinde ve temellerde oturma hesaplarında zorunludur.

4.1.7. DOYGUNLUK DEREJESİ (S)

Doğal halde süreksizlikleri ve boşlukları bulunan bir kayacın içindeki su hacminin (V_w), boşlukların hacmine (V_b) oranının % olarak ifadesidir.

$$S = (V_w/V_b) \times 100 \quad (4.9)$$

Ayrık tortul kayalardan kil ve siltlerin doygunluk dereceleri kompaksiyon işlerinde önemli olup, bir kontrol ölçütü olarak kullanılmaktadır. Baraj temellerinde D.D. önem kazanmaktadır.

4.1.8. SU EMME

Bir kayacın emebileceği max. su miktarının kuru ağırlığa oranıdır.

$$\text{Ağırlıkça Su Emme : } S_a = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (4.10)$$

$$\text{Hacimce Su Emme : } S_v = \frac{(P_2 - P_1) / \delta_w}{P_1 / \delta_s} \times 100 \quad (4.11)$$

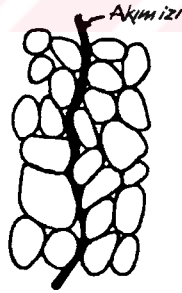
P_2 : Havadaki ağırlık.

P_1 : Kuru ağırlık.

Önemli bir hususta bir kayacın emebileceği max. su miktarının bazen doygunluk eşdeğeri olmayacağıdır. Bazı kayalarda boşluklar birbirleriyle ya da dışarıyla irtibat halinde olmayabilir. Bu nedenle buralara su girmesi imkansızlaşır. Ayrıca killerdeki şişmede suyun girmesine engel olur. Su emme miktarı mekanik özelliklere etki eder. Bu etki iri daneli kayalarda pek fazla önemli olmamakla beraber siltli ve kumlu kayalarda çok önemlidir. Emilen su miktarına göre kayaların mekanik özellikleri, direnci, şekli ve hacmi değişir. Su emen kayaların hacimleri az ya da çok artar ve bunun sonucu olarak ek gerilmeler meydana gelir. Bu özellik tünel ve kazılarda yapılacak destekleme ve kaplamalarda dikkate alınmalıdır. Kayalar emilen suyu verdikçe hacimlerinde küçülme olur, çatlaklar ve istenmeyen deformasyonlar meydana gelir.

4.1.9. PERMEABİLİTE

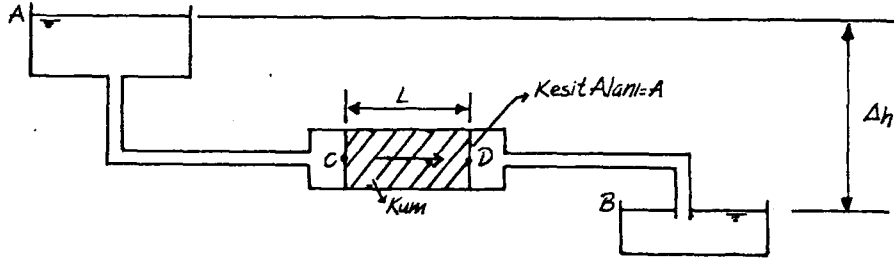
Bir zeminin ya da kayacın suyu geçirme özelliğine permeabilite denir. Permeabilite birim miktardaki bir yük kaybı altında bu ortamın birim kesit ve birim uzunluktaki prizması içinden birim zamanda geçen su miktarıdır. Zemin içinde su boşlukların oluşturduğu kılcal kanallar boyunca ilerler. Ancak bu kanallar düz bir hat çizmezler.



Şekil 4.1. Zemin içinde su dolaşımı.

Mühendislik problemlerinin çözümünde genellikle akımın toplam kesit alanına dik doğrultuda ve sabit hızda gerçekleştiği varsayımında bulunmaktadır (birim uzunluktaki toplam enerji farklılıkları aynı olduğu sürece). Zeminlerin içinden su geçmesine izin veren bu permeabilite özelliği zeminlerin cinsine göre büyük farklılıklar gösterir.

Permeabilite özelliğini deneysel olarak ilk defa Darcy (1856) incelemiştir.



Şekil 4.2. Permeabilite deneyi.

Darcy temiz kum numuneleri ve şekildeki deney düzeni kullanarak akım hızı ile hidrolik eğim arasında lineer bir bağıntı bulunduğunu göstermiştir. Δh , A ve B su seviyeleri arasındaki fark ve akım sırasında borularda enerji kaybı olmadığı kabul edilirse, zemin numunesinin giriş ve çıkış noktaları (C ve D) arasındaki hidrolik eğim $\Delta h/L$ olur. Buna göre Darcy deney sonuçları $q = Q/t = k i A$ ile ifade etmiştir.

Q: Zeminden geçen su miktarı.

t: Zaman aralığı.

q: Birim zamanda geçen su miktarı.

$i = \Delta h/t$ hidrolik eğim.

A: Akım yönüne dik kesit alanı.

k: Permeabilite katsayısı.

Darcy kanununu $V = Q/A = k i$ şeklinde de ifade edebiliriz.

V: Deşarj hızı (zeminin toplam kesitinden geçen suyun ortalama hızı)

Zemin suyu gerçekte zeminin boşluklarından geçer. Boşluklarda akan suyun ortalama hızı ise süreklilik kuralından yararlanılarak ve akım sırasında zeminin hacminin sabit kaldığı varsayılarak,

$$Q = vA = v_s A_v \quad \text{ve} \quad v_s = v \frac{A_v}{A} = v \frac{A_v L}{AL} = v \frac{V_v}{V} = v \left(\frac{1}{n} \right)$$

şeklinde elde edilir. n = porozite, v_s = sızıntı hızı, A_v = boşluk kesit alanı.

Zemin içinde akan suyun hızı ve doğrultusu değişkendir. Deşarj hızı ve sızıntı hızı sırasıyla zeminin toplam kesitinden ve boşlukların toplam kesitinden geçen suyun ortalama hızı olup, şiddetinin ve doğrultusunun (zemin kesitine dik doğrultuda) sabit kaldığı varsayılmaktadır.

Permeabilite katsayısı zeminlere göre değiştiği için tabii zeminlerin permeabilitesinin deneysel olarak ölçülmesi gerekli olmaktadır. Bu belirleme için laboratuvar ve arazi deneyleri mevcuttur. Yapılan ölçümlerde permeabilite katsayısının çok geniş bir aralık içerisinde değiştiğini göstermektedir. Bu da zeminlerin ne kadar değişken olduğunu gösterir.

<u>Zemin Cinsi</u>	<u>Permeabilite katsayısı (m/s)</u>
KİL	$< 10^{-9}$
KUMLU KİL	$10^{-9} - 10^{-8}$
SİLT	$10^{-8} - 10^{-7}$
TURBA	$10^{-9} - 10^{-6}$
İYİ KUM	$10^{-6} - 10^{-4}$
KABA KUM	$10^{-4} - 10^{-3}$
ÇAKILLI KUM	$10^{-3} - 10^{-2}$
ÇAKIL	$> 10^{-2}$

Tablo 4.3. Zemin cinsleri ve permeabilite katsayıları. (Peter L. Berry and David Reid)

Bu kadar geniş aralıklarla değişen permeabilite katsayısını etkileyen parametreler şunlardır:

- Dane çapı dağılımı (Etkif Dane Çapı- D_{10}).
- Boşluk oranı (e).
- Boşlukların ve akım kanallarının biçimi.
- Zeminin suya doygunluk derecesi.
- Yeraltı suyunun özellikleri (yoğunluk, viskozite v.b.)

En önemli etkenlerden biride porozitedir. Porozite ile permeabilite doğru orantılı olarak artar ya da azalırlar. Ancak bazalt, kil, ignimbrit gibi uç örneklerde bu kural tersine dönebilir. Permeabilite katsayısını etkileyen en önemli parametre dane çapı dağılımıdır. Yapılan deneysel ölçümlerde permeabilite katsayısının zeminin efektif dane çapının (D_{10}) karesi ile orantılı olduğu göstermektedir. Hazen (1911) temiz kumlar için bu ilişkiyi $k = CD_{10}^2$ şeklinde vermiştir.

$C \approx 1$ D_{10} mm. cinsinden verilirse k cm/s ede edilir.

Suya doygun zeminlerin permeabilitesinin kısmen doygun zeminlerden biraz daha yüksek olacağıda söylenebilir. Zeminin boşluk oranı arttıka

permeabilitesi de yükselmektedir. Çökeltme sırasında oluşan iç yapı nedeni ile genellikle tabii zemin tabakalarının yatay yöndeki permeabilitesi düşey yönden daha yüksek olmaktadır.

4.1.10. DANE DAĞILIMI

Zemin olarak tarif ettiğimiz malzeme veya toprak kütlesi genel olarak çökeltim veya kayaların parçalanıp ufalanmasıyla meydana gelmiştir. Bu zemini oluşturan katı daneler çok değişik boyutlarda olabildiği gibi, aynı zemin içinde birbirinden çok farklı boyutlarda daneler bir karışım halinde bulunabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı zemin danelerini boyutsal olarak sınırlayıp bir sınıflamaya tabi tutmak gerekmektedir. Zemin daneleri büyükten küçüğe doğru çakıl, kum, silt ve kil olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır.

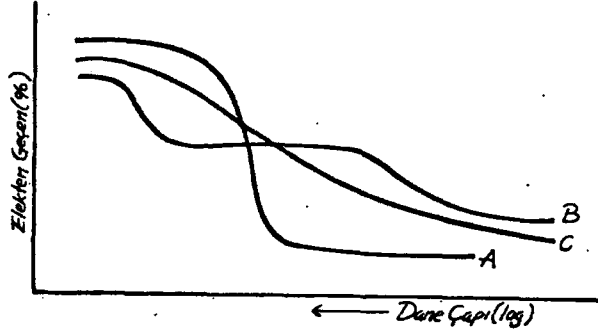
<u>Zemin Cinsi</u>	<u>Dane Boyutu (mm)</u>
ÇAKIL	2.00 (veya 4.75) - 75.0
KUM	0.075-2.00 (veya 4.75)
SILT	0.002 (veya 0.005) -0.075
KİL	< 0.002 (veya 0.005)

Tablo 4.4. Zemin danelerinin boyutlarına göre sınıflandırılması.

Yukarıda çakıllar ve kumlar iri daneli zeminler, siltler ve killer ise ince daneli zeminler olarak nitelendirilmektedir. İri daneli zeminler, dane boyutlarına göre, kaba, orta ve ince kum (veya çakıl) olarak alt gruplara ayrılmaktadır. Zeminler değişik boyutlarda danelerin karışımından meydana geldiği için zemin içindeki dane dağılımının çeşitli deneyler ile belirlenmesi gerekmektedir. Dane boyutunu tanımlamak için ise dane çapı kullanılmaktadır. Daneler küresel değildir ancak deneysel yöntemlerin gereği, iri daneli zeminlerde dane çapı danelinin en büyük boyutuna, ince daneli zeminlerde ise eşdeğer kürenin çapına eşit olarak kabul edilmektedir.

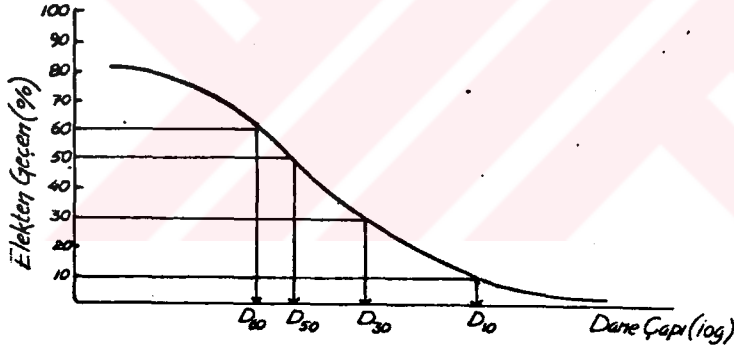
İri daneli zeminlerdeki dane çapı dağılımının bulmak için, elek analizi yöntemi kullanılmaktadır. İnce daneli zeminlerde (siltler ve killer) ise çökeltme analizi yöntemi kullanılmaktadır.

Elek analizi ve çökeltme analizi sonuçları dane çapı dağılımı eğrileri (granülometre) ile gösterilmektedir.



Şekil 4.3. Değişik dane çapı dağılımı eğrileri.

Şekilde üç değişik tipte zemine ait dane çapı dağılımı eğrileri gösterilmiştir. A eğrisi dane çapı dağılımı üniform olan bir zemine, c eğrisi iyi derecelenmiş, B eğrisi ise kötü derecelenmiş bir zemine ait eğriyi göstermektedir. Zeminlerin dane çapı dağılımı bu eğrilere benzeyebilir veya daha farklı olabilir.



Şekil 4.4. Dane çapı dağılımı eğrisinden elde olunan bazı özel dane boyutu değerleri.

Şekilde gösterilen dane çapı dağılımı eğrisinden üç tipik çap değeri okunarak, zeminin üniformluk katsayısı, C_u ve derecelenme katsayısı, C_c ,

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10}) \cdot (D_{60})} \quad (4.12)$$

$C_u < 5$ üniform zemin,

$5 < C_u < 15$ üniform olmayan zemin,

$C_u > 15$ üniformsuzluğu çok fazla olan zemin.

D_{50} ortalama dane boyutun, D_{10} efektif dane çapını gösterir. Ünlormluk katsayısının değeri büyüdükçe zemin daha iyi derecelenmiş olmaktadır.

DANE ÇAPI DAĞILIMININ MÜHENDİSLİKTE ÖNEMİ

Dane çapı dağılımı zeminlerin birçok mühendislik özelliğini etkilemektedir.

Zeminin su geçirgenliği, zeminin mukavemeti, zeminin sıkışabilirliği özellikleri dane çapı dağılımına bağlı olarak değışir. Zemin içindeki kapiler su yükselmesi dane çapı dağılımından doğrudan etkilenmektedir. Zeminlerin dondan etkilenme oranı dane çapı dağılımına bağımlı olmaktadır. Ayrıca zeminin su geçirgenliğine bağlı olarak yük altında sıkışma hızı, yükleme sırasında içindeki suyun dışarı çıkabilme kolaylığı dane çapı dağılımından etkilenmektedir.

4.1.11. KIVAM LİMİTLERİ

İnce daneli zeminlerde içerdikleri su oranı ile birlikte çok katı bir kıvamdan viskoz bir sıvı kıvamına kadar değışen aralıkta kıvamları olduğundan mühendislik özellikleride buna bağlı olarak değışmektedir. Kohezyonlu zeminlerin kayma direnci, geçirgenlik ve sıkışabilirlik gibi özellikleri kıvamları ile yakından ilgilidir. Bunlara etki eden faktörler:

- Daneleri oluşturan minerallerin kristal yapısı,
- Zeminin arazideki çökelme koşulları,
- Boşluklardaki zemin suyunun kimyasal özellikleridir.

Killerin kıvamının su muhtevasına bağlı olarak katı-plastik-viskoz sıvı kıvamları arasında değışmesinin nedenlerini anlayabilmek için, daneleri oluşturan minerallerin kristal yapısını ve daneler ile boşluklardaki suyun ve içindeki kimyasal maddelerin çökelme sırasında ve daha sonraki arazi koşullarında karşılıklı etkileşimini incelemek gerekmektedir. Kısaca değinecek olursak kil daneleri levha şeklinde ve elektrik yüküdür. Elektriksel çekim kuvvetleri sonucu su molekülleri kil danelerinin yüzeyine yapışmakta ve adsorbe su ile kaplanmaktadır. Zeminin düşük su muhtevalarına sahip olduğđ durumlarda daneler arasında adsorbe su tabakaları ile temas meydana gelmekte ve bu su tabakalarının sahip olduğđ yüksek viskoziteden dolayı danelerin birbirine göre hareketi zorlaşmaktadır (Zemin katı kıvamdadır). Zeminin su muhtevası arttıkça,

daneler birbirinden uzaklaştığı için adsorbe su tabakaları arasında temas kaybolmakta, daneler birbirine göre daha kolay hareket edebilmekte ve zemine istenilen şeklin verilmesi kolaylaşmaktadır (dolayısıyla zemin plastik kıvama gelmiş olmaktadır). Su muhtevasının çok yüksek değerinde ise çok küçük olan kil daneleri su içinde bir süspansiyon haline gelmektedir.

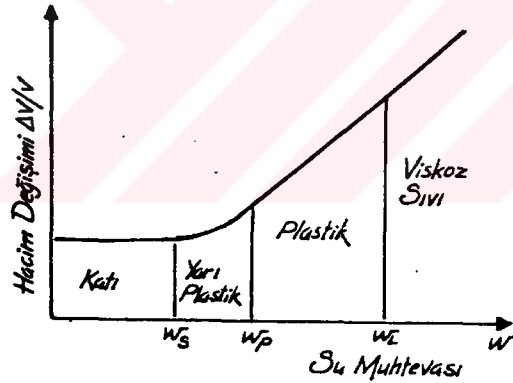
Killerin kıvamında su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak saptayabilmek için bazı sınır su muhtevası değerleri tanımlanmıştır.

Atterberg limiti olarak bilinen üç kıvam limiti şöyledir:

1- LİKİT LİMİT (W_L): Zeminin viskoz bir sıvıdan plastik bir kıvama dönüştüğü su muhtevası.

2- PLASTİK LİMİT (W_p): Zeminin plastik bir malzemeden yarı plastik malzemeye dönüştüğü su muhtevası.

3- BÜZÜLME LİMİTİ (W_s): Zeminin yarı plastik bir malzemeden katı bir malzemeye dönüştüğü su muhtevası.

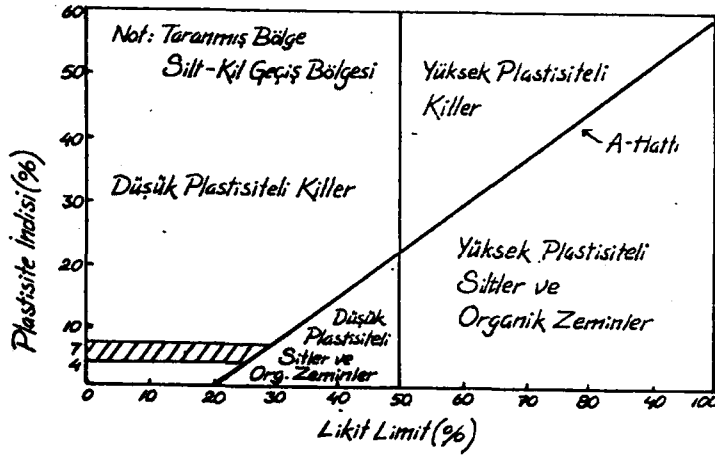


Şekil 4.5. Zeminlerde Su Muhtevası - Hacim Değişimi Davranışı ve Kıvam Limitlerin Tanımlanması.

Likit limit ile plastik limit arasında kalan su muhtevalarında zemin plastik davranış gösterdiği için, bu iki limitin farkı plastisite indisi (I_p) olarak tanımlanır.

$$I_p = (W_L - W_p) \quad (4.13)$$

Likit limit ve plastisite indisinin birlikte değerlendirilmesi zeminin plastisitesinin bir ölçüsü olarak kullanılır.



Şekil 4.6. Casagrande Plastisite kartı.

Casagrande plastisite kartında, $W_L = \%50$ den geçen düşey doğru ve A-hattı olarak bilinen eğik doğrunun ayırdığı dört bölge tanımlanmaktadır.

KIVAM LİMİTLERİNİN MÜHENDİSLİKTE KULLANIMI

İnce daneli zeminlerin değişik su muhtevalarındaki mukavemetlerinin bir göstergesi olan kıvam limitleri ile su muhtevasının karşılaştırılması zeminin mukavemeti hakkında bir fikir vermektedir. Karşılaştırmada kullanılan boyutsuz katsayılar.

$$\text{Likitlik İndisi : } I_L = \frac{W_n - W_p}{W_L - W_p} = \frac{W_n - W_p}{I_p} \quad (4.14)$$

$$\text{Relatif Konsistans: } I_c = \frac{W_L - W_n}{W_L - W_p} = \frac{W_L - W_n}{I_p} \quad (4.15)$$

Bu katsayıların sonuçları ile zemin kıvamı arasında ilişki aşağıda verilmiştir.

ZEMİN KIVAMI	$\frac{I_L}{I_c}$	$\frac{I_c}{I_p}$
Viskoz Sıvı	$I_L > 1$	$I_c < 0$
Plastik	$0 < I_L < 1$	$0 < I_c < 1$
Katı	$I_L < 0$	$I_c > 1$

Tablo 4.5. İnce daneli zeminlerin kıvamı.

Kıvam limitleri zeminin plastisitesine göre sınıflandırılmasında sağlamaktadır. Zeminin plastisitesi arttıkça sıkışma ve şişme potansiyeli artmakta, su geçirgenliği azalmakta, arazi kazı ve dolgu işlemleri sırasında ise zorluklarla karşılaşmaktadır.

Zeminin aktivite katsayısı zemin içindeki kil minerallerinin cinsi hakkında fikir vermektedir

$$\text{Aktivite katsayısı } A = I_p / \text{Kil Yüzdesi} \quad (4.16)$$

Kil Cinsi	A
Kaolin	0.38
İllit	0.90
Montmorillonit	7.20

Tablo 4.6. Killerin Aktivitesi.

Tabii killerin katılık derecesini ölçüsü olarak genel olarak serbest basınç mukavemeti kullanılmaktadır.

Serbest basınç mukavemeti

q_u (kN/m ²)	Katılık derecesi
<25	Çok Yumuşak
25-50	Yumuşak
50-100	Orta katı
100-200	Katı
200-400	Çok katı
> 400	Sert

Tablo 4.7. İnce daneli zeminlerin katılık derecesi.

İnce daneli zeminlerin tabii su muhtevası değiştirilmeden yoğurulduklarında katılık derecesindeki değişikliğin nedeni:

Danelerin yüzeyindeki adsorbe su tabakasında yer alan moleküllerin sıralanması.

Çökelme sırasında oluşan kilin iç yapısının bozulması sayılabilir.

(q_u) tabii

$$\text{Sensitivite : } S_t = \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (4.17)$$

(q_u) yoğrulmuş

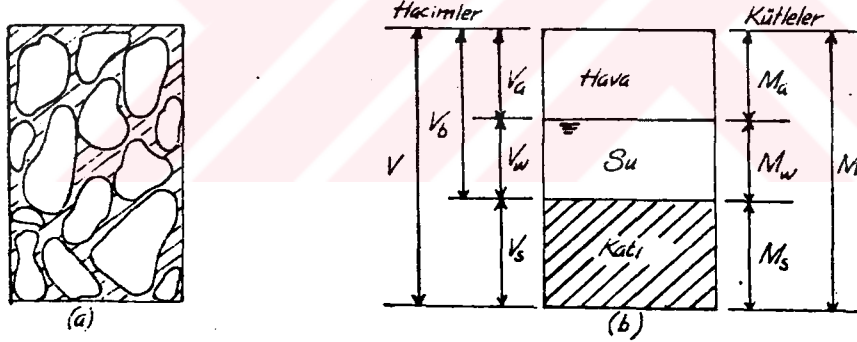
Yoğrulmaya karşı duyarlık olan sensitivite değişik killerde farklı olabileceği gibi, aynı kilin değişik su muhtevalarındaki sensitivitesi de farklı olabilir.

<u>Sensitivite</u>	<u>Tanımlama</u>
$2 < S_t < 4$	Normal kil
$4 < S_t < 8$	Duyarlı kil
$S_t > 8$	Aşırı duyarlı kil
$S_t > 16$	Özel durumlarda

Tablo 4.8. Killerin sensitivitesi.

4.1.12. ZEMİNLERİN KÜTLE ÖZELLİKLERİ

Daha önce verilen bilgileri zemin kesiti üzerinde hatırlayalım. Zemin kütlesi katı danelerden ve bunların arasındaki boşluklardan oluşmaktadır. Boşluklar arası su ile dolu olabilir ve böylece zemin üç değişik fazda (katı, sıvı, gaz) malzemenin bir arada bulunduğu bir sistem oluşturmaktadır. Dane özellikleri yanında (boyut, biçim, v.b.), katı, sıvı ve gaz kısımlarının birbirine göre oranı (hacimsel veya ağırlık olarak) ve danelerin birbirine göre konumları (zeminin iç yapısı)da, zeminin mühendislik özelliklerinde çok etkili olmaktadır. Şekil 4.7'de zemin kütlesi şematik olarak görülmektedir.



Şekil 4.7. Zemin prizması.

Zeminin katı, sıvı ve hava kısımlarından oluştuğunu kabul edersek kütle ve hacimleri sırasıyla M_a , M_w , M_s ve V_a , V_w , V_s ile ifade edilirse boşlukların toplam hacmi $V_b = V_a + V_w$ olur. Zeminin toplam kütleliğini M ve hacminide V ile gösterirsek,

$$\text{Su Muhtevası} = w = \frac{M_w}{M_s} \times 100 \quad (4.18)$$

$$\text{Boşluk Oranı} = e = V_b / V_s \quad (4.19)$$

$$\text{Pozozite} = n = V_b / V \quad (4.20)$$

$$\text{Danelerin Yoğunluğu} = \rho_s = M_s / V_s \quad (4.21)$$

$$\text{Zeminin Toplam Yoğunluğu} = \rho = M / V \quad (4.22)$$

$$\text{Zeminin Kuru Yoğunluğu} = \rho_k = M_s / V = M_k / V \quad (4.23)$$

$$\text{Suya Doygunluk Derecesi} = S = (V_w / V_b) \times 100 \quad (4.24)$$

Tanımlanan yoğunlukların yerçekimi ivmesi (g) ile çarpımı birim hacim ağırlıkları vermektedir. Zemin tamamen suya doymuş olduğunda $V_a = 0$ ve $V_b = V_w$ olacağından,

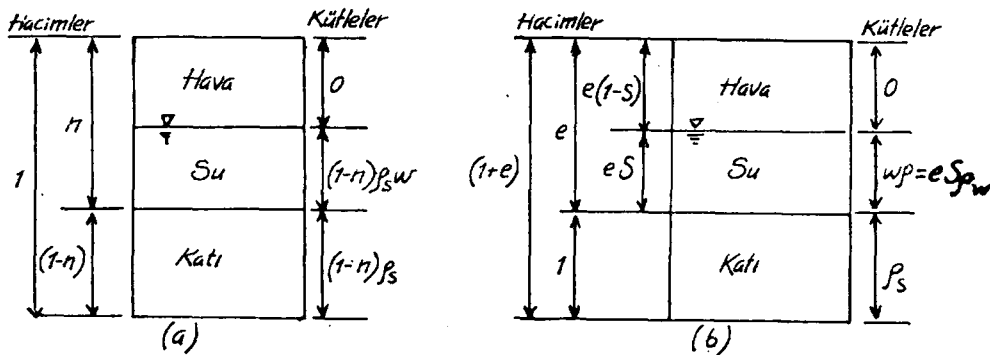
$$\text{Zeminin Suya Doygun Yoğunluğu} = \rho_d = \frac{M_k + V_b \cdot \rho_w}{V} \quad (4.25)$$

ve yeraltı su seviyesi altında, suyun kaldırma kuvveti etkisini göz önüne alarak,

$$\text{Zeminin Su Altında Yoğunluğu} = \rho_A = (\rho_d - \rho_w) \quad (4.26)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Tanımlanan kütle özellikleri zemin içindeki, su ve hava kısımlarının birbirine göre değişik hacimsel veya kütleli oranlarını ifade etmektedir. Bunlar birbirlerinden bağımsız değildir. Aralarındaki ilişkiyi belirlemek için Şekil 4.8.'de gösterilen şemalar kullanılabilir.



Şekil 4.8. Zemin prizmasının iki farklı şekilde kullanımı.

Şekil 4.8. (a)'da gösterilen birim hacimde bir zemin kütlesi göz önüne alınarak, ve daha önce verilen, tanımlamalar kullanılarak, aşağıdaki bağıntılar yazılabilir;

$$e = n / 1 - n \quad (4.27)$$

$$\rho_k = (1 - n) \rho_s \quad (4.28)$$

$$\rho = (1 - n) \rho_s \cdot w + (1 - n) \rho_s = (1 + w) (1 - n) \rho_s \quad (4.29)$$

$$\rho_d = (1 - n) \rho_s + n \rho_w \quad (4.30)$$

$$\rho_A = (\rho_d - \rho_w) = (1 - n) (\rho_s - \rho_w) \quad (4.31)$$

Aynı şekilde, şekil 4.8. (b)'de gösterilen katılar (daneler) hacminin birim olarak alınması durumunda ise;

$$n = e / 1 + e \quad (4.32)$$

$$\rho_k = \rho_s / (1 + e) \quad (4.33)$$

$$\rho = \frac{(1 + w) \rho_s}{1 + e} = \frac{\rho_s + e \cdot S \cdot \rho_w}{1 + e} \quad (4.34)$$

$$\rho_d = \frac{\rho_s + e \cdot \rho_w}{1 + e} \quad (4.35)$$

$$\rho_A = \frac{(\rho_s - \rho_w)}{1 + e} \quad (4.36)$$

bağıntıları elde edilir. Zemin içindeki su ağırlığı iki şekilde ifade edilebilmektedir.

$$w \cdot \rho_s = e S \rho_w \quad (4.37)$$

Bu verilen bağıntılar, birçok uygulama probleminin çözümünde yararlı olmaktadır.

İri daneli zeminlerin sıklık derecesini tanımlamada relatif sıklık derecesi kullanılmaktadır.

$$D_r = \frac{e_{\max} - e}{e_{\max} - e_{\min}} = \frac{1 / \rho_{\min} - 1 / \rho}{1 / \rho_{\min} - 1 / \rho_{\max}} \quad (4.38)$$

4.1.13. BİRİM HACİM AĞIRLIK BELİRLENMESİ

Bu deney doğal yapı taşlarının gözenekleri dahil olmak üzere B.H.A.'nın belirlenmesi için yapılır. Deney en az üçer adet aynı taştan alınmış düzgün geometrik şekilli veya düzgün olmayan örnekler üzerinde yapılır. Herbirinden alınan sonucun aritmetik ortalaması alınır.

Düzgün geometrik örneklerde B.H.A. belirlenmesinde örneklerin ayrıtları 4 cm'den az olmamalıdır. Örnek sert bir fırça ile temizlendikten sonra ayrıtları 0.1 mm duyarlılıkta ölçülerek V hacmi hesaplanır. Değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 105 °C'de kurutulur. Kuru ağırlığı en az 0.1 gr duyarlılıkta tartılarak belirlenir.

Örneğin kuru ağırlığı (gr)

$$\text{B.H.A.} = \frac{\text{Örneğin kuru ağırlığı (gr)}}{\text{Örneğin hacmi (cm}^3\text{)}}$$

4.1.14. ÖZGÜL AĞIRLIK DENEYİ

Bu deney doğal yapı taşlarını, gözeneklerin oluşturduğu boşluk düşürüldükten sonra kalan katı kısmının özgül ağırlığının belirlenmesi için yapılır. Zemin danelerinin özgül ağırlıklarının tayini aşağıdaki hallerde gereklidir.

1. Numunenin boşluk oranının saptanmasında.
2. Piknometre metodu ile su içeriği tayininde.
3. Dane büyüklüğü analizinde.

Deney yapılacak kayacık örneği göz açıklığı 0.2 mm olan bir elekten tamamen geçecek şekilde öğütülür. Daha sonra kurutulur ve 0.01 gr duyarlılıkta tartılır. Piknometre ile oda sıcaklığında hacmi belirlenir.

Toz örneğin ağırlığı (gr)

$$G_s = \frac{\text{Toz örneğin ağırlığı (gr)}}{\text{Toz örneğin hacmi (cm}^3\text{)}}$$

4.1.15. ATMOSFER BASINCI ALTINDA SU EMME DENEYİ

Bu deney doğal yapı taşlarının atmosfer basıncı altında ağırlıkça ve hacimce su emme yeteneğinin belirlenmesi için yapılır. Su emme yeteneği % olarak gösterilir. Deney 5 adet örnek üzerinde yapılır. Örnekler tercihle küp

şeklinde aynı boyutta veya düzensiz olabilir. Her bir örneğin ağırlığı 150-300 gr arasında olmalıdır. Deneyden önce örnekler sert bir fırça ile fırçalanarak damıtık su ile yıkanarak temizlenir. Temizlenmiş örnekler değişmez ağırlığa gelinceye kadar etüvde 105 °C'de kurutulur. Desikatörde 18-28 °C sıcaklığa kadar soğutulup en az 0.1 gr. duyarlıkta tartılır. Kuru ağırlık olarak kaydedilir. Kurumuş örnekler içersinde 20+(±5) °C sıcaklıkta damıtık su bulunan bir kap içersine yarısına kadar daldırılır. Bu durumda 1 saat tutulur. Bundan sonra 20 + (±5)mm kalınlıkta su ile örtülecek şekilde en az 24 saat olmak üzere değişmez ağırlığa gelinceye kadar suda bekletilir. Örnek su içinden alınır ve yüzeyleri ıslatılarak sıkılmış bir bez veya nemli doğal bir sünger ile silinir. Bekletilmeden tartılır. Bu değer kaydedilir.

Örneğin emdiği su miktarı (gr)

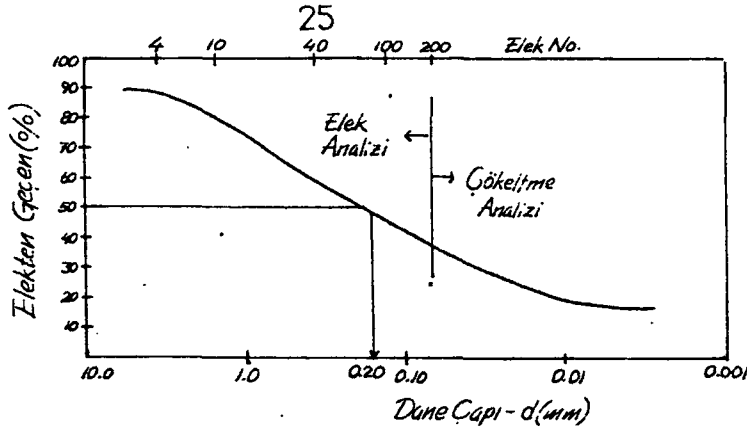
$$\text{Ağırlıkça su emme} = \frac{\text{Örneğin emdiği su miktarı (gr)}}{\text{Kuru örneğin ağırlığı (gr)}} \times 100$$

4.1.16. ELEK ANALİZİ

İri daneli zeminlerdeki dane çapı dağılımının bulunması için yapılır. Zemin bir seri standart elekten geçirilir ve değişik boyutlar arasında kalan danelerin ağırlık yüzdesi saptanır. En büyük açıklıklı elekten en küçük açıklıklı eleğe doğru bir seri elekten geçirilen zeminin çap sınırları belirlenmiş olur. Deney sonuçları yatay ekseninde dane çapı (log), düşey ekseninde ise değişik eleklerden geçen (belirli çaptan küçük) danelerin kuru ağırlığının toplam kuru ağırlığa oranı (yüzde olarak) gösterilmiştir. Dane çapları çok geniş bir aralıkta değiştiği için yarı logaritmik çizimler kullanılmaktadır.

<u>Elek No:</u>	<u>Elek açıklığı (mm)</u>
4	4.75
10	2.00
20	0.85
40	0.425
60	0.25
100	0.15
200	0.075

Tablo 4.9. Zeminlerin dane çapı dağılımını belirlemek için standart eleklerin başlıcaları.



Şekil 4.9. Tipik bir dane çapı dağılımı (granülometri) eğrisi.

Bu eğri üzerinde herhangi bir eğrinin koordinatları bize, ağırlık oranı olarak, zemin içindeki danelerin ne kadarının belirli bir çaptan daha küçük olduğunu göstermektedir. Deney yapılırken numunenin arazideki tabakayı temsil etmesini ve danelerin ayrılmasını sağlamak gerekir. No 200 elek ince ve iri daneli zeminleri bir birinden ayırmaktadır.

4.1.17 ÇÖKELTME ANALİZİ

İnce daneli zeminlerin (siltler ve killer) dane çapı dağılımını deneysel olarak saptamak için bir süspansiyon içindeki küresel katı maddelerin çökeltme hızlarının onların dane çapına bağlı olarak değiştiğini gösteren stokes kanunundan yararlanmak mümkün olmaktadır.

Belli ağırlıktaki bir zemin numunesi mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılarak suda bir süspansiyon haline getirilir ve değişik zamanlarda süspansiyonun yoğunluğu bir pipette numune olarak veya bir hidrometre ile ölçülürse, süspansiyonda kalan danelerin çapı stoke kanunu kullanılarak,

$$D = \sqrt{\frac{3000 \mu_w \cdot L}{\delta_w (G-1) 10T}} \quad (4.39)$$

bağıntısıyla saptanır.

L: Zemin suspansiyonunun yoğunluğunun ölçüldüğü derinlik.

T: Ölçüm zamanı.

μ_w : Suyun viskozitesi.

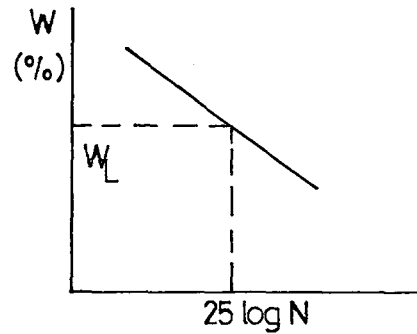
δ_w : Suyun B.H.A.

G: Danelerin özgül yoğunluğu.

Belirli zaman aralıklarında ölçüm yapıldığı için ince daneli zemin numunesinin dane çapı dağılımı elde edilmektedir. Stoke kanununun küresel daneler için geçerli olması, buna karşılık zeminler içindeki ince danelerin plaka şeklinde olmaları nedeni ile çökeltme analizi yaklaşık sonuç vermektedir.

4.1.18. KIVAM LİMİTLERİNİN BELİRLENMESİ

Kıvam Limitlerinden likit limit bulunurken değişik su muhtevalarında hazırlanan zemin numuneleri deney kabına konur. Bu numune içinde standart bir yarıç açılır ve aletin kolu çevrilerek kabın 1.0 cm yükseklikten birçok defa düşürülerek saptanır. Açılan yarığın 1.25 cm. kadarlık kısmının kapanmasına yol açan düşüş sayısı ile zemin su muhtevası arasındaki ilişki deneysel olarak saptanır ve 25 düşüşte yarığın kapanmasına karşılık gelen su muhtevası değeri zeminin likit limiti olarak kabul edilir.



Şekil 4.10. Likit limit deney sonuçlarının grafiksel değerlendirilmesi.

Zeminin plastik limiti bulunurken, nemli bir numune düzgün bir yüzey üstünde yuvarlanarak ince silindirler haline getirilmeyi çalışılır. Zeminin kırılmadan yaklaşık 3 mm kalındığında bir silindir haline getirilebildiği su muhtevası plastik limit olarak kabul edilir. Bu deneme yanılma yöntemi ile bulunur.

Zeminlerin büzülme limitini saptayabilmek için su muhtevesi - hacim değişimi ilişkisi deneysel olarak saptanır. Yaklaşık likit limit değeri civarında bir su muhtevasında hazırlanan belirli hacimdeki bir zemin numunesi kurutulduktan sonra kuru hacmi ölçülmekte ve zeminin büzülme limiti,

$$w_s = \left[\frac{W_1 - W_s}{W_s} - \frac{\delta_w (V_1 - V_s)}{W_s} \right] \cdot 100 \quad (4.40)$$

ilişkisinden hesaplanır.

4.1.19. PERMEABİLİTE KATSAYISININ BELİRLENMESİ

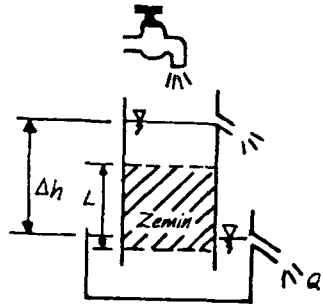
Zeminin zelliklerine göre değişen permeabilite katsayısının deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Arazi ve laboratuvarında yapılan deneyler şoyledir:

1- **SABİT SEVİYELİ PERMEAMETRE:** Zemin numunesi üzerindeki hidrolik yük (Δh) sabit tutularak, (t) zamanında geçen su miktarı (Q) llr. Zemin numunesinin kesit alanı A ise,

$$Q = A \cdot v \cdot t = A \cdot k \cdot i \cdot t \quad (4.41)$$

Hidrolik eğim $\Delta h/L$ ise

$$k = \frac{Q \cdot L}{\Delta h \cdot A \cdot t} \quad \text{olur.} \quad (4.42)$$



şekil 4.11. Sabit Seviyeli Permeametre

2. DÜŞEN SEVİYELİ PERMEAMETRE : Bu deney düzeninde zemin numunesi üzerindeki hidrolik yükün zamanla değişimi ölçülerek ve Darcy kanunundan yararlanarak permeabilite katsayısı hesaplanmaktadır.

Sabit seviyeli permeametre su geçirgenliği yüksek zeminlerde (kumlarda), düşen seviyeli permeametre ise su geçirgenliği düşük zeminlerde kullanılır.

Laboratuvarda zemin numunesi küçük bir kesittir ve bütün araziye temsil etmeyebilir. Arazide zeminde süreksizlikler ve zeminin homojen olmaması gibi sebeplerle arazide de permeabilite katsayısını belirlemek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Örneğin; yeraltı su tablasının yüzeye yakın olduğu bölgelerde zemin içinde sabit kesitli bir kuyu açarak önce içindeki suyu boşaltıp sonra su seviyesinin zamana bağlı olarak yükselmesini ölçmek suretiyle permeabilite katsayısı belirlenebilir. Daha geniş bir bölgedeki tabii zemin tabakalarının ve daha kalın formasyonların ortalama permeabilite katsayısı değerini yerinde ölçmek için arazi pompalama deneylerinden yararlanılmaktadır.

4.1.20. ZEMİNİN SU İÇERİĞİNİN TAYİNİ

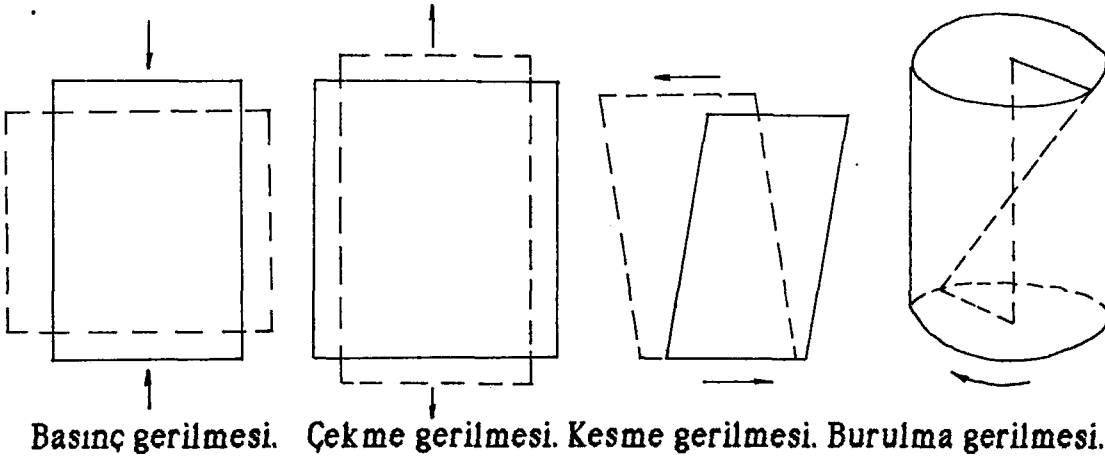
Zeminin su içeriği, zeminin arazideki nem durumu hakkında bilgi elde etmek için ve laboratuvar deneylerinde kullanmak için gereklidir. Örselenmiş numuneler üzerine uygulanır. 4 tür deneyle tayin edilebilir:

Etüvde kurutma, kum banyosu, piknometre ile, etil alkol ile. Etüvde kurutma doğru sonucu verir ve laboratuvarda uygulanır. Diğerleri ise arazide uygulanır. Zeminin su içeriği, zeminin içerdiği suyun ağırlığının katı kısmın ağırlığa oranının % olarak ifadesidir.

4.2. KAYAÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİ (DİRENÇ ÖZELLİKLERİ)

Kayaçlar genellikle dört tür gerilmenin etkisi ile hacim ve şekil değiştirirler. Basıncı, çekme, kesme, burulma gerilmeleridir. Belirli bir gerilme hali için, kayaç direncinin uygulandığı gerilme değerine oranı, o kayacın kırılmaya, göçmeye ya da kaymaya karşı güvenlik katsayısı olarak tanımlanır.

Bu dirençler kayaçları oluşturan dane ve minerallerin iç yapılarına ve bunların dizilişlerine bağlı olduğu kadar kayaçların uğradıkları gerilme koşulları, zaman ve deformasyonla da ilgilidir.



Kayaçların direncine etki yapan en önemli yapısal faktörler şunlardır:

1- DOKU (texture): Kayaçlar içindeki elemanların ya da kristallerin büyüklüğü, biçimi, dizilişi dirence etki yapar. Örneğin, ufak daneli kumtaşlarının iri danelerden daha fazla basınç dirençleri vardır.

2- POROZİTE: Danelerin ya da kristallerin kenetlenmesine ve kırılganlık gibi hareket etmesine bağlı olarak basınç direnci değişir.

3- DOYGUNLUK DERESESİ: Su emme arttıkça basınç direnci azalır.

4- KRİSTALLENME VE ÇİMENTOLANMA DERESESİ İLE ÇİMENTONUN TÜRÜ: Çimentonun boşlukları az veya çok doldurması kompakt veya boşluklu bir kayacın oluşmasına neden olur. Daneleri birbirine bağlayan çimentonun türü silis, kalker, kil, dolomit, demiroksit olabilir. Bunlar basınç direncine farklı etki yaparlar.

<u>Çimento türü</u>	<u>Basınc direnci</u>
Kil	az
Kalker	orta
Silis	fazla

Kuvarsit, puding ve silisleşmiş kayaçların basınç dirençleride çok yüksektir.

5- AYRIŞMA DERESESİ: Kaolenleşme, kronitleşme, serpantinleşme ve killi şistlerin ayrışması basınç direncine doğrudan etki yapar.

6- İZOTROPİ VE HOMOJENİTE: Kayaçların her tarafındaki ve her yöndeki özellikleri aynı ya da farklı olması basınç direncine direkt olarak etki yapar.

7- SÜREKSİZLİK DÜZLEMLERİ: Süreksizlik düzlemleri basınç direncine

direkt olarak etki yapmaktadır. Taşlar üzerinde süreksizliğe dik ve paralel doğrultuda yapılan tek eksenli basınç direnci deneyleri farklı sonuçlar vermektedir.

KAYA DİRENCİ	TEK EKSENLİ BASINÇ (kg/cm ²)	NOKTA YÜK.DİR. (kg/cm ²)
Çok az dirençli	< 250	10
Az dirençli	250 - 500	10 - 20
Orta dirençli	500 - 1000	20 - 40
Çok dirençli	1000 - 2000	40 - 80
Çok fazla dirençli	> 2000	> 80

Tablo 4.10. Kayaçların, basınç ve nokta yükleme dirençlerine göre sınıflandırılması.

KAYAC	BASINCA KARŞI DİRENC (kg/cm ²)
Bazalt	1500-2700
Granit	1000-2000
Mermer	600-1500
Kumtaş	450- 750
Kalker	50-1500

Tablo 4.11. Bazı kayaçların basınca karşı direnci.

4.2.1. TEK EKSENLİ BASINÇ DİRENCİ

Tek eksenli basınç direnci, belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır ve kg/cm² veya N/cm² ile ifade edilir.

P_k (kırılma anındaki yük)

$$B_d = \sigma = \frac{P_k}{A_k} \quad (4.43)$$

A_k (kırılma anındaki veya kırılmadan önceki numune alanı)

Gevrek malzemelerde tek eksenli basınç deneylerinde kayaç örneğinin alanında değişme olmadan kırılma meydana gelir. Gevrek özellikte olmayan kayaçlar ise tek eksenli basınç altında değişikliğe uğrarlar. Kırılma yükü altında kayma çatlakları meydana geldiği anda deney altındaki örneğin kesit alanı büyür.

Numune boyu arttıkça daha düşük, değerlerin elde edildiği görülmüştür. Bu farkların numune içindeki gerilme dağılımlarından ileri geldiği sanılmaktadır.

4.2.2. KAYAÇLARIN ÇEKME DİRENCİ

Bir kayacın çekme direnci çekme gerilmesine karşı gösterdiği dayanıklılık olarak tanımlanır. Tek eksenli basınç ile çekme gerilmesi arasında doğrusal bir bağıntı vardır.

$$\sigma_d = K \cdot B_d \quad (0.1 < K < 0.25) \quad (4.44)$$

Yeraltı kazılarında, patlayıcı madde kullanımında, kayaçların kazınmasında çekme dirençleri büyük rol oynar.

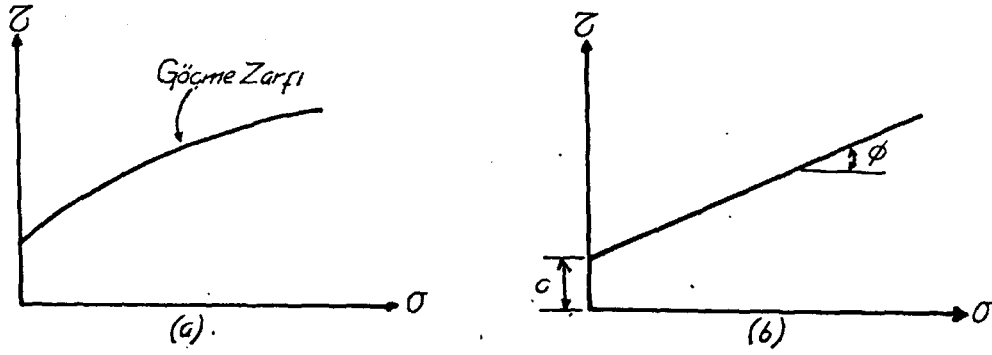
Bir çekme deneyinde kayaç örneğinin kırıldığı çekme kuvveti F , kırılma yüzeyinin alanı A ise çekme direnci;

$\sigma_d = F / A = \sigma$ kg/cm^2 olur. Deneyler neticesinde çekme direnci değeri olarak ortalama değer yerine en küçük değer alınır.

4.2.3. KAYAÇLARIN KESME VE KAYMA DİRENCİ

Kesme kayma direnci, kesme kuvveti etkisi altında kayaçların kırılma, kayma ve şekil değiştirmeye karşı gösterdikleri dayanıklılıktır. Kesme direnci laboratuvar ve arazide çeşitli yollarla saptanır. Kayaçların kesme dirençlerinin bulunması yamaç, zemin ve kaya şevlerinin duraylılık analizinde, yeraltı yapılarında, tünel hidroelektrik santral inşaatlarında ve kemer barajların yamaçlara ilettikleri gerilmelerin hesaplarında bilinmesi gerekli olan özelliklerdendir. Zeminler için göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin hesaplarında kullanılır. Göçme meydana gelmesi için, olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Genel olarak göçme belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu ortaya çıkmaktadır. Zeminin kayma mukavemeti ise göçmeye meydan vermeden karşı kayabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanabilir.

Göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini gözönüne alan hipotezlerden Mohr-Coulomb yaygın olarak kullanılmaktadır. Normal gerilmeler yatay ekseninde, kayma gerilmeleri düşey ekseninde gösterilmekte, eğri altında kalan kısımda göçme ortaya çıkmazken, bu zarfa ulaşıldığında göçme meydana gelmektedir. Genelde göçme zarfı bir eğri ile temsil edilmekle beraber, uygulamada bu eğri genellikle yaklaşık bir doğru olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.12. Mohr-Coulomb göçme hipotezi.

Bu doğrunun düşey eksenini kestiği nokta c ve yatay eksen ile yaptığı açı ϕ ile gösterilirse, kayma mukavemetini veren bağıntı şöyle olur.

$$\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \phi \quad (4.45)$$

ϕ : İçsel sürtünme açısı

c : Kohezyon katsayısı

σ : Göçme yüzeyine etkiyen normal gerilme

4.2.4. KAYAÇLARIN TAŞIMA DİRENCİ

Zeminlerin birim yüzeylerinin kırılmadan şekil ve hacim değiştirmeden kaç kg kuvvete dayanabilecekleri taşıma direncinin belirlenmesi ile bulunabilir.

Taşıma gücüne etki yapan faktörler şöyledir:

1. Zeminin fiziksel özellikleri: B.H.A., özgül ağırlık, porozite, su içeriği, doygunluk derecesi ve boşluk suyu basıncı.
2. Mekanik özellikleri: Basınç ve kayma direnci parametreleri.
3. Süreksizlikler: Tabakalaşma şistiyet, fissür, fay, v.b.
4. Litoloji ve doku: Şekilsiz, kolloidal, kristalleşme olması, çimentolanma derecesi.
5. Temel boyutları ve temel derinliği.

<u>KAYACIN CINSİ</u>	<u>TASIMA DİRENCİ (kg/cm²)</u>
1. ZEMİNLER	
a. Sıkıştırılmamış dolma zemin	0-1
b. İnce ve orta kum ($d \leq 1$ mm)	2
c. Kaba kum ($1 < d < 3$ mm)	3
d. Çakıl (1/3 hacim)+ kum (2/3 hacim)	4
2. KİLLER	
a. Cıvık kil	0
b. Yumuşak (kolay yoğrulur)	0.4
c. Katı (zor yoğrulur)	0.8
d. Yarı sert	1.5
e. Sert (yoğrulmaz, susuz, kırılır)	3
3. ÇİMENTOLU VE KRİSTALLİ KAYAÇLAR	
a. Grovak, Kumtaşı, killi şist, marn	10
(Az çatlaklı, ayrışmamış, basınç direnci ≤ 50 kg/cm ²)	
b. Mermer, dolomi, kalker, kristalen şist	15
(Az çatlaklı ve basınç direnci > 50 kg/cm ²)	
c. a ve b'deki kayacı ayrışmış ve çok çatlaklı ise	5-7
4. MAGMATİK KAYAÇ	
a. Yüzey kayaçları (Andazit, dasit)	15
b. Derinlik kayaçları	30
(Ayrışmamış granit, siyenit, diyorit, gabro)	

Tablo 4.12. Çeşitli kayalara yükletilmesi uygun görülen basınç miktarları.

4.2.5. GERİLME - ŞEKİL DEĞİŞTİRME VE KAYMA MUKAVEMETİNİN BELİRLENMESİ

Zemin tabakalarının gerilme - şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerinin belirlenmesi için yapılan laboratuvar deneyleri şunlardır.

1. KESME KUTUSU DENEYİ

Zemin numunesi dikdörtken veya dairesel kesitli bir kutu içine konur. Kutu alt parçası hareket etmekte ve zemin ortasından geçen bir düzlem boyunca kaymaya zorlanmaktadır. Numune üzerine normal gerilme

uygulamak ve böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmeler ölçülerek eğrisel olarak gösterilmektedir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında kayma mukavemetini vermektedir. Kesme kutusu deneyi daha çok kumların kayma mukavemetini ölçmek için kullanılır.

2. SERBEST BASINÇ DENEYİ

Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca aksenal doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır. Aksenal yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısalması ölçülerek gerilme - şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Bu deney kil numuneler üzerinde yapılmaktadır.

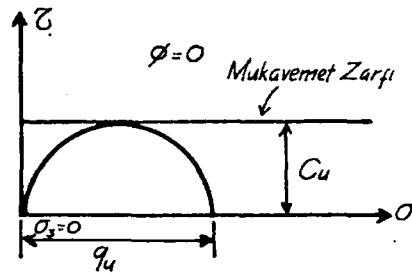
3. ÜÇ EKSENLİ BASINÇ DENEYİ

Bu deney ile kayma mukavemetini gerçeğe yakın olarak bulmak mümkün olmaktadır. Silindirik zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilmekte ve hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) ile zemin numunesi üzerinde hidrostatik bir basınç uygulanabilmektedir. Bu deney uygulanırken konsolidasyonlu, konsolidasyonsuz, drenajlı ve drenajsız olarak uygulanır ve çeşitli türde deney sonuçları elde edilmiş olur.

Serbest basınç deneyi killerin drenajsız kayma mukavemetini belirlemekte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bir serbest basınç deneyinde göçme anındaki gerilme durumunu gösteren Mohr dairesi ve drenajsız kayma mukavemeti zarfı şekilde gösterilmiştir. Drenajsız kayma mukavemetinin,

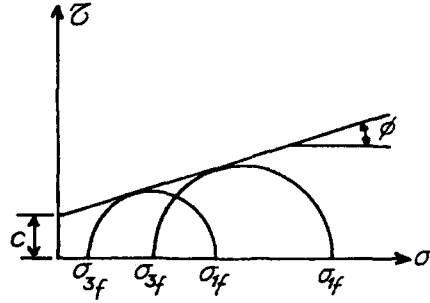
$$\tau_f = c_u - 1 / 2 q_u \quad (4.46)$$

olarak elde edileceği açıktır.



Şekil 4.13. Serbest basınç deneyi sonuçlarını gösteren Mohr dairesi ve muhavemet zarfı.

Üç eksenli basınç direnci deneyi sonuçlarında grafik olarak elde edilir ve buradan ϕ ve c değerleri elde edilebilir.



Şekil 4.14. Üç eksenli basınç deneyinin gerilme durumlarını gösteren Mohr daireleri.

4. LABORATUVAR VEYN DENEYİ

Bu deney yumuşak killerde güvenilir sonuç vermektedir. Deney bir fırıldak (veyn) zemin içine batırılarak uygulanır. Veyn zemin içinde dönmeye zorlanır ve zeminin direncinin aşılmasına karşılık gelen burulma momentinden zeminin kayma mukavemeti hesaplanır. Arazi içinde geliştirilmiş modelleri vardır.

5. DÜŞEN KONİ DENEYİ

Bu deney yalnızca yumuşak normal konsolide killerde güvenilir sonuç verir. Standart boyutlardaki ve ağırlıktaki metal bir koni, sabit bir yükseklikten zemin numunesi üzerine düşürülmekte, zeminin drenajsız kayma mukavemetinin koninin ağırlığı ile doğrudan, koninin zemin içine batma miktarının karesi ile ters orantılı olduğu kabul edilmektedir.

4.2.6. ARAZİ DENEY YÖNTEMLERİ

Zemin tabakalarının kayma mukavemetini arazide ölçmek için bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir:

1- Penetrasyon Deneyleri

a. Dinamik Penetrasyon Deneyi (Standart Penetrasyon deneyi)

b. Statik Penetrasyon Deneyleri (Koni Penetrasyon deneyi)

2. Cep Veyn ve Cep Penetrometre Deneyleri.

3. Arazi Veyn Deneyi.

4. Pressiometre Deneyi.

5. Plaka yükleme Deneyi.
6. Sondaj Kuyusu Kesme Deneyi.

1. PENETRASYON DENEYLERİ

Zeminlerin sıklık derecesini saptamak ve saptanan sıklık derecesinden korelasyonla kayma direncine geçmek için yapılır.

a. DİNAMİK PENETRASYON DENEYLERİ (SPT)

Bir madeni çubuk zemine çakılarak zeminin gösterdiği direnç ölçülmüş olur. Bu çakma esnasında zemine batma miktarı ile vuruş sayısı saptanır. Kohezyonsuz zeminde sıklığı güvenilir biçimde verir. Kumlarda ve çakıllarda yapılacak SPT deneylerinden korelasyonla bulunacak kayma direnci açıları, stabilite analizleri ve taşıma gücü hesaplarında kullanılır.

SPT ölçümleri ile zeminin jeomekanik özelliklerinin yanında, çakma derinliğine kadar olan kesimde şayet varsa tabaka sınırları, yeraltı su seviyesi, engeller ve boşluklar da tespit edilebilir. Sondaj sonuçlarından kohezyonsuz zeminlerin yerleşim sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvamlılığı, sıkışabilirliği ve kesme kuvveti hakkında bilgi sahibi olunur. Zeminin macun gibi olması da batma direncini büyük ölçüde artırır. Aynı batma dirençleri zeminin aynı yerleşim sıklığında olduğunu göstermez. Çamur ve kile nazaran kumun batma direnci değeri daha büyüktür. Kohezyonsuz zeminlerde yeraltı su seviyesi altındaki sondajlarda aynı şartlar altında su seviyesinin üzerindeki nazaran daha az batma direnci oluşmaktadır. Kohezyonlu zeminlerde yeraltı suyunun bu etkisi görülmez.

Kuru zeminlerde batma direnci büyük ölçüde artar. Sondaja ara verilmesi batma direncini artırır. Tij değişimlerinde geçen sürenin fazla olması darbe sayısını artırır. Yerleşim sıklığı da batma direncini artıran nedenlerden biridir. Bu artışlar genellikle ani sıçramalar biçiminde görünürler.

Kohezyonsuz zeminlere ait sondaj sonuçlarında, kohezyonlulara göre daha fazla salınım görülür.

Sondajda, zeminin batırılan sondaya uyguladığı direnç ölçülür. Sondaj sonuçları olarak dinamik sondada 10 cm veya 30 cm batırma için gerekli vuruş sayısı belirlenir.

Zeminin güvenlik gerilmesinin belirlenmesinde n_{30} indisi kullanılır. Bu indis, çakma deneyi sırasında tijin 30 cm saplanması için gerekli vuruş sayısını göstermektedir. Ölçümlerin daha sağlıklı olması için n_{10} indisi kullanıldığından, bu indislerin birinden diğerine geçiş için,

$$n_{30} = 0.49 n_{10} \quad (4.47)$$

ampirik bağıntısı kullanılır. Bu yolla bulunan n_{30} değeri kullanılarak, çizelgeden, o derinlikteki zemin güvenlik gerilmesi ve q_u serbest basınç değeri saptanmış olur (Tablo 4.13.).

Vuruş Sayısı n_{30}	Durum	q_u (kg/cm ²)	DIN 1054'e göre müsaade edilen gerilme
0-2	Çok yumuşak	0-0.25	0
2-4	Yumuşak	0.25-0.5	0.4
4-8	Orta katı	0.5-1.0	0.8
8-15	Katı	1.0-2.0	1.0
15-30	Çok katı	2.0-4.0	2.0
>30	Sert	> 4.0	4.0

Tablo 4.13. SPT ölçümü ile elde edilen verilerin karşılıklarını veren tablo.

b . STATİK PENETRASYON DENEYİ

Çelik boru ile ucunda koni bulunan bir çubuk, sıra ile zemine itilerek uç ve sürtünme dirençleri ayrı ayrı saptanır. Çakıllı zeminlerde bu yöntemle yanlış sonuçlar elde edilir.

c. PLAKA YÜKLEME DENEYİ

Zemin emniyet gerilme değerini saptamaya yarar. Bu deney ile zemine emniyetle yüklenebilecek emniyet sınırı, bazı durumlarda yapıların muhtemel oturmalarının saptanmasında kullanılır. Belirli bir yük alanı ile zemine artan basınçlar uygulanır ve bu basınçlar altında yükleme plakasının zemine batma miktarına dayanarak saptanan yük oturma bağıntısından zeminin güvenle taşıyacağı yük bulunur.

5. ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

5.1. GİRİŞ

Zeminlerin birçok değişik malzemedan meydana geldiğini biliyoruz. Bu malzemelerin mühendislik özelliklerinin saptanması zemin üzerine yapılacak yapının dayanıklı olması için gereklidir. Bu mühendislik özellikleri belirlenmesinden önce zeminlerin özelliklerini kabaca belirli birtakım gruplara ayırmak ondan sonra ayrıntılı incelemelere geçmek çok yararlı olacaktır.

5.2. OLUŞ BIÇİMLERİNE GÖRE SINIFLAMA

5.2.1. YERLİ ZEMİNLER

Ana kayaların kimyasal ayrışma sonunda parçalanması ile meydana gelen malzemenin olduğu yerde kalması ile oluşan zeminlerdir. Kimyasal ayrışma, kayaların silisli (magmatik), kalkerli ve killi (şist) oluşuna göre değişir.

5.2.2. TAŞINMA ZEMİNLER

Çeşitli etkenlerle ayrılmış ve parçalanmış olan taşlar erozyon vasıtasıyla taşınırlar. Erozyon ürünleri başlıca dört yolla taşınır ve toplanır.

- a- Rüzgarların yığıdığı zeminler.
- b- Buzul zeminler.
- c- Akarsu zeminleri (Alüvyon).
- d- Denizel zeminler.
- e- Birikinti konisi.
- f- Yamaç molozları.

5.2.3. ORGANİK ZEMİNLER

Bitkilerin çürümesi ile veya kimyasal organizmaların birikmesi ile oluşur. Genel olarak Turbalıklar organik zeminlerdir.

5.3. DANE BÜYÜKLÜĞÜNE GÖRE SINIFLANDIRMA

- 1- İri daneli zeminler (çakıllar ve kumlar)
- 2- İnce daneli zeminler (siltler ve killer)

İri daneli zeminler dane boyutlarına, ince daneli zeminler ise plastisite özelliklerine göre bazı alt gruplara ayrılmaktadır. Tablo 5.1'de bu sınıflama gösterilmiştir.

Zemin Cinsi	Dane Çapı (mm)	Elek No.	Grup Sembolü
İri Daneli Zeminler	75-0075	200 üstü	
Çakıl	75-4.75	4 üstü	G
İri Çakıl	75-19		
İnce Çakıl	19-4.75		
Kum	4.75-0.075	4-200	S
İri Kum	4.75-2.00	4-10	
Orta Kum	2.00-0.425	10-40	
İnce Kum	0.425-0.075	40-200	
İnce Daneli Zeminler	<0.075	200 altı	
Silt			M
Kil			C

Tablo 5.1- Zeminlerin dane boyutlarına göre sınıflandırılması.

Genişletilmiş Casagrande sınıflandırılmasında zeminler iki harfle gösterilmişlerdir. Birinci harf zemin cinsi, ikinci harf ise bunların alt gruplarıdır. İri daneli zeminlerde iyi derecelenmiş (W), kötü derecelenmiş olarak (P) ayrılmaktadır. İnce daneli zeminlerde ise düşük plastisiteli zeminler için (L), yüksek plastisiteli zeminler için (H) kullanılır.

Tablo 5.2'de Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre değişik zemin grupları ve bunların sağlaması gereken kriterler gösterilmiştir. İlk önce zeminin ince veya iri daneli zeminlerin birbirinden ayrılabilmesi için No.200 elekten geçtiğini saptamak gerekir. Ayrılan kısımlardan ince daneli zeminlerin sınıflaması Casagrande plastisite kartına göre yapılmaktadır. Bunun içinde kıvam limitleri saptanır. Daha sonra tablodan zemin sınıflaması yapılır.

Gelişmiş zemin olarak adlandırılan kil, silt, kum, çakıllı zeminler ayrıca kohezyonlu ve kohezyonsuz oluşuna görede ayrılabilirler. Danecikler arasında bağlantılar yok ise kohezyonsuz zeminlerdir. 0.06 mm'den küçük boyuttaki danelerin ağırlıkça tutarı %15'den fazla olmayan ve kum, çakıl, taş ve bunların karışımından olan zeminlerdir. Böyle zeminlerin taşıma yeteneği çok iyidir. Bu zeminlerin taşıma yeteneği özellikle danelerin biçimi, büyüklüğü ve yerleşim sıklığına bağlı olarak belirlenir.

Ana Gruplar		Grup Sembolü	Zemin Cinsi	Laboratuvar Sınıflandırma Kriterleri	
İri Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen < %50)	Çakıllılar	GW	İyi derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{30}} > 4 \text{ ve } C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1-3$	$C_u \leq 4 \text{ veya } C_c \neq 1-3$
			Mötü derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	GM	Siltli ve killi çakıllar (No.200 elek altı > %12)	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Temiz Kumlar (No.200 Elek altı < %5)		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	GC	Killi çakıllar, çakıl-kum-silt karışımları	$I_p > 4$	$I_p > 4$
			İyi derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	SW	Mötü derecelenmiş temiz kumlar ve çakıllı kumlar	$I_p > 4$	$I_p > 4$
			Siltli ve killi kumlar (No.200 elek altı > %12)		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	SP	Siltli kumlar	$I_p > 4$	$I_p > 4$
			Killi kumlar		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	SM	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	SC	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	ML	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	CL	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	OL	Düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Düşük plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	MH	Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Yüksek plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen > %50)	Siltler ve Killiler	CH	Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Yüksek plastisiteli organik siltler ve killi siltler		
Organik Zeminler	Siltler ve Killiler	OH	Yüksek plastisiteli organik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Turba zeminler ve diğer organik zeminler		
Organik Zeminler	Siltler ve Killiler	Pt	Yüksek plastisiteli organik siltler ve killi siltler	$I_p < 4$	$I_p < 4$
			Turba zeminler ve diğer organik zeminler		

Tablo 5.2. Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USC)

Danecikleri arasında bağlantı olan zeminlere kohezyonlu zeminler denir. Böyle zeminlerin dane boyutu 0.06 mm'den küçük olan ve zemin bölümü ağırlıkça %15'den fazla olan zeminlerdir. Taşıma yetenekleri jeolojik oluşumuna bağlı olup, zeminin biraraya gelişine bağlıdır.

Casagrande sınıflandırılması sonucunda zemin cinsine göre kuru mukavemetleri aşağıdaki gibidir.

<u>Kuru Mukavemet</u>	<u>Zemin Cinsleri</u>
Yok	Plastik değil, ML, MI, MH zeminleri
Alçak	A doğrusunun altında düşük plastisiteli zeminler, A doğrusunun hemen üzerindeki bazı çok siltli killer (CL)
Orta	CL ve CI zeminlerinin ekserisi, A doğrusu yakınındaki CH, MH, OH zeminler.
Yüksek	CH zeminlerinin ekserisi CL, CI zeminlerden A doğrusunun çok üstünde kalanlar, A doğrusu yakınındaki bazı OH zeminler
Çok yüksek	A hattının çok üstündeki CH zeminler.

Tablo 5.3. Kuru mukavemet değerleri ve zemin cinsleri.

5.4. KOMPAKSİYON SINIFLANDIRILMASI

Bu sınıflandırmada max. birim hacim ağırlık olarak saptanan değerlerin zemin temeli olarak sınıflandırılması yapılır. (Tablo 5.4)

<u>Max. Kuru Birim</u>	<u>Temel Olarak Genel</u>
<u>Hacim Ağırlık (t/m^3)</u>	<u>Kıymeti</u>
2.10 dan fazla	çok iyi
2.10-1.92	iyi
1.92-1.77	orta
1.77-1.61	düşük
1.61-1.13	çok zayıf

Tablo 5.4. Kompaksiyon sınıflandırılması.

5.5. KAYAÇLARIN MÜHENDİSLİK AÇISINDAN SINIFLANDIRILMASI

5.5.1. KAYAÇLARIN BASINÇ DİRENÇLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Deyim	Basınç Direnci	Arazide Sertliğini Kestirme
Çok yumuşak	<0.4	Çıvık, avuç içinde sıkılınca pırtlar
Yumuşak	0.4-0.8	Parmaklar arasında kolayca yoğurulur
Sertçe	0.8-1.5	" " zor yoğurulur.
Sert	1.5-3.0	" " yoğurulmaz.
Çok sert	3.0-6.0	Tırnakla çizilir
Çok sağlam zemin veya çok zayıf kaya	6.0-12.5	Gevrek elle zor kırılır.
Zayıf	12.5-50.0	Çok yumuşak, çekişle vurunca kırılır
Orta zayıf	50.0-125	Elle kırılmaz çekişle az ufalanır.
Sağlamca	125-500	Kazma ucu iz yapar
Sağlam	500-1000	Sert, çekişle kırılır.
Çok sağlam	1000-2000	Birden fazla çekiş darbesiyle kırılır
Çok sağlam	> 2000	Çekişle zor kırılır.

Tablo 5.5. Kayaçların basınç direncine göre sınıflandırılması.

5.5.2. KAYAÇLARIN BASINÇ DİRENÇLERİNE VE NOKTA YÜKLEME DİRENÇLERİNE GÖRE SINIFLANDIRILMASI

Kaya Direnci	Tek Eksenli Basınç (kg/cm ²)	Nokta Yükleme Direnci (kg/cm ²)
Çok az dirençli	< 250	10
Az dirençli	250-500	10-20
Orta dirençli	500-1000	20-40
Çok dirençli	1000-2000	40-80
Çok fazla dirençli	> 2000	> 80

Tablo 5.6. Kayaçların Basınç - Nokta dirençlerine göre sınıflandırılması.

6. ZEMİN SUYU

Zeminlerin mühendislik özelliklerini büyük oranda etkileyen faktörlerden biri olan ve zemin daneleri arasındaki boşlukları dolduran zemin suyu zemin içinde bulunuş biçimi açısından çeşitlere ayrılır.

Zemin içinde genel itibariyle ve zeminin mühendislik özelliklerini etkilemesi bakımından üç tür su bulunur.

1- Adsorbe su: Daneler yüzeyinde emilmiş su.

2- Kapiler su:

3- Yeraltı suyu: Daneler arası boşlukları dolduran ve yerçekimi etkisi altında olan su.

Zemin içindeki ve kayalar içerisindeki suyu hidrojeoloji sekiz tür su olarak inceler.

1. Konstitüsyon ve Kristalizasyon Suyu: Kayaların kristal iskeletleri içerisindeki yani kimyasal bünyelerinde yer alan su molekülleridir.

2. Emilmiş ya da zeolitik (interretiküler) sular: Gerek zeolit grubu minerallerin içerdikleri tipler içerisinde, gerekse mika grubu minerallerin retikül yaprakçıkları arasında daima belirli noktalar işgal eden su molekülleridir.

3. Kolloid Sular: Kayalar içerisinde yer alan kolloidal cisimler tarafından tutulan sulardır (killerin birçok türündeki sular bunlara örnektir.)

4. Hidroskopik Sular: Kayalarla temas halinde bulunan havadaki nemin adsorbsiyon kuvveti etkisiyle kayaların partikülleri üzerine terketmek zorunda olduğu sulardır. Bu tür sulara molekül çekimi suyu da denilebilir.

5. Yüzey Gerilim Suları: Yerçekimi ile denge halinde durabilen adezyon ve kohezyon sularıdır.

6. Yerçekimi Suları: Kayacı yerçekiminin etkisi ile serbestçe terkedebilen sulardır. Bu sular efektif poroziteye karşılık gelmektedir.

7. Retansiyon (Kalıcı) suyu: Doymuş hale getirilmiş bir kayacın serbestçe süzölmeye (yani yerçekimi sularını terke) bırakılmasından sonra kayac içerisinde kalan suların toplamına denir. Satürasyon suyu retansiyon suyu ile yerçekimi suyunun toplamına eşittir. Satürasyon suyu toplam poroziteye, yerçekimi suyu ise efektif poroziteye karşılık gelirse retansiyon suyu da gerçek toplam ve etkin porozitelerin farkına eşdeğer olmaktadır.

8. Kayaçlar İçerisindeki Havanın Su Buharı: Genel olarak gözenekler içerisindeki atmosfer, su buharına doygunudur. Atmosferin bağıl nemi 100'dür. Nedeni ise, kayadaki bir gözenekten diğerine sıcaklığın hemen hemen hiç değişmeyişi ve gözenekten gözeneğe hava akımının çok yavaş oluşudur. Bunun nedeni ise partikül yüzeyindeki retansiyon sularının gözenekler arasında hemen hemen hiç geçit bırakmayışlarıdır.

Genel olarak incelenirse zemin suları yukarıda belirtildiği üzere üç grupta toplanır ve bu sular birtakım kuvvetlerin etkisindedir. Bu kuvvetler şöyle sıralanabilir:

a. Kohezyon Kuvveti: Su moleküllerinin karşılıklı olarak birbirlerini çekmesi suretiyle, bu molekülleri biraraya toplayan kuvvettir.

b. Adezyon Kuvveti: Su molekülleri ile sudan başka cisimlerin mükolleri arasındaki çekim kuvveti olup bu kuvvet, su moleküllerini çevre yüzeyine yapışık tutar.

c. Yerçekimi Kuvveti: Adezyon kuvvetine zıt olarak çalışan bu kuvvet, su moleküllerinin kendi ağırlıklarından kaynaklanır.

d. Yüzey Gerilim Kuvveti: Bu kuvvette yerçekimi kuvvetine karşı koymak suretiyle su moleküllerinin kapiler damarlarda yükselmesini sağlar.

e. Atmosferdeki Buhar Tansiyonu: Su ile temas halinde bulunan, atmosferdeki su buharı tansiyonu gerek buharlaşmaya, gerekse bunun aksine olarak yoğunlaşmaya neden olmak suretiyle suyun bir veya diğer yönde hareketini sağlayan ve kontrol eden kuvvettir.

Zemin sularının hareketini kontrol eden kuvvetleri inceledikten sonra zemin sularına tekrar dönelim.

Yeraltı Suyu, zemin içine sızarak yerçekimi kuvveti etkisi altında düşey ve yatay yönde hareket eder. Bu hareket genelde arazi topoğrafyasına paraleldir. Zemin içindeki boşlukları doldurarak belirli bir seviyede su tablası oluşturur. Bu kattan aşağısı doymuş durumdadır.

Yeraltı su tablası yüzeyinde su basıncı atmosferik basınca eşittir, bu seviyeden aşağıya doğru derinlikle lineer olarak artar ve zemin içinde statik bir basınç oluşturur. Zeminlerin fiziksel özellikleri içlerindeki su miktarına bağlı olarak değiştiği ve zemin kütleleri üzerinde etkileyen hidrolik basınçlar yeraltı su seviyesine ve sızma kuvvetleri de yeraltı suyunun hareketine bağlı olarak değiştiği için, inşaat sahalarında yeraltı su seviyesi ile mevsimlik değişimlerinin ve akım özelliklerinin sağlıklı olarak saptanması gerekli olmaktadır.

Yeraltı su tablası üzerinde kalan zemin tabakaları kapiler kuvvetlerin etkisinde kalan su ile beslenirler. Zemin daneleri arasındaki boşluklar kılcal bir boru oluşturmakta ve su buradan yükselmektedir. Bu kılcal boşluklar dane çapları ile orantılı büyür veya küçülür. Bu boşluklar çok geniş bir aralıkta değişim gösterir. Kapiler yükseklik küçük boşluklar tarafından kontrol edilir. Boşluk çaplarının dane çaplarına ve zeminin sıklık derecesine bağlı olarak değişeceği söylenebilir. Zeminlerde kapiler çekme gerilmelerinin dane çapına ters orantılı olarak artacağı bilinmektedir. Kapiler su ve kapiler çekme gerilmelerinin mevcudiyeti zeminlerin mühendislik davranışı üzerinde önemli etkiler yapmaktadır.

Kapilarite yolu ile zeminin su muhtevası ve doygunluk derecesi artmakta buna bağlı olarakta birim hacim ağırlığı ve daha alt tabakanın üzerine uyguladığı toplam basınçlar artmaktadır. Kapiler sudaki çekme gerilmeleri zemin danelerini birbirine doğru çekmekte ve daneler arası temas yüzeylerindeki gerilmeler artmaktadır. Kapiler çekme gerilmeleri zeminde hacim değişmelerine yol açmaktadır.

Kumlu zeminlerde daneler arasındaki kapiler su onları oldukça gevşek bir durumda iken bile duraylı bir konumda tutabilmektedir. Daneler arası kapiler çekme gerilmeleri zeminin hacim değiştirmesine karşı direncini artırdığı için, ıslak kumların mekanik olarak sıkıştırılması zorlaşmaktadır.

Kapilarite zeminlerin dondan etkilenmesine büyük katkıda bulunmaktadır. Buna bağlı olarakta zemin mukavemetinde önemli azalmalar meydana gelmektedir. İri daneli zeminlerde kapilarite etkili olmadığı killerde ise su geçirgenliği çok düşük olduğu için donun zararlı etkileri pek görülmez. Siltlerde ve ince kumlarda kapilarite ile permeabilite koşulları birarada don etkisinin ortaya çıkması için en uygun koşulları yaratmaktadır.

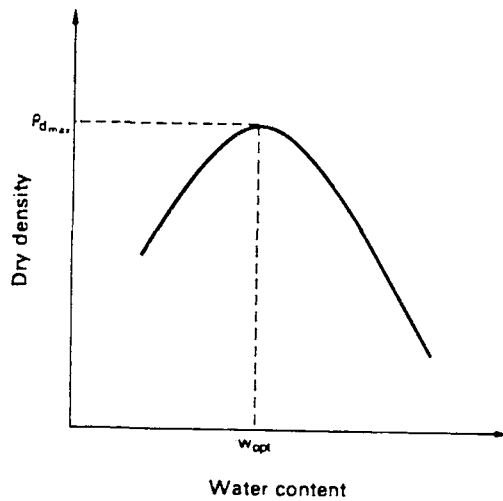
7. ZEMİNLERİN KOMPAKSİYONU VE ÖLÇÜLMESİ

Zeminlerin iyileştirilmesi için mekanik vasıtalarla sıkıştırılması işlemidir. Kompaksiyon işlemi ile zemin içindeki boşluklar hemen hemen ortadan kalkar. İyi sıkıştırılmış temeller ve alt yapılar da yüksek mukavemete ve deformasyonlara karşı dirence sahip olurlar.

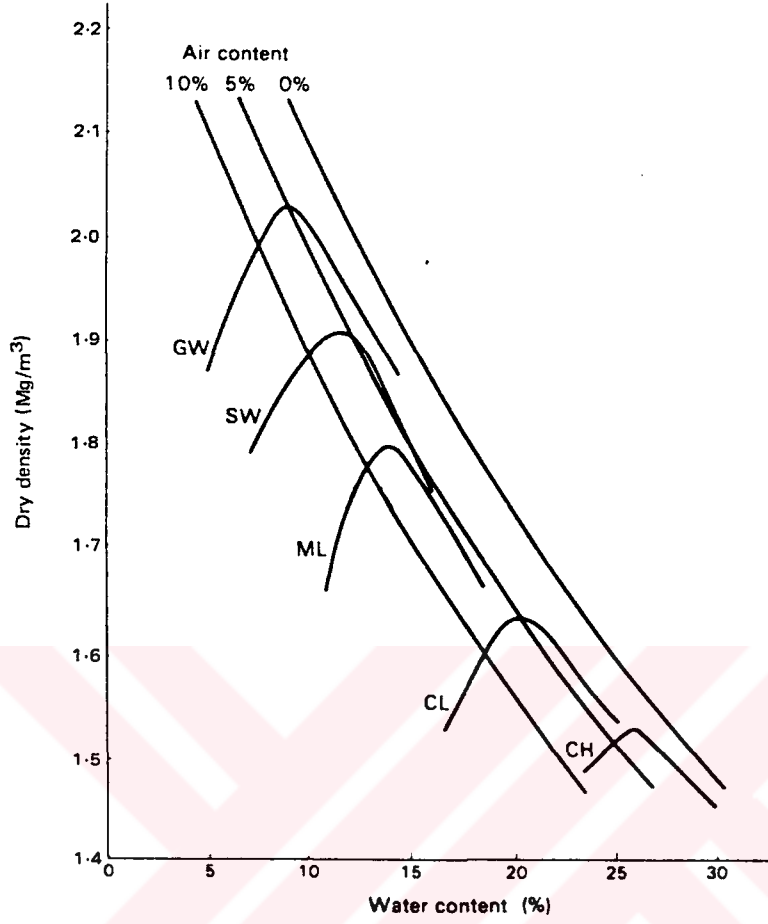
7.1. ZEMİNİN KOMPAKSİYONUNUN ÖLÇÜLMESİ

Proktor Kompaksiyon deneyi olarak bilinen deney değişik su muhtevalarında zemin numuneleri, standart boyutlarda bir kalıp içinde, belirli sayıda tabakalar halinde ve üzerine yine standartlaştırılmış miktarda enerji uygulayarak (kütlesi belli bir ağırlığın sabit bir yükseklikten düşürülmesi ile) sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılan bu zeminden kütlesi belirlenip bundan sıkıştırılmış zeminin yoğunluğu hesaplanabilir. Aynı zeminden alınacak örneklerle su muhtevası saptandıktan sonra kuru yoğunluğu hesaplanır. Deney 5 veya 6 kez tekrarlanarak zeminin su muhtevası ile sıkıştırılmış kuru yoğunluğu arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış olur. Sonuçlar grafiksel olarak gösterilir. Eğrilerin tepe noktalarının koordinatları bu zemin için uygulanan kompaksiyon enerjisine bağlı olarak elde edilebilecek max. kuru yoğunluğu ve optimum su muhtevasını gösterir. Optimum su muhtevası bize zeminin arazide en iyi sıkışabileceği su muhtevasını, max. kuru yoğunluk ise elde edilebilecek sıkışma derecesini göstermektedir.

Deney 2.5 kg ve 4.5 kg'lık ağırlıklarla uygulanmaktadır. Grafiklerde aynı zamanda hava içeriği yada su içeriğide gösterilmektedir.(Şekil 7.1-7.2.)



Şekil 7.1. Su muhtevası - kuru yoğunluk ilişkisi.



Şekil 7.2. Zemin tipleri ve su muhtevası - kuru yoğunluk ilişkileri.

8. ELEKTRİKSEL REZİSTİVİTE VE YÖNTEMİN İLKESİ

8.1. ELEKTRİKSEL REZİSTİVİTE

Yönteme ilişkin bilgilere girmeden önce zemini oluşturan kayaların elektrik özelliklerine kısaca göz atmamız gereklidir.

Kayaçlarda elektrik iletimi metalik ve iyonik iletkenlik olmak üzere iki yolla olmaktadır. Metalik iletkenlikte kayaların elektriği iletme kabiliyetleri içlerindeki metal miktarıyla orantılıdır. İyonik iletkenlikte ise, kayaların oluşumu neticesi içlerinde buldukları porozlu yapı ve bu boşlukların sıvı ile dolu olmasıyla oluşmaktadır. Bu iki iletimdeki temel farkların başlıcaları, metalik iletimde elektronlar, iyonik iletimde iyonlar rol oynar. Ayrıca metalik iletkenlerin direnci, sıcaklığın yükselmesi ile artar, iyonik iletkenlerin direnci sıcaklığın yükselmesi ile azalır.

İyonik iletkenlikte ayrıca gözeneklerinde tuzlu su bulunan kayacın iletkenliği gözeneklerdeki suyun tuzluluğu ile artar. Tuzluluk bir kayacın özderincinin belirlenmesinde en önemli etkidir. Ayrıca sıcaklığın derinlikle artması öz direnci azaltacak buna karşılık derinlikle tuzluluğun azalması öz direnci artıracaktır. Ayrıca öz direnç üzerinde basıncında etkisi vardır.

Yöntemin ana ilkesi kayaçların verilen akıma karşı gösterdikleri dirençtir. Bu ilişki Ohm kanunu ile verilir.

$$R = \frac{V}{I} \quad (8.1)$$

I= akım,

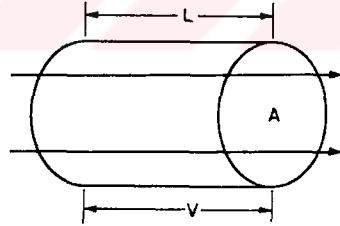
V= potansiyel fark,

R= direnç.

Özdirenç ise, birim boy ve birim kesitteki bir iletkenin elektiriğe karşı göstermiş olduğu dirence verilen isimdir. Buna göre eşitlik şöyledir,

$$\rho = R \cdot A / L \quad (8.2)$$

ρ rezistivite, A kesit alan, R'de L mesafesi ile ayrılan iki eşpotansiyel yüzey arasında ölçülen dirençtir. (bak. Şek.8.1).



Şekil 8.1. Rezistivite tanımı.

E= potansiyel gradient ve j= akım yoğunluğu, buradan ρ ,

$$\rho = E / j \quad (8.3)$$

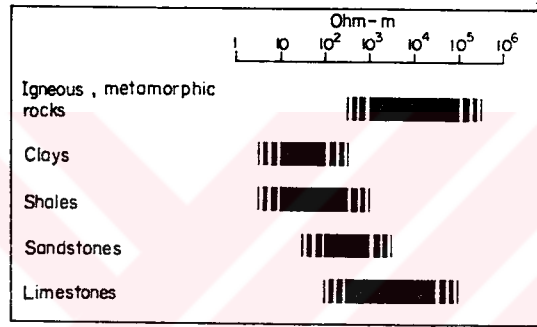
Potansiyel fark birimi volt, akım şiddeti birimi amperdir. Rezistivite birimi ise ohm. metredir.

Bu kısa açıklamalarla rezistivite yönteminin Ohm kanununa dayandığını görmüş olduk.

Kayaçların rezistivite değerleri belirlenebilir. Ancak doğada mevcut zemin ve kayaçların rezistivite değerleri kendi içlerinde dahi büyük değişiklikler gösterir, (Çeşitli Rezistivite değerlerini gösterir tablo 8.1.).

Eş mineralojik özellikler gösteren bir kayaç farklı coğrafik bölgelerde, çok değişik fiziksel parametrelere sahip olabildiği gibi, aynı bölgedeki değişik kökenli kayaçlar da benzer fiziksel nitelikler nedeniyle birbirine çok yakın rezistivite değerleri ile temsil olabilmektedirler. Hatta jeolojik olarak tek bir isimle tanımlanan kayaç aynı yörede, farklı derinliklerde dahi değişik fiziksel niteliklere sahip olması nedeniyle çeşitli rezistivite değerleri ile temsil olabilmekte ve bu nedenle birbirinden elektriksel yönden ayırt edilen farklı seviyeler böylece jeolojik formasyon değişim sınırlarını her zaman göstermeyebilmektedirler.

Rezistivite değerleri ile zemin ve kayaçların fiziksel parametreleri arasındaki ilişki oldukça karmaşıktır.



Tablo 8.1. Çeşitli kayaçların rezistivite değerleri.

8.2. KAYAÇLARIN ÖZDİRENCİNE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Kayaçlarda elektriksel iletim daha önce deyinildiği gibi iyonik ya da metalik yolla olmaktadır. İyonik iletimde en önemli etken kayaçlardaki porozitedir. Porozite bilindiği gibi birim hacimdeki boşluk yüzdesidir. Değişik kayaç tiplerinin gözenekliliği için temsili değerler tablo 8.2.'de verilmiştir.

Tablodan da görüldüğü gibi en büyük gözeneklilik sedimanter kayaçlardadır. Basınç artınca gözeneklilik azalır. Bir kayacın gözenekliliği fazla ve bu gözeneklerde su dolaşıyorsa rezistivitesi oldukça düşük olacaktır. Ancak metalik iletkenlikte gözönünde bulundurulmalıdır.

Kayaç	Gözeneklilik (%)
Şeyl	% 20-50
Kum	% 20-30
Kum taşı	% 5-30
Kireç taşı	%1.5-15
Dolomit	% 3-20
Kuvarsit	% 0.8
Granit	% 1.2
Diabaz	% 1
Diorit	% 1.3 -5.1
Gabro	% 0.3-3.5

Tablo 8.2. Çeşitli kayaçlara ait gözeneklilik (%) (Parkhomenko, 1967)

Kayaçları çimentolu ve çimentolanmamış olarak ayırırsak, çimentolanmamış kayaçlarda porozite değeri rezistivite üzerinde çok etkilidir. Çimentolanmamış kayaçlarda (çaklı, kum, kumlu çakıl v.s.) rezistivite değeri genel olarak ortamı meydana getiren danelerin büyüklüğüne, gözenekliliğe, boşlukları dolduran sıvının rezistivitesine, boşlukların tamamen veya kısmen sıvı ile dolu olup olmayışına bağlıdır. Bu tip kayaçlarda bağıntı, kilsiz, temiz formasyonlar için Archie formülü,

$$\rho = a \cdot \rho_w \cdot S^{-n} \cdot \emptyset^{-m} \quad (8.4)$$

ortam su ile %100 doygun olduğunda,

$$F = \rho_0 / \rho_w = a / \emptyset^m = \text{sabit} \quad (8.5)$$

ρ = Ortamının rezistivite değeri.

ρ_w = Ortamdaki suyun rezistivite değeri.

S- Boşlukların su ile doygunluk yüzdesi.

\emptyset = Ortamın porozitesi.

ρ_0 = Ortamın suyla % 100 doygun olduğu haldeki rezistivite değeri.

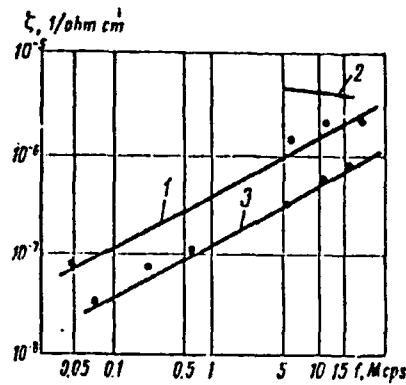
F= Formasyon faktörü.

a, m, n ise ortamın fiziksel yapısıyla ilgili ampirik sabitlerdir.

\emptyset basınca bağlı olduğundan, F ve ρ 'nun her ikisinde basınca bağımlıdır. Bu nedenle, yüzeyden kayaçları oluşturan minerallerin yüksek sıcaklık (1-100 dolayında) dolayısıyla yarı iletken olacakları bir derinliğe kadar, ρ 'nun derinlik ile artması beklenir. Bu olay aşağı yukarı 70-80 km derinliklerde görülecektir.

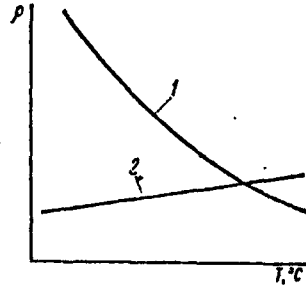
Çimentolu ortamlar ise doğada mevcut olan tüm kayaçları temsil etmektedir. Mağmatik ve metamorfik kayaçların önemli bir kısmı genelde kristalize bir yapı göstererek yüksek rezistivite değerleri ile temsil olurlar. Kayaçların masif kütle ve sağlamlık gibi dokusal ve yapısal tanımlarından uzaklaşması, onların özellikle iklime bağlı olarak meydana gelen fiziksel ve kimyasal ayrışma (alterasyon) olaylarının bir ürünü olmaktadır. Ayrıca kayaçların çeşitli derinliklerde, oluşumlarından çok daha sonraki zamanlarda, yer kabuğunda meydana gelen çeşitli derecedeki ısı ve basınç faktörleri ile bazı hareketler sonunda kırıklı ve çatlaklı yapı kazanmaları da kayaçların zayıflamasına neden olmaktadır. Sedimanter kayaçlar ise değişik ortam ve koşullarda çeşitli boy ve cinsteki malzemenin birikip çimentolanma sonucunda kayaçlaşması ile oluşmuşlardır. Burada kil, kalker ve silis gibi değişik çimento maddesi ile çimentolanma derecesi çok önem taşımakta ve bu faktörler kayacın yapısal özelliklerini, sıklık ve gevşeklik kavramları açısından oldukça karakterize edebilmektedirler. Tüm bu yapı ve doku farklılıkları kayaçta ölçülen rezistivite değerlerinin göreceli olarak azalması veya büyümesine neden olurlar. Doğal olarak kırıklı, çatlaklı ve hatta kireçtaşında olduğu gibi boşluklu bir kayaç içerisindeki su ve onun kimyasal bileşimi, söz konusu değerlerin susuz bir ortama göre daha da düşmesine olanak sağlayacaktır.

Yere uygulanan akımın belirli bir frekansı vardır. Bu frekans kayaçların elektriksel iletkenliğinde etkili olabilmektedir. Örneğin Şekil 8.2'de syenitin elektrik iletkenliği ile uygulanan frekans arasındaki ilişki görülmektedir. Bu ilişki alçak frekanslar için çok değildir.



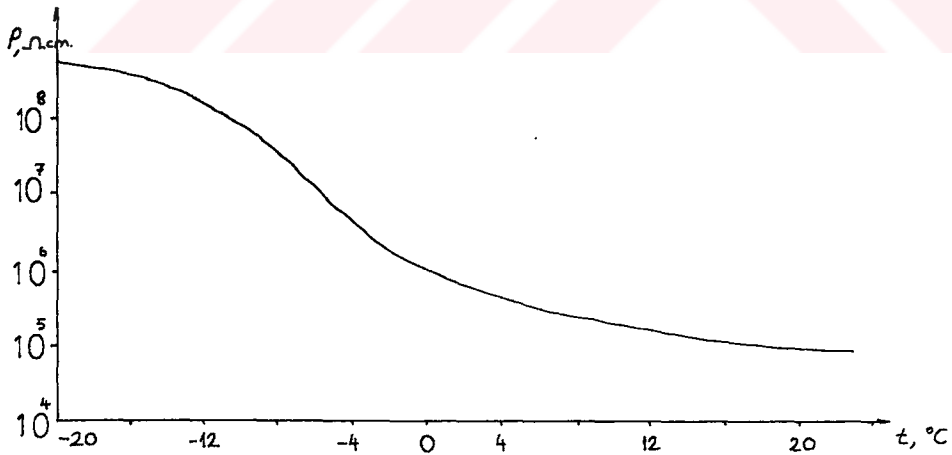
Şekil 8.2. Syenitin elektrik iletkenliği ile uygulanan frekans arasındaki ilişki: 1- kuru örnek; 2- ıslak örnek; 3- doğal örnek.

Daha önce bahsedilen sıcaklık etkisi de önemlidir. Sıcaklık ile kayac içindeki boşlukları dolduran sıvı değişime uğruyorsa öz dirençte de büyük değişiklikler olmaktadır. Metallerin direnci sıcaklıkla artar, yarı iletkenlerde ise sıcaklık arttıkça direnç azalmaktadır. (Şekil 8.3.)



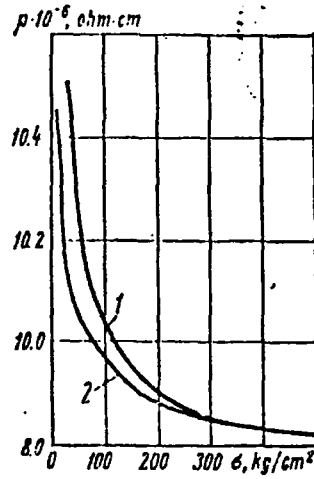
Şekil 8.3. Sıcaklıkla direnç değişimi: 1- yarı iletken; 2- metal.

Soğuma ve ısınmada da iletkenlikte değişim olur. Buzun suya dönüşmesi sonucu öz direncin artan sıcaklıkla hızla düştüğü görülmüş ve bu geçiş aralığında sıcaklığın bir dereceye kadar kayac içindeki suyun tuzluluğuna bağlı olduğu bulunmuştur. (Şekil 8.4). Mineralleşmiş kayalarda öz direnç su ile değil iletken minerallerin varlığı ile düşünülür. -19 °C'tan 8 °C'a kadar sıcaklık ile öz direnç arasında kuvvetli bir ilişki yoktur.



Şekil 8.4. Biotit ve granit için öz direnç-sıcaklık ilişkisi. (%0.1 su ve %0.001 NaCl içerikli) (Parkhomenko, 1967)

Kayaçların elektriksel iletkenliğinin derinlikle değiştiği ve yeryüzünden birkaç yüz km'ye kadar öz direnç derinlikle azaldığı saptanmıştır. 400-500 km derinlikte öz direnç birkaç Ohm'a düşer (Şekil 8.5).



Şekil 8.5. Basınçla direncin değişimi: 1- uygulama kaydı; 2- değiştirilen kayıt.

Görüldüğü gibi kayaçların elektriksel iletkenliğine etki eden birçok faktör vardır. Bu nedenle bir kayacın öz direnci geniş aralıklarda değişmektedir. Yöntemin uygulanmasından sonraki değerlendirme aşamasında bu değişimler göz önünde tutulmalı ve buna göre bir yorum getirilmelidir.

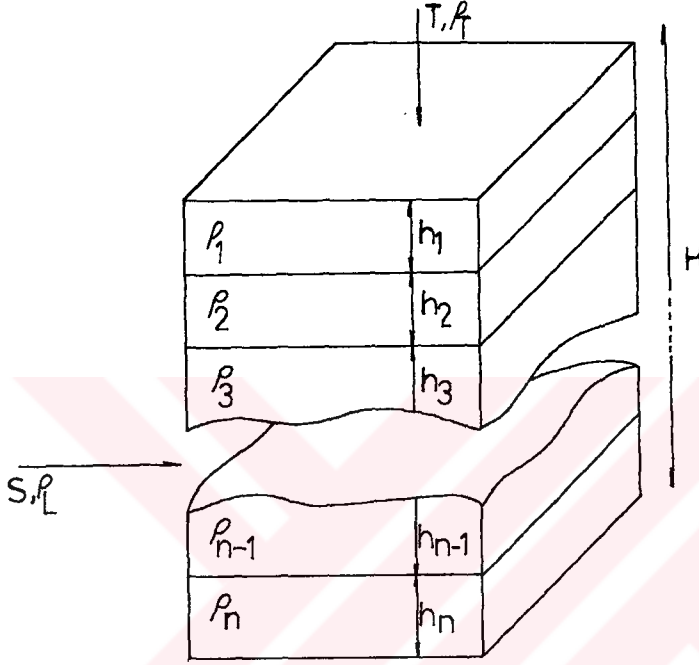
8.3. HOMOJEN İZOTROP ORTAM VE AKIMIN YAYILIŞI

Homojen izotrop ortamda rezistivite değerinin büyüklüğü skalerdir. Fakat anizotrop bir ortamda rezistivite büyüklüğü tensördür. Farklı doğrultularda farklı değerlere sahiptir. Rezistivite değerinin bu değişimine elektriki anizotropi denir.

Jeoelektrik araştırmalarda üç tip anizotropiden sözedilir. Mikro anizotropi ortamı meydana getiren malzemelerin mikro görünüşteki farklı dizilimi, kristallenme v.s.'nin meydana getirdiği anizotropidir. Makro anizotropi farklı litolojideki mikro anizotrop veya izotrop seviyelerin sıralanması veya tekrarıyla meydana gelir. Zahirî izotrop ise birden fazla farklı rezistivite değerli seviyelerin matematiksel olarak eşdeğer tek bir seviyeye indirgenmesinden ortaya çıkan teorik bir büyüklüktür.

8.3.1. TABAKALI ORTAM

Birbirinden farklı özellikteki homojen ve izotrop ortamların birbirine paralel olarak sıralanmasından oluşan tabakalı ortamların elektriksel özelliği ise 5 ayrı parametre ile belirlenir.



Şekil 8.6. Yatay katmanlı yertaslağı.

a- Ortamın tabakalanmaya dik doğrultudaki rezistansı (Transverse Resistance) T .

b- Ortamın tabakalanmaya dik doğrultudaki eşdeğer rezistivitesi (Transverse resistivity) ρ_T .

c- Ortamın tabakalanmaya paralel doğrultudaki iletkenliği (Longitudinal Conductance) S .

d- Ortamın tabakalanmaya paralel doğrultudaki eşdeğer rezistivitesi (Longitudinal resistivity) ρ_L .

e- Anizotropi sabiti (λ).

Bu parametreler elektrik akımının tabakalanmaya dik veya paralel doğrultuda tatbik edildiği düşünülerek, ortamı meydana getiren tabakaların rezistivite ve kalınlık değerleri cinsinden hesaplanır. Şekil 8.6'daki ortamın parametrelerini hesaplayalım.

Akımın tabakalanmaya dik doğrultuda uygulandığını düşünürsek prizmanın T'si tabakaların öz dirençleri toplamına eşittir.

$$T = \sum_{i=1}^n \rho_i \cdot h_i \quad (8.6)$$

$$\rho_T = T / H \quad (8.7)$$

$$S = \sum_{i=1}^n h_i / \rho_i \quad (8.8)$$

$$\rho_L = H / S \quad (8.9)$$

$$\lambda = \sqrt{\rho_T / \rho_L} \quad (8.10)$$

Tabakalanmaya dik doğrultudaki eşdeğer rezistivite değeri, paralel doğrultudaki eşdeğer rezistivite değerinden daima büyük olduğundan anizotropi sabiti değeri daima birden büyüktür.

8.3.2. REZİSTİVİTE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Yöntem zemine yüzeyden verilen alternatif veya doğru akıma karşı ortamın göstermiş olduğu direnç ölçümüne dayanır. Bu direnç değeri arazide uygulanan geometrik düzeltme faktörü yardımıyla rezistiviteye dönüştürülmektedir. Ortama akım elektrodlarla verilmektedir. Potansiyel elektrodları ile de gerilim düşümü ölçülmektedir. Böylece dört elektrod kullanılarak farklı ölçüm yöntemleri geliştirilmiştir.

Ölçü sistemlerini potansiyel fonksiyonun ölçülen büyüklüğüne göre üç ana grupta toplayabiliriz.

I- Akım elektrodları ara mesafesine kıyasla büyük ara mesafeli potansiyel elektrod dizilimiyle, potansiyel fark değerinin ölçüldüğü sistemler.

II- Akım elektrodları ara mesafesine kıyasla küçük ara mesafeli potansiyel elektrod çiftiyle, potansiyel fonksiyonun gradientinin (birinci türev) ölçüldüğü sistemler.

III- Birbirine olan mesafelerine kıyasla küçük ara mesafeli seçilen akım ve potansiyel elektrod çiftiyle, potansiyel fonksiyonunun eğrilik (ikinci türev) değerinin ölçüldüğü sistemler.

Herhangi bir ölçü sistemiyle yer içinin rezistivite değerleri, bir noktada derinliğe ve belirli derinlikler için bir hat boyunca veya alanda incelenebilir. Rezistivite değeri böylece iki teknikle incelenebilir.

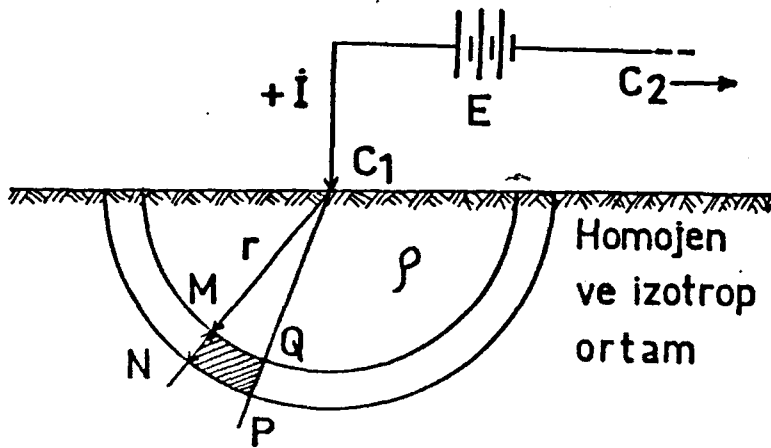
Elektriki Sondaj (VES): Bir noktadan derinliğe doğru rezistivite değerinin incelenmesidir. Elektriki sondaj, yer içinin düşey süreksizliklerinden tabakalı ortamlarda, jeoteknik ölçümlerde yük altında kalacak olan zeminin kalınlığının saptanmasında, hidrojeolojide de porozlu tabakaların yanal sınırlarını belirlemede etkilidir.

Profil ölçümleri (CST): Elektrik profili olarak bilinen bu yöntem, belirlenen alanda düzenlenen profiller boyunca sabit açılımlarla yapılır. Bu ölçüm yatay süreksizliklerde (dayk, fay, çatlak v.s.), mineral prospeksiyonunda ve cevher yeri tespitinde etkilidir.

Ortama akım iki elektrodla verilir. Homojen, izotrop ve yarı sonsuz düşünülen bir ortama böylece akım verildiği düşünölsün. Elektrodlardan birisi yatayda uzaklaştırılacak olursa, ortama akımın tek noktadan verilmiş olduğu kabul edilebilir (Şekil 8.7). Bu kabul ile nokta-kaynakta eşpotansiyelli yüzeyler, konsantrik yarım küre yüzeylerinden ibaret olacaktır. Şekilde göröldüğü gibi merkezden r uzaklığındaki bir MNPQ küresel elemanına "Ohm kanunu" uygulanacak olursa, potansiyel ifadesi,

$$V = \rho I / 2 \pi r \quad (8.11)$$

olacaktır.



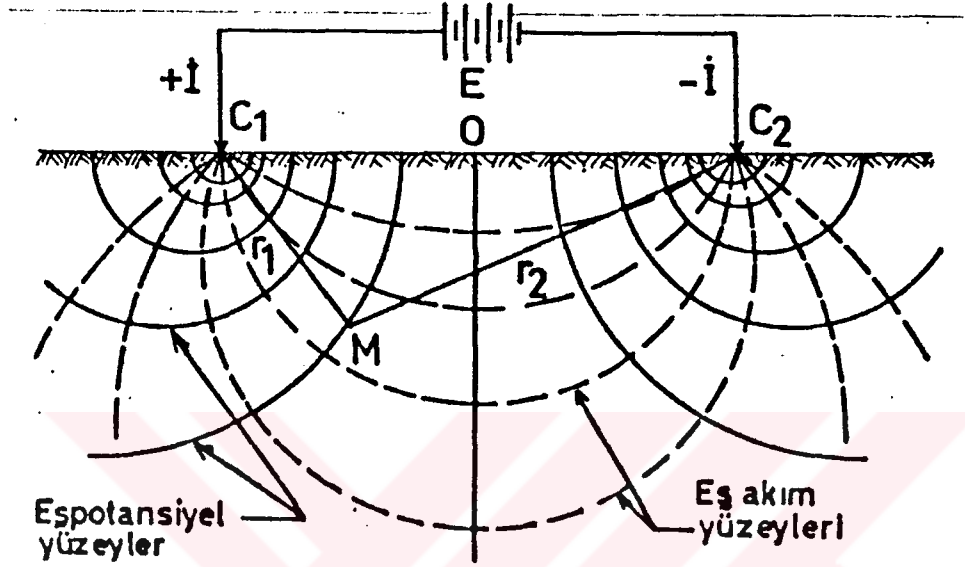
Şekil 8.7. Homojen ve izotrop bir ortamda akımın yayılışı.

Yine homojen, izotrop ve yarı sonsuz bir ortama bu kez birbirine yakın iki elektrodla akım uygulanmış olsun (Şekil 8.8). Ortam içerisindeki

herhangi bir M noktasındaki potansiyel ise,

$$V_M = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (8.12)$$

şeklinde ifade edilmektedir.



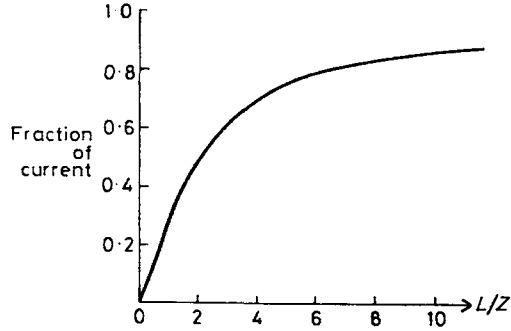
Şekil 8.8. Homojen, izotrop ve yarı sonsuz bir ortamda eşpotansiyel ve eş akım yüzeyleri.

Açıktır ki C_1 ve C_2 elektrodları O merkez noktasına göre simetrik olmak üzere sistematik bir şekilde açılacak olursa akımın daha derinlere etkileme olanağı yaratılmış olacaktır. Açılım sırasında elektriksel yönden homojen olmayan ortamlarda eşakım ve eşpotansiyel yüzeyleri deformasyona uğrayacak ve bu deformasyonlardan yararlanarak değişik elektrik özellikteki jeolojik formasyonların derinlik ve sınırları saptanmaya çalışılacaktır.

Rezistivite ölçüm yöntemlerinde iki elektrodla yere verilen akımın meydana getirdiği potansiyel alanın ölçümü de yine elektrodlar (P_1 ve P_2) vasıtasıyla olmaktadır.

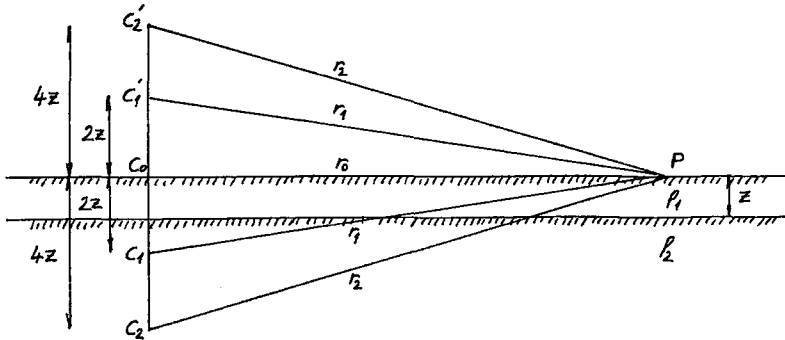
Rezistivite ölçüm yöntemlerinde yere verilen akımın etkilemiş olduğu derinlik, genelde akım elektrodları arasındaki uzaklığa ve ayrıca bir miktarda ortamı meydana getiren tabakaların göreceli kalınlık ve rezistivitelerine bağlı olarak değişmektedir. Ancak kuramsal olarak homojen ve izotrop bir ortamda bu derinlik, akım elektrodları arasındaki uzaklığın yarısına eşit kabul edilmektedir.

Şekil 8.9'da yatay ekseninde elektrod açılımının (L) derinliğe oranı (Z), düşey ekseninde akım kısmı bulunan penetrasyon grafiği gösterilmiştir. Akım elektrodlarının açılımı, derinliğe eşit olduğunda ($L=Z$ akımın penetrasyon derinliği (yani akan akım) %30 civarındadır. $L=2Z$ olduğunda akan akım % 50 civarında olmaktadır.



Şekil 8.9. L/Z oranı ile akımın değişimi. (Telford 1976.)

Yeraltının homojen ve izotrop olması halinde ölçülen rezistivite değeri, ortamın "gerçek rezistivite" değeri, heterojen veya tabakalı olması durumunda ise "görünür rezistivite" değeri olmaktadır. Metodun, uygulanan her bir etap derinliğinde ölçülen görünür rezistivite değerleri çift ekseninde logaritmik bölümlü özel grafiklere işlenerek "arazi rezistivite eğrileri" elde edilmiş olur. Bu eğrilerin grafik ve analitik yöntemlerle veya bilgisayarlarla değerlendirilip yorumlanması sonucunda jeolojik formasyonların bazı nitel ve nicel özellikleri hakkında dikkate değer bilgiler elde edilebilmektedir.



Şekil 8.10. Yatay tabakalı ortamda imaj teorisi.

Daha önce ortama akım verildiğinde davranışını ve potansiyel ifadelerini yazmıştık. Ortam iki tabakalı ise yüzey potansiyeli imaj metodu ile bulunabilir (Şekil 8.10). Akım kaynağı ve potansiyel noktası üstteki tabakada olsun. İlk tabakanın rezistivitesi ρ_1 , ikinci tabakanın rezistivitesi ρ_2 ve havanın rezistivitesi $\rho = \infty$ ' dir. Şekilde görüldüğü gibi C_0 akım elektrodunun aşağıda ve yukarıda imajları mevcuttur. C_0 'ın imajı C_1 'dir, C_1 'in imajı C_1' dir, C_1' 'nin imajı C_2 'dir. Bu böyle devam eder. Birbirini izleyen imajın P'deki potansiyele etkisi sınırlar arasındaki yansıma katsayısı tarafından azaltılır. P noktasındaki V_p potansiyeli,

$$V_p = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} + \frac{2k}{r_1} + \frac{2k^2}{r_2} + \dots + \frac{2k^i}{r_i} + \dots \right)$$

olarak ifade edilir. Buradan

$$V_p = \frac{I\rho_1}{2\pi} \left(\frac{1}{r_0} + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k^n}{r_n} \right) \quad (8.13)$$

$$r_n = [r_0^2 + (2nz)^2]^{1/2}$$

olarak yazılır k ise yüzey sınırındaki yansıma katsayısıdır. Refleksiyon katsayısı k ise,

$$k = \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2 + \rho_1} \quad (8.14)$$

değerine eşittir. (8.13) denkleminde verilen eşitlikle parantez dışındaki ve parantez içindeki ilk terime normal potansiyel denir. Serilerle verilen kısma bozucu potansiyel geometrik faktörü denilir. Bu ifade Wenner sisteminde a açılımı için

$$\Delta V = \frac{I\rho_1}{2\pi a} (1 + 4F) \quad (8.15)$$

$$F = \sum_{n=1}^{\infty} k^n \left[(1 + 4n^2 z^2/a^2)^{-1/2} - (4 + 4n^2 z^2/a^2)^{-1/2} \right] \quad (8.16)$$

yazılır. Wenner sistemi için ρ_a görünür rezistivite değeri,

$$\rho_a = \rho_1 (1 + 4F) \quad (8.17)$$

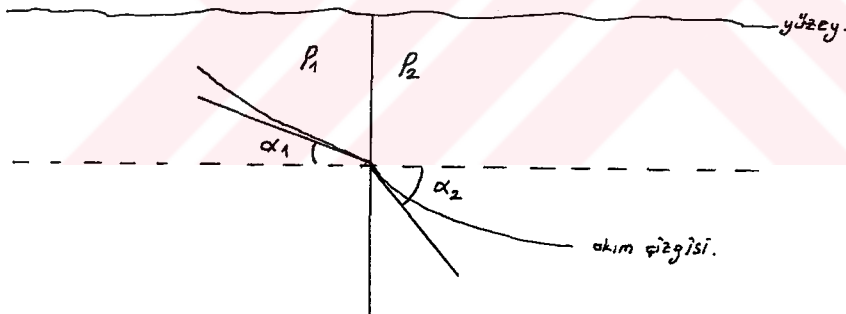
olur. İki tabakalı ortamda bir akım bir potansiyel elektrodlu ölçü sistemi için görünür rezistivite değeri genel ifade ile şöyledir,

$$\rho_a = 2 \pi a \cdot V/I \quad (8.18)$$

$$V = (I \rho_a) / (2 \pi a)$$

Tabakalı ortamda farklı rezistivite değerli tabakaların ortak yüzeyleri elektriki yönden süreksizlik sınırlarıdır. Bu yüzeylerde eşpotansiyel yüzeyleri dolayısıyla akım çizgileri kırılırlar. Akım çizgilerinin böyle bir sınırda kırılması Şekil 8.11'de gösterilmiştir. Akım çizgisinin süreksizlik sınırını kestiği noktadan sınıra bir dik çıkarılırsa, kesim noktasından ortamlardaki akım yoluna çizilen teğetlerin bu normalle yaptığı açılar arasında şu ilişki vardır.

$$\rho_1 \tan \alpha_1 = \rho_2 \tan \alpha_2 \quad (8.19)$$



Şekil 8.11. Farklı rezistivite değerli iki ortamın kontakt yüzeyindeki akım çizgilerinin kırılması.

8.3.3. ÖLÇÜ SİSTEMLERİ

Akım ve potansiyel elektrodlarının farklı adet, dizilim ve konumda seçilmesiyle çeşitli ölçü sistemleri türetilmiştir. Bu sistemlerin uygulamada geniş kullanım sahası bulanları aşağıdakilerdir.

- 1- Wenner ölçü sistemi.
- 2- Schlumberger ölçü sistemi.
- 3- Lee Partition ölçü sistemi.

4- Dipol-dipol ölçü sistemi.

5- Dikdörtgensel ölçü sistemi.

Şekil 8.12'de ölçü sistemleri gösterilmektedir. Ölçü sistemleri dört elektrod diziliminden oluşmaktadır. (Şekil 8.12 (a)). P_1 ve P_2 'deki potansiyel,

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

P_1 ve P_2 'deki potansiyel fark

$$V_1 - V_2 = \Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Buradan rezistivite,

$$\rho = 2\pi \Delta V / I \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (8.20)$$

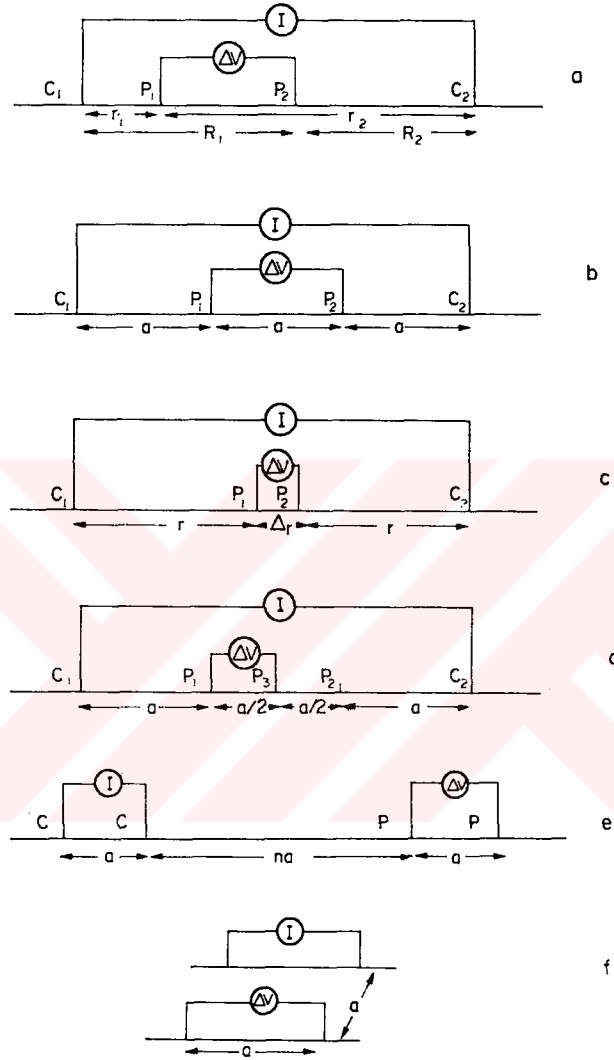
olur. Elektrod açıkları a 'ya eşit alındığında,

$$r_1 = R_2 = a \quad \text{ve} \quad r_2 = R_1 = 2a.$$

(8.20) denkleminde yerine koyarsak,

$$\rho_a = 2\pi a \Delta V / I \quad (8.21)$$

olur. Bu ifade Wenner ölçü sistemi için geçerlidir. Wenner açılımı Şekil 8.12 (b)'de gösterilmiştir.



Şekil 8.12. Rezistivite ölçüm sistemleri.

- a- Dört elektrod düzeni.
- b- Wenner düzeni.
- c- Schlumberger düzeni.
- d- Lee Partition düzeni.
- e- Dipol-dipol düzeni.
- f- Dikdörtgen düzeni.

Schlumberger ölçü sisteminde (Şekil 8.12 (c)) görünür rezistivite değeri şöyledir,

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \cdot \frac{1}{2 \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r + \Delta r} \right)} \quad (8.22)$$

$$\propto \frac{\pi r^2}{I} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta r}$$

bu denklemde $r = n\Delta r$ alınırsa,

$$\rho_a = \pi \frac{\Delta V}{I} \cdot n(n+1) \Delta r \quad (8.23)$$

olur.

Lee Partition açılımında (Şek. 8.12 (d)) üç adet potansiyel elektrodu vardır. Burada görünür rezistivite değeri,

$$\rho_a = 4\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (8.24)$$

Bu açılım Wenner açılımının bir çeşitidir.

Az kullanılan dipol-dipol açılımı (Şek.8.12 (e)), I.P. ölçümlerinde ve hassas rezistivite çalışmalarında kullanılır. Burada görünür rezistivite,

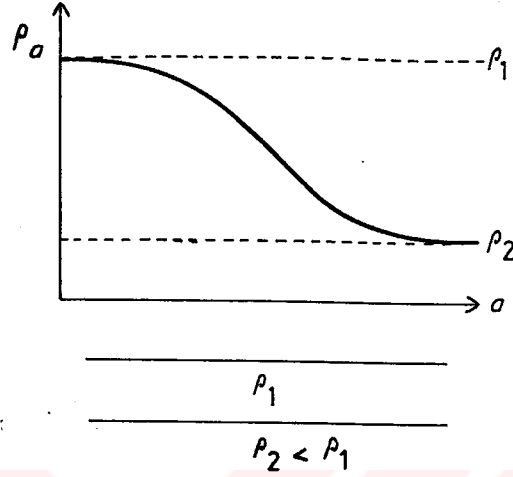
$$\rho_a = \pi \frac{\Delta V}{I} n(n+1)(n+2) a \quad (8.25)$$

Diğer bir açılım şeklide dikdörtgen şeklinde açılımdır. Dik yataklarda ya da kontaklarda başarılı olur (Şek. 8.12. (f)).

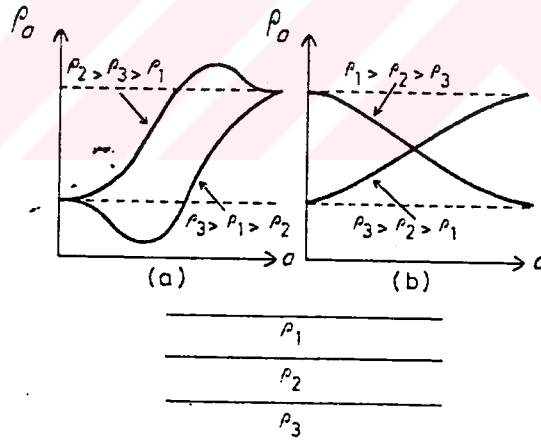
$$\rho_a = \frac{2\pi \Delta V}{I} \cdot \frac{a}{(2 - \sqrt{2})} \quad (8.26)$$

Elektriki sondajda her noktada sağa ve sola eşit açılımlarla istenilen derinliğe kadar ölçü alınır ve bu ölçüler elektrod açılımı ve ρ_a olarak eğri şeklinde çizilir. Bunlar daha önceden belirlenmiş ve master eğriler olarak çizilmiş abaklarla değerlendirilir ya da bilgisayarla değerlendirilir. Tabaka

kalınlıkları ve rezistivite değerleri saptanır. Şekil 8.13'de iki tabaka için elde edilen eğri görülmektedir. Şekil 8.14'te de üç tabaka ve ρ değişimleri gösterilmiştir.

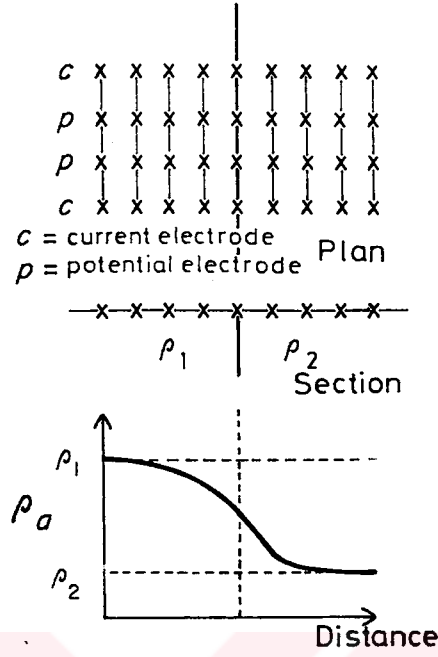


Şekil 8.13. Rezistiviteleri ρ_1 ve ρ_2 olan iki tabakanın ρ_a ve elektrod açılımı (a) değişim eğrisi.

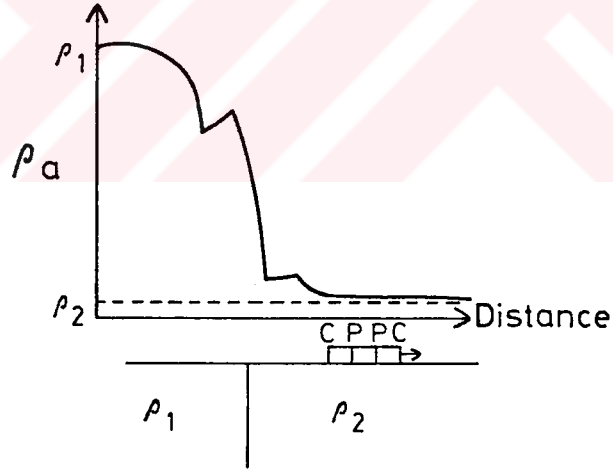


Şekil 8.14. Üç yatay tabakanın ρ_a ve a elektrod açılımı değişim eğrileri.

Elektrik profili ölçümünde (CST) belirlenen traverslerde sabit açılımlarla yatay süreksizliğe dik veya buna paralel ya da tabakalanmaya dik veya paralel olarak ölçüler alınır. Şekil 8.15'de tabakalanmaya dik ve Şekil 8.16'da tabakalanmaya paralel ölçü alımları ve eğrilerin değişimi görülmektedir.



Şekil 8.15. Yatay süreksizlikle ayrılmış iki tabaka üzerinde transverse travers ölçümü.

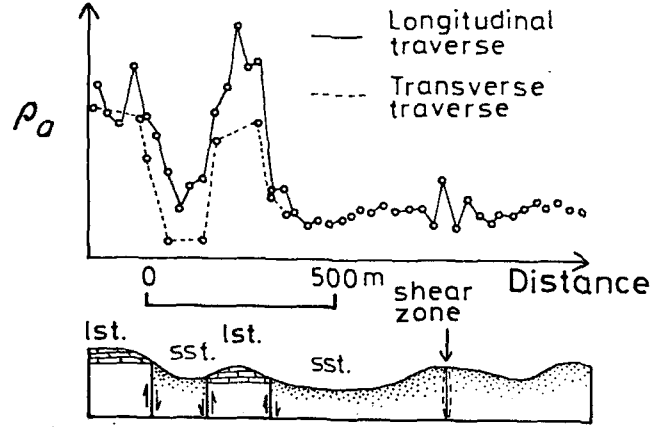


Şekil. 8.16. Yatay süreksizlikle ayrılmış iki tabakanın longitudinal travers ölçümü. (Parasnis 1973'den Redrawn.)

Tabakalanmaya paralel ölçümlerde (longitudinal travers) görüldüğü gibi yatay süreksizlik üzerinden elektrodlar geçerken eğride sivrilikler oluşuyor.

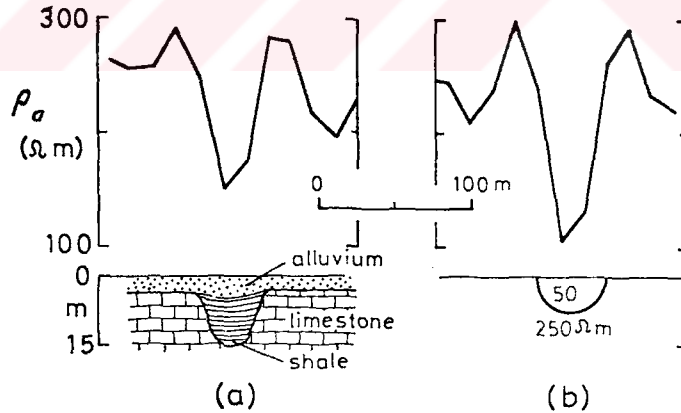
Bunlardan dört tane oluşur. Wenner açılımında dört tane oluşur, Schlumberger açılımında iki tane oluşur. Bu düşey kantağ üzerinde yapılan yatay ve düşey ölçümlerin başka bir bölgedeki uygulaması ve eğrilerin

karşılaştırılması Şekil 8.17'de gösterilmiştir. Bu şekilde kısmen rezistiv kireçtaşı ve kısmen iletken kumtaşı arasındaki güçlü rezistivite değişimleri açıklanmıştır.



Şekil 8.17. Illinois, USA'da faylı tabaka serileri üzerinde yapılmış boyuna ve dikine travers ölçümleri sonuçları. (Hubbert 1934'den Redrawn.)

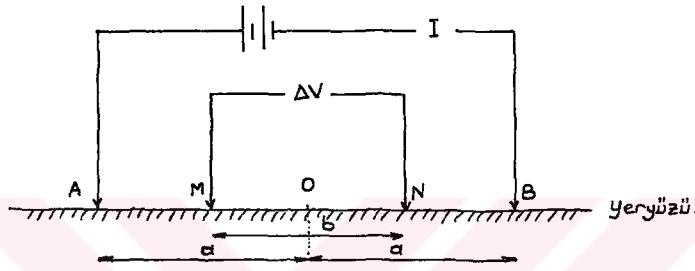
CST sonuçları ile elde edilen kesitler üstüste konarak üç boyutlu kesitler çıkarılabilir. Görünür rezistivite değişkenlerinin matematiksel analizi düzensiz biçimler veya düzenli yapılara komplekstir fakat denklemler küresel veya yarı küresel biçimler için mevcuttur. (Şek. 8.18) ve teorik olarak düzensiz yapıların rezistivite cevabının hesaplanması mümkündür.



Şekil 8.18 (a) Şeyl ile dolu bir yapının bilinen geometrisi ve Wenner rezistivite eğrisi (Kansas, USA). (b) Gömülü yarıküre için teorik profil. (Cook ve Van Nostrand (1954)'den Redrawn.)

Bahsettiğimiz VES ve CST sistemlerinden VES zemin etüdlerinde uygulanır. Özellikle istenilen tabakalanmaya en iyi cevabı elektriki sondaj vermektedir. Elektriki sondajda kullanılan ölçüm yönteminde, diğer ölçü

yöntemlerine göre yanal süreksizliklerden daha az etkilenen Schlumberger yöntemi. Bu yöntemde daha önce bahsedildiği gibi bir nokta civarında iki yana doğru simetrik açılım yapılarak sabit noktada elektriki sondaj yapılmış olunur. Potansiyel elektrodları açılımı akım elektrodları açılımından daha küçük olduğundan tatbik edilen akımın meydana getirdiği potansiyelin simetri merkezindeki gradient değişimi ölçülür. Schlumberger yönteminde uygulamada potansiyel elektrod aralığı, akım elektrodları aralığının $1/3$ 'ünden büyük, $1/30$ 'ünden küçük olmamalıdır.



Şekil 8.19. Schlumberger açılım sistemi.

Elektrik sondaj ölçüleri akım elektrodları ara mesafesi arttırılarak yapılır. Neticede O noktasından ölçü dizimine dik doğrultuda ortamın rezistivite değeri değişimi elde edilir. MN'nin uç limitleri ölçülerini almak için potansiyel elektrodları değişiminde akım elektrodları bir veya iki önceki durumuna alınarak ölçüler tekrarlanır. Böylelikle bir ölçü derinliği için MN'nin iki farklı değeri için ölçüler elde edilmiş olur. Bu işlem ölçü derinliği görünür öz direnç değeri eğrisinin sürekliliğini temin, ölçü ve yan tesir hatalarını da kısmen elemine etmek, daha doğrusu görmek gayesiyle yapılır.

Rezistivite yönteminde penetrasyondan kısaca bahsetmiştik. Basit bir durum olarak yine homojen yarı sonsuz bir ortam düşünelim, böyle bir ortamda akım yoğunluğu derinliğe doğru sonsuzda sıfır olacak şekilde asimptatik olarak azalır ve belli bir derinlikten aşağıya penetre olan akımın yüzde miktarı akım elektrodları ara mesafesi arttıkça artar. Bu neticeden ve ölçü penetrasyonunun, potansiyel elektrodlarında akım elektrodlarına göre konumlarına bağlı olacağı düşünülerek, böyle bir ortamda ölçü

penetrasyonu için, şunlar söylenebilir: Bir sistemin ölçü penetrasyonu akım elektrodları ara mesafesine ve potansiyel elektrodlarının akım elektrodlarının konumlarına göre değişir. İkinci durum olarak farklı rezistivite değerli ve kalınlıkta homojen-izotrop yatay dizilimli tabakalardan meydana gelmiş ortamı düşünelim; böyle bir ortamda belli bir derinlik altına penetre olan akımın yüzde miktarı, kırılma nedeniyle yarı sonsuz homojen izotrop ortamdakinden farklı olarak, tabakaların rezistivite ve kalınlık oranlarına ve bu tabakaların diziliminde bağlı olarak değişir. Varılan bu neticelere ve yatay dizilimli homojen izotrop tabakalardan meydana gelmiş ortamı uygulamada karşılaşılan genel durum olarak kabul edersek, ölçü sistemlerinin penetrasyonu hakkında şunları söyleyebiliriz (sistemler farklı elektrod dizilimlerinden meydana geldiğinden, penetrasyon derinlikleri farklıdır). Her sistemin penetrasyon derinliği sistemdeki akım ve potansiyel elektrodlarının birbirine göre konumlarına; ortamı meydana getiren tabakaların rezistivite, kalınlık oranlarına ve tabakaların dizilimine bağlı olarak değişir. Ortamı meydana getiren tabakaların anizotrop ve yatay dizilimde olmayışları, büyüklüğü etkileyen ek faktörlerdir.

Yukarıda çıkarılan sonuçlar uygulamaları güçleştirir. Şöyleki, elektriki sondaj ölçülerinde rezistivite değerinin bağımlı olarak incelendiği ölçü derinliği, ölçü esnasında bilmediğimiz büyüklüklere bağlı bir bilinmeyen durumundadır. Uygulamada her ölçü sisteminin elektrod konumlarına bağlı bir ölçü derinliği olduğu ve bu değer ortamın fiziki koşullarına bağlı olmadığı kabulü yapılır. Böyle bir kabulle, ortamın fiziki büyüklüklerine bağlı bir hata yapılacağı muhakkaktır.

Ölçü sistemlerinin penetrasyon derinliği, yalıtkan yarı sonsuz bir tabaka üzerinde iletken bir tabakadan meydana gelmiş özel bir ortam hali için incelenebilir. Bu incelemeden çıkan sonuç Schlumberger sisteminin penetrasyon değeri $AB/2$ olur. Wenner ölçü sistemi için penetrasyon değeri $1.38 AB/3$ olmaktadır.

9. ARAZİ UYGULAMASI

9.1. GİRİŞ

Arazi uygulaması, 200 konutun yerleşim alanı olarak düşünülen İstanbul ili, Bakırköy ilçesi, Sefaköy semtinde 5 dönümlük arazide yapıldı. Yapılan çalışmalar jeolojik, jeofizik, jeomekanik ve jeotekniktir.

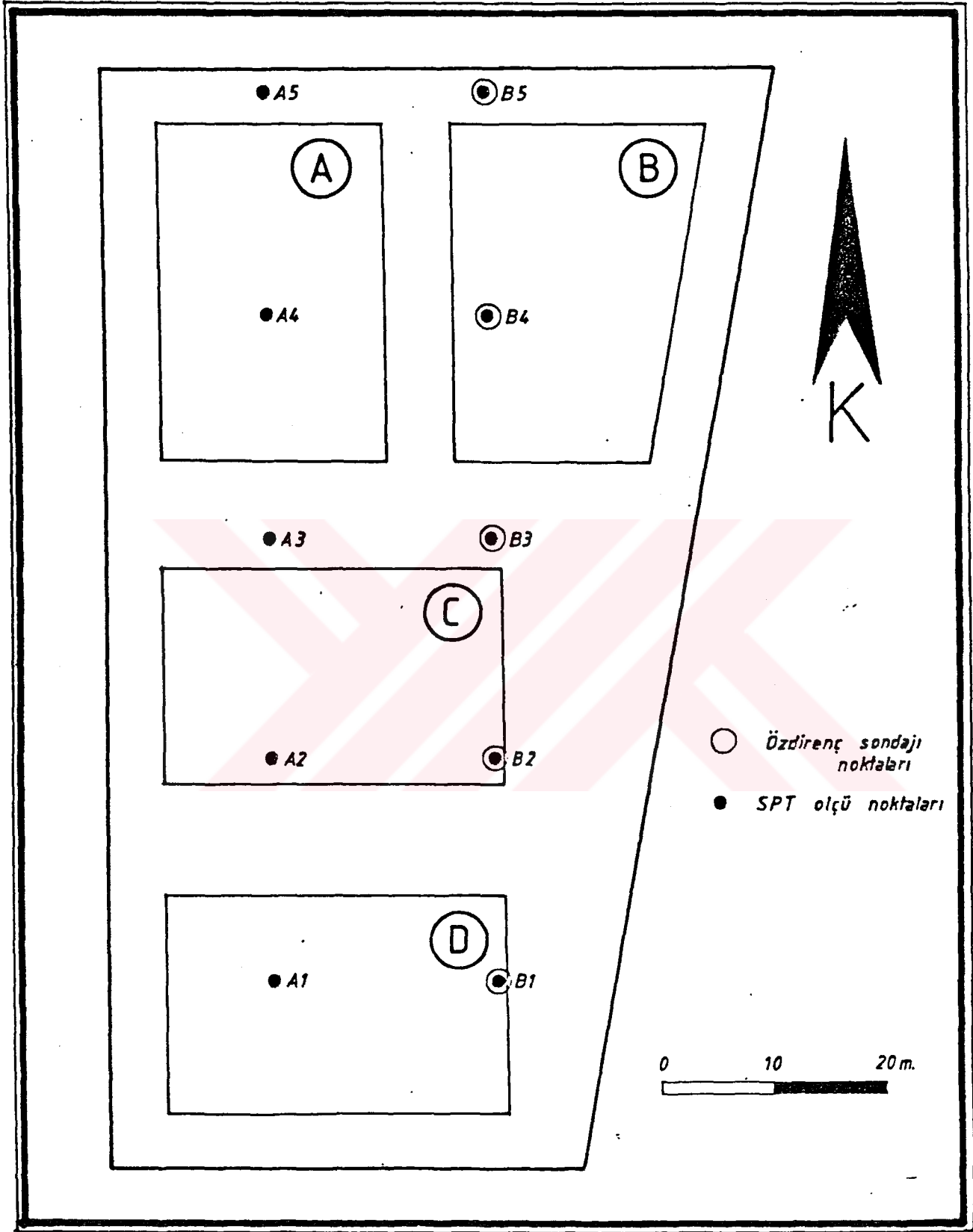
Bölge jeolojik olarak Sarmasiyen yaşlı formasyonlarla temsil edilmektedir. Bu birim küçükçekmece Formasyonu olarakta adlandırılır. bu birim Lütesiyen yaşlı Yarımburgaz kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır. Küçükçekmece Formasyonu üstten alta doğru Bakırköy kireçtaşı, Güngören üyesi ve Çukurçeşme üyesi olmak üzere üç üyeden oluşur.

Arazide Standard Penetration Test (SPT) ölçümleri yapıldı. Bu ölçümler arazide 2 doğrultuda toplam 10 adet noktada uygulandı. Doğrultular arası 20m ve her doğrultu üzerindeki noktalar arası 20m'dir. Her ölçü noktası için darbe sayısı-derinlik grafikleri çizildi, çeşitli derinlikler için zemin güvenlik gerilmesi limitleri işaretlendi. Ayrıca her ölçü noktasında değişik derinlikler için elde edilen zemin güvenlik katsayılarının değişimini içeren kat haritaları çizildi ve çeşitli profiller boyunca değişimlerini gösteren kesitler sunuldu.

Çalışma alanından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelere çeşitli laboratuvar deneyleri uygulandı. Bu deneyler sonucunda zeminin cinsi ve özellikleri hakkında bilgiler elde edildi.

Arazide yapılan SPT ölçümlerini desteklemek ve temelin oturacağı birimin kalınlığını saptamak amacı ile jeofizik araştırma yöntemlerinden rezistivite yöntemi uygulandı. Çalışma alanında 5 noktada elektrik sondaj ölçümü alındı. Her noktada Schlumberger açma yöntemi ile açılım boyu $r=100m$ 'ye kadar alındı. 5 noktada elde edilen ölçüm değerlerinden görünür öz direnç eğrileri çizildi. Bu eğrilerden her noktaya ait yeraltı tabaka kalınlıkları ve öz direnç değerleri hesaplandı. Buradan yola çıkarak B profiline ait yeraltı jeofizik kesiti çıkarılmıştır. A ve B profilleri arası kısa olduğundan ve ekonomik olması açısından sadece B profilinde ölçü alınması yeterli görüldü.

Ölçü noktalarının yerleşimi Şekil 9.1'de görülmektedir.



Şekil 9.1. Çalışma alanında alınan ölçü duraklarının konumları

9.2. BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

Bölgenin yakın çevresi, jeolojik açıdan, çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu yüzden mevcut literatürden yararlanarak jeolojik yapı incelenmiştir.

Şekil 9.2'de bölgenin jeolojik haritası görülmektedir (Arıç, 1955). İnceleme alanının yaklaşık konumu jeoloji haritası üzerinde kabaca işaretlenmiştir. Arazinin basitleştirilmiş bir krokisi Şekil 9.1'de görülmektedir.

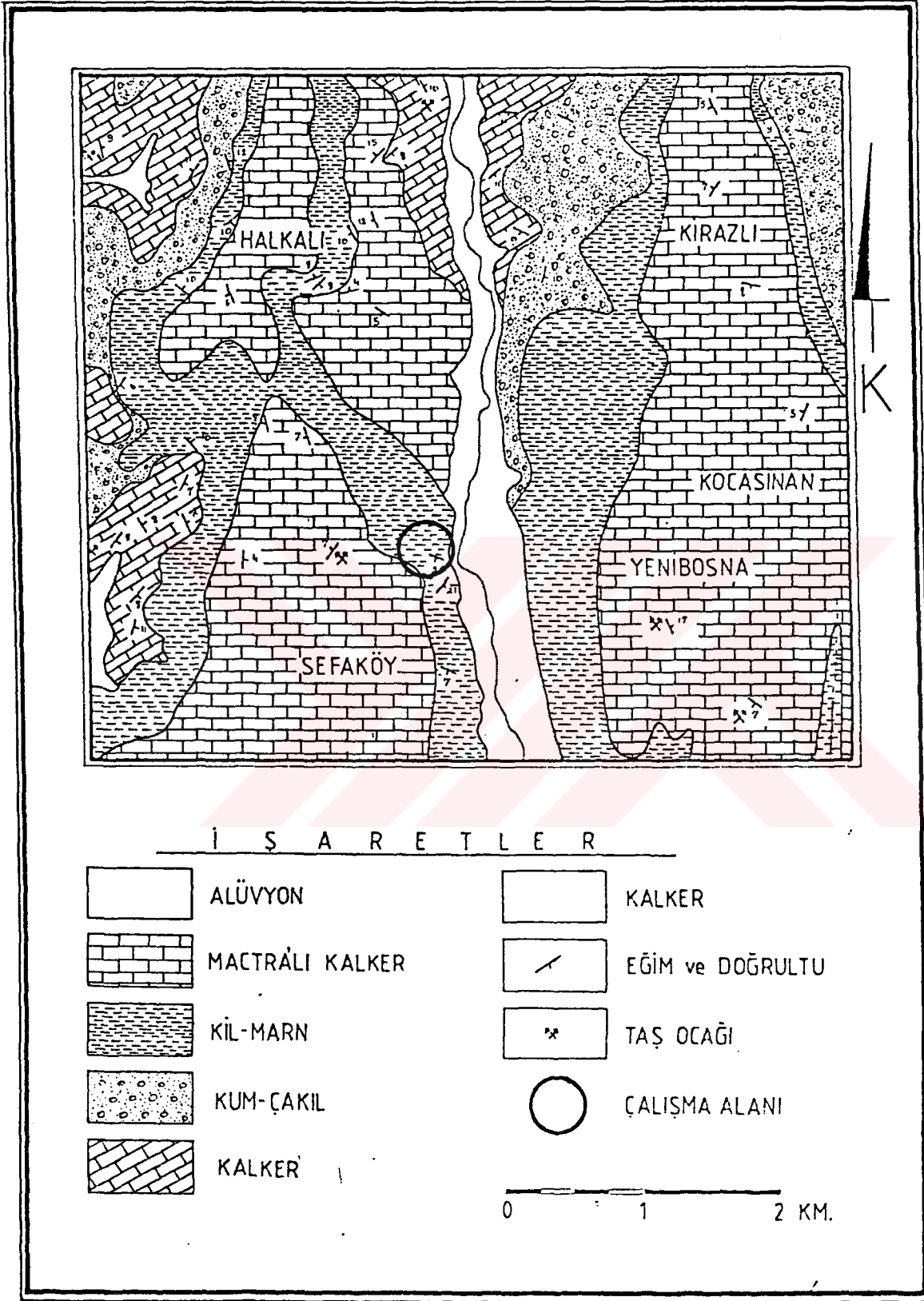
Bölgenin jeolojisi genel olarak Sarmasiyen yaşlı formasyonlarla temsil edilmektedir. Bu yöre Sarmasiyen Küçükçekmece Formasyonu olarak adlandırılmakta olup 3 üyesi ayırtlanmıştır. Bunlar üstten alta doğru Bakırköy Kumtaşı, Güngören üyesi ve Çukurçeşme üyesidir.

Bakırköy Kireçtaşı genelde kireçtaşı ve çok az olmakla birlikte kil ve marn ara tabakalarından oluşmuştur. Kireçtaşı 1-2m kalınlığında düzensiz tabakalanmalıdır. Kalınlığı yaklaşık olarak 20m civarındadır.

Güngören üyesi genelde kil, marn ve seyrek kireçtaşı merceklerinden oluşmuştur. Killer yeşil, mavi renkli, yumuşak, düzensiz ince tabakalıdır. Marn beyaz ve kirli beyaz renkli, orta sert, yer yer yumuşak ve ince tabakalıdır. Kireçtaşı mercekleri boşluklu, dağınık ve Mactralıdır. Güngören üyesinin kalınlığı yaklaşık 15m civarındadır. Altta Çukurçeşme üstte Bakırköy kireçtaşları ile uyumludur.

Çukurçeşme üyesi seyrek kil ve silt bantlı kum ve çakıl seviyeleri ile temsil olunur. Genelde kum içinde çakıl cepleri mevcuttur. Çakıl seviyeleri yer yer blok boyutunda daneler de içerirler. Çukurçeşme üyesi Yarımburgaz kireçtaşları üzerinde uyumsuz durmaktadır. Üstte uyumlu olarak Güngören üyesi yer alır. Kalınlığı yaklaşık 60m kadardır.

Küçükçekmece Formasyonu tümüyle ele alınırsa bir akarsu ve gölsel ortam çökeli olduğu sonucuna varılır. En alttaki Çukurçeşme üyesi kum, çakıl boyutundaki daneleri ile omurgalı fosiller içermesi ve kırmızı okside rengiyle akarsu veya gölsel çökel izlenimi verir. Güngören üyesi içerdiği fosiller ve litolojisi ile bataklık veya gölsel ortam ürünüdür. Bakırköy kireçtaşı ise tatlısu ortamında çökelmiştir.



Şekil 9.2. Bölgenin jeoloji haritası.

Araştırma alanında Sarmasiyen yaşlı kayalar Lütesiye yaşlı Yarımburgaz Kireçtaşları üzerinde uyumsuz olarak durmaktadır.

Yarımburgaz Kireçtaşı resifal özelliğinden dolayı belirgin tabakalanma göstermez. Beyaz, kirli sarımsı beyaz renklidir. Bol miktarda mikro ve makro fosil içerir. Oldukça karstik, kof ve kırıklıdır. Yarımburgaz kireçtaşları grovaklarla temsil edilen Paleozoik temel üzerinde uyumsuz olarak dururlar.

Mevcut jeolojik bilgilerin ışığı altında arazide beklenen jeolojik istif Şekil 9.3'de görüldüğü gibi olmalıdır. Bununla birlikte, Sarmasiyen genel olarak tatlı su oluşukları ile temsil edilmekte olması nedeniyle litolojik ilişkiler yerden yere değişebilmekte ve bazı birimler bulunmayabilmektedirler.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	FORMASYON	ÜYE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	KUVATERNER						
SENOZOYİK	TERSIYER	EOSEN	LÜTESİYEN	ALTINŞEHİR	YARIMBURGAZ	KİL, SİLT, KUM ve ÇAKIL	DİSKORDANS
							MACRALI KİREÇTAŞI
		MİYOSEN	SARMASİYEN	KÜCÜKÇEKMECE	ÇUKURÇEŞME	KİL, KİLLİ KİREÇTAŞI	DİSKORDANS
						TUTTURLMAMIŞ veya AZ TUTTURLMUŞ KUMTAŞI ÇAKILTAŞI	
PALEOZOYİK	KARBONİFER	ALT VİZİYEN	TRAKYA	KÜCÜKKÖY KUMTAŞI	KUMTAŞI (GROVAK) ŞEYL	DİSKORDANS	
						RESİFAL KİREÇTAŞI	

Şekil 9.3. Bölgenin jeolojik istifi.

9.3. JEOMEKANİK ÇALIŞMALAR

9.3.1. STANDARD PENETRATION TEST ÖLÇÜMLERİ

SPT ölçümleri, hafif künel darbeleri delicisi kullanılarak yapıldı. Dinamik delmede, delici uç belirli bir yükseklikten, belirli ağırlıkta bir şahmerdanın düşürülmesi ile zemine çakılır. Bu çakma esnasında zemine batma miktarı ile vuruş sayısı saptanır. Ölçüler her 10 cm giriş için darbe sayısını (n_{10}) sayma biçiminde sürdürüldü.

Hafif dinamik sondada kullanılan şahmerdanın ağırlığı 10 kg olup, düşme yüksekliği 50 cm'dir. Çalışma düzeninin şahmerdansız ağırlığı 6 kg'dır. Hafif dinamik sondada tij uzunluğu 1 m olup boru 22 mm çaplı, 4.5 mm et kalınlıklıdır. Kullanılan ucun alanı 10 cm^2 'dir.

Çakma süresi iyi geçirgen kum ve siltlerde az rol oynamakla birlikte, az geçirgen zeminlerde sonuçları önemli ölçüde etkilemektedir. Çamur ve kile nazaran kumun batma direnci değeri daha büyüktür.

SPT ölçümleriyle kohezyonsuz zeminlerin yerleşim sıklığı, kohezyonlu zeminlerin kıvamlılığı, sıkışabilirliği ve kesme kuvveti hakkında bilgi elde edilebilir ve tabaka sınırları, yeraltı su seviyesi, engeller ve boşluklar da tesbit edilebilir. Ancak aynı batma dirençleri zeminin aynı yerleşim sıklığında olduğunu göstermez.

Zemin güvenlik gerilmesi belirlenmesinde n_{30} indisi kullanılır. Bu indis, çakma deneyi sırasında tijin 30 cm saplanması için gerekli vuruş sayısını gösterir. Ölçümlerin daha sağlıklı olması için n_{10} indisi kullanıldığından, birbirine geçiş $n_{30} = 0.49 n_{10}$ kullanılır. Bu değer kullanılarak o derinlikteki zemin güvenlik gerilmesi ve q_u serbest basınç değeri bulunur.

Çalışma alanında, Şekil 9.1'de gösterilen iki doğrultu boyunca 10 noktada SPT ölçümleri alındı. Doğrultular arası 20 m olarak belirlendi. Zemin güvenlik gerilmeleri DIN 1054 standardına göre saptandı.

A₁ Noktası:

A₁ noktasında 3.2 m derinliğe kadar SPT ölçümü yapıldı. Şekil 9.4'de görüldüğü gibi yüzeyden 0.9 m'ye kadar olan derinlikte zemin çok yumuşak özelliklidir. 0.9 m ile 1.3 m arasında ise zemin yumuşak özelliğe sahiptir. 1.3 m ile 1.6 m arasında zemin orta katıdır. Bu derinlikler arası zemin güvenlik gerilim değeri 0.8, serbest basınç değeri (SBD) 0.5-1.0 kg/cm² arasındadır. 1.6 m'den sonra 2.9 m'ye kadar zemin katı özelliklidir. Bu kat

için zemin güvenlik gerilim değeri 1.0'dır. Yüzeyden 2.0 m'ye kadar çevre direnci etkisi görülmektedir. Bu etki nedeni ile darbe sayısında artış gözlenmektedir. 2.0 m derinlikte tij değişimi etkisi ile darbe sayısında ani bir artış gözlenmektedir. 2.5 m ile 2.9 m arasında macunlama etkisi gözlenmektedir. Bu da ince daneli zeminlerin arasında kalın daneli zeminin varolduğunu gösterir. 2.9 m derinlikten sonra zemin çok katı özellik kazanır. Bu derinlikten sonra zemin güvenlik gerilim değeri 2.0, SBD değeri 3.0 kg/cm^2 dolayındadır.

A₂ Noktası:

A₂ noktasında SPT ölçümleri ile inilen derinlik 2.9 m'dir. Bu ölçü noktasında elde edilen SPT ölçüm eğrisi A₁ ölçü noktasında elde edilen SPT ölçüm eğrisi ile benzerlik göstermektedir. Yüzeyden itibaren 0.8 m'ye kadar zemin çok yumuşak özelliklidir. 0.8 m ile 1.1 m arasında zemin yumuşak özelliğe sahip olur. Şekil 9.5'de görüldüğü gibi yüzeyden itibaren 2.0 m'ye kadar darbe sayısının doğrusal olarak arttığını görürüz, bu artış yerleşim sıklığının veya çevre direncinin artmasından kaynaklanmaktadır. 1.1 m ile 1.4 m arası zemin orta katıdır. 1.4 m'den sonra 2.6 m'ye kadar zemin katı özelliğini korumaktadır. 2.0 m'deki darbe sayısındaki ani artış tij değişiminden kaynaklanmaktadır. 2.6 m'den sonra zemin çok katıdır ve zemin güvenlik gerilimi 2.0'dır. SBD değerinde yaklaşık 3.0 kg/cm^2 alabiliriz.

A₃ Noktası:

A₃ noktasında alınan SPT ölçümlerinde inilen derinlik 3.7 m'dir. Bu noktada alınan ölçüm eğrisi diğer iki noktada alınan ölçüm eğrilerine benzerdir. Şekil 9.6'da görüldüğü gibi yüzeyden itibaren 0.7 m'ye kadar zemin çok yumuşaktır. 0.4 m'de darbe sayısındaki artış küçük bir taştan kaynaklanabilir. 0.7 m ile 1.8 m arasında zemin yumuşaktır. 1.8 m ile 2.6 m arasında zemin orta katı özelliğe sahip olur. Yüzeyden 2.8 m'ye kadar darbe sayısındaki doğrusal artış, daha önceki eğrilerde belirtildiği gibi çevre sürtünmesi ve yerleşim sıklığı etkisinden kaynaklanmaktadır. 2.6 m ile 2.8 m arası zemin katı özelliğe sahip olur. Bu derinlik için zemin güvenlik gerilim değeri 1.0'dır. 2.8 m'den sonra zemin çok katı özelliğe sahip olur. Çok katı zemin için zemin güvenlik gerilmesini de 2.0 alabiliriz.

A₄ Noktası:

A₄ noktasında alınan SPT ölçümlerinde inilen derinlik 4.1 m'dir. Bu

ölçü durağında SPT ölçümleri sonucunda elde edilen SPT eğrisi diğer duraklarda elde edilen SPT eğrileri ile şekil olarak benzerlik göstermez. Zemin burada orta katı özellikli kat ile başlamaktadır. Bu da bu ölçüm noktasının olduğu yerde killi kısmın yüzeyde olduğunu göstermektedir. Yüzeyden 1.4 m'ye kadar zemin orta katıdır. 0.3 m ile 0.6 m arasında darbe sayısında ani bir artış gözlenmektedir. Bu artışa A₃ ölçü durağında olduğu gibi küçük bir taş veya çamur etkisi neden olabilir. Şekil 9.7'de görüldüğü gibi 1.4 m ile 1.7 m arasında zemin yumuşaktır. 1.7 m ile 2.2 m arasında zemin tekrar orta katı özelliğe sahip olur. 2.2 m ile 2.6 m arasında zemin orta katı ile yumuşak sınırındadır. 2.6 m'den sonra SPT eğrisinin darbe sayısında artış gözlenir. 3.2 m ile 3.7 m arasında zemin katıdır. Bu katın zemin güvenlik gerilim değeri 1.0 dolayındadır. 3.7 m'den sonra zemin çok katı özelliğe sahip olur. Bu derinlikten sonra zemin güvenlik gerilim değeri 2.0 alınabilir. SBD değeri ise yaklaşık 3.0 kg/cm²'dir.

A₅ Noktası:

A₅ noktasında alınan SPT ölçümlerinde inilen derinlik 4.1 m'dir. A₅ ölçü noktasında da A₄ ölçü noktasında olduğu gibi zemin orta katı ile başlamaktadır. Her iki ölçü durağında alınan ölçümlerden elde edilen eğriler arasında benzerlik görülmektedir. 0.5 m derinlikte darbe sayısındaki artış her iki egride de görülmektedir. Bu artış o derinlikteki birimin çamur niteliğinde olmasından kaynaklanabilir. Orta katı zemin yüzeyden itibaren 2.8 m derinliğe kadar devam etmektedir. Şekil 9.8'de görüldüğü gibi 1.4 m ile 1.8 m arasında macunlama etkisi mevcuttur. 2.8 m'den sonra zemin katı nitelik kazanmaktadır. 2.7 m'den itibaren derine inildikçe darbe sayısındaki doğrusal artış çevre sürtünme etkisinden ve yerleşim sıklığının artmasından kaynaklanmaktadır. 3.2 m derinlikten sonra zemin çok katı özelliğe sahip olur. Bu derinlikten sonra zemin güvenlik gerilim değeri 2.0, SBD de 3.0 kg/cm² alınabilir.

B₁ Noktası:

B doğrultusu A doğrultusunun 20 m doğusunda ve A doğrultusuna paralel bir doğrultudur. B doğrultusunun güneydeki ilk ölçü noktası B₁'dir. Bu ölçü noktasında alınan SPT ölçümlerinde inilen derinlik 4.1 m'dir. Yüzeyden 0.3 m'ye kadar zemin yumuşaktır. 0.3 m ile 0.6 m arası ile 1.2 m ile 1.7 m arası zemin orta katıdır. 0.6 m ile 1.2 m arası ile 1.7 m ile 2.4 m arası zemin katı özelliğe sahiptir. 1.0 m derinlikte darbe sayısının artışı tij

değişiminin ve bu değişim işlemi sırasında geçen sürenin ölçümlere yansıyan etkisidir. 1.9 m ile 2.4 m arasında ince daneli zemin arasında iri daneli zeminlerin varlığı nedeni ile macunlama etkisi görülür. 2.4 m ile 2.7 m arasında zemin tekrar orta katı nitelik kazanır. Bu derinlikten itibaren darbe sayısında artış gözlenir. Bunun neticesinde yerleşim sıklığının arttığını ve çok katı zemine girildiği anlaşılır. Bu derinlik değerinden sonra zemin güvenlik gerilim değeri 2.0 alınabilir (Şekil 9.9).

B₂ Noktası:

Bu noktada alınan SPT ölçümlerinden elde edilen eğri ile B₁ noktasında elde edilen eğri arasında iyi bir uyum gözlenmiştir. B₂ noktasında alınan ölçümlerde inilen derinlik 4.1 m'dir. Yüzeyden 0.3 m derinliğe kadar zemin yumuşaktır. 0.3 m ile 0.7 m arası zemin orta katı özelliğindedir. 0.7 m ile 1.1 m arası zemin katıdır. Şekil 9.10'da görüldüğü gibi 1.0 m derinlikte darbe sayısındaki artış tij değiştirme işleminden kaynaklanmıştır. 1.1 m derinlikten sonra zemin tekrar orta katı özelliğe sahip olur ve bu özellik 1.7 m'ye kadar devam etmektedir. 1.0 m dolayındaki darbe sayısındaki artış ölçümlere giren etkilerden kaynaklandığından 0.7 m ile 1.1 m arasının orta katı zemin olabileceğini varsayabiliriz. 1.7 m ile 3.5 m arası zemin katı özelliğe sahip olur ve zemin güvenlik gerilim değeri 1.0'dır. 3.5 m derinlikten sonra zemin çok katı özelliğe sahip olur ve zemin güvenlik gerilim değeri 1.0 alınabilir.

B₃ Noktası:

B₃ noktasında inilen derinlik 4.8 m'dir. Zemin ince bir yumuşak nitelikli kattan sonra orta katı özellikli kata girer, 1.0 m dolayındaki darbe sayısındaki artışı tij değişimine bağlayacak olursak, bu kat 1.7 m'ye kadar devam eder. 1.7 m ile 4.2 m arasında zemin katıdır ve zemin güvenlik gerilim değeri 1.0'dır. Şekil 9.11'de görüldüğü gibi zemin 4.2 m'den sonra çok katı özelliğe sahip olur. 3.0 m'de darbe sayısındaki artış tij değişimi için ölçülere ara vermekten kaynaklanmaktadır. 3.7 m, 4.0 m, 4.2 m ve 4.4 m derinliklerde darbe sayılarında gözlenen artış titremlerden kaynaklanmaktadır. Bu titremlere ince daneli zemin arasında iri daneli katıların varlığından kaynaklanmaktadır. 4.2 m derinlikten sonra alınabilecek zemin güvenlik gerilim değeri 2.0'dır.

B₄ Noktası:

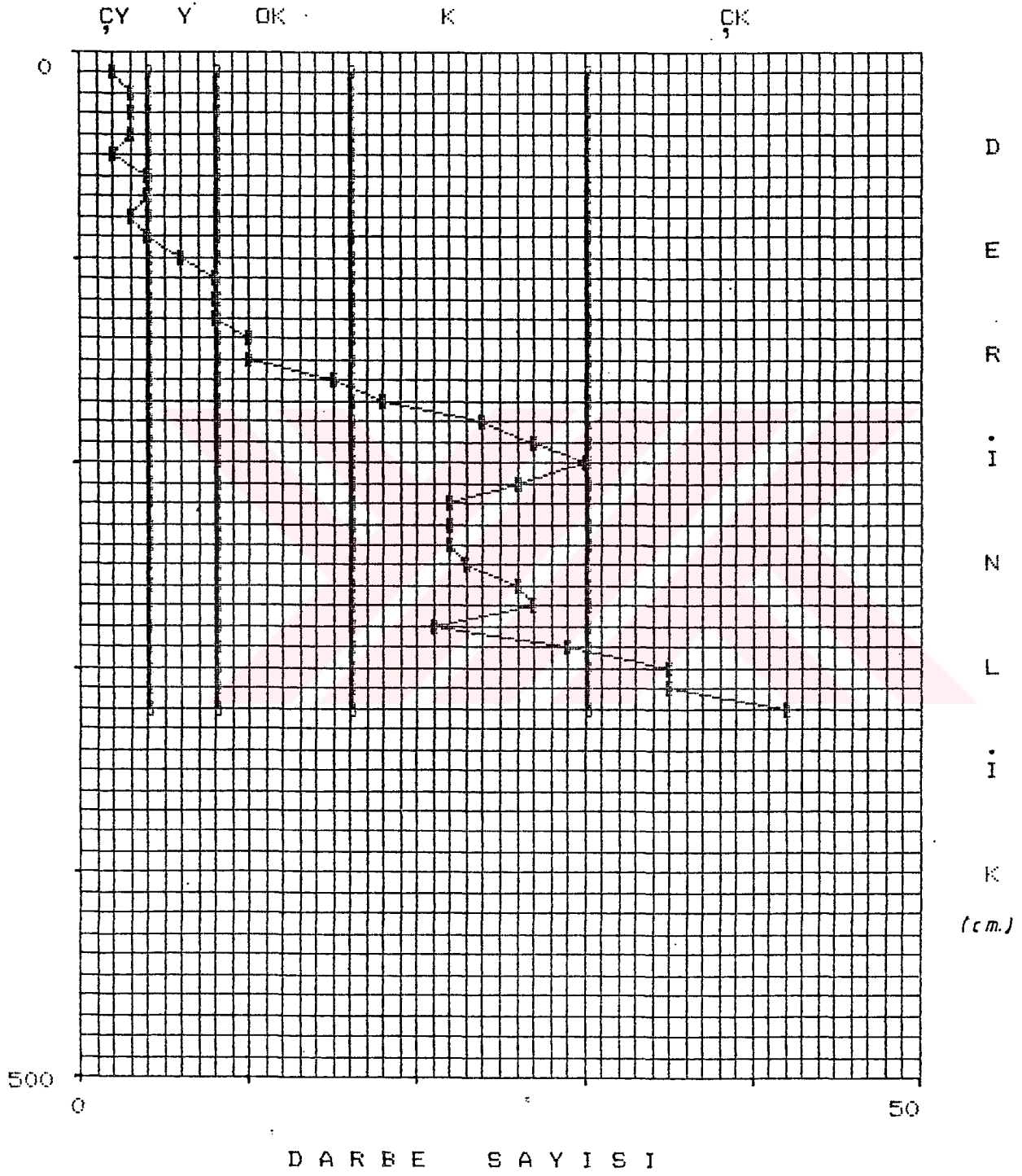
B₄ noktasında inilen derinlik 2.9 m'dir. Bu derinlikte taşa rastlanıldığından ölçümlere 2.9 m'den sonra devam edilmediğinden sağlıklı

değildir. Yüzeyden 0.4 m derinliğe kadar zemin çok yumuşaktır. Bu derinlikten sonra yumuşak zemin çok ince bir katla geçilip 0.5 m'den sonra orta katı özellikli zemine girilir. Şekil 9.12'de görüldüğü gibi 0.5 m ile 2.9 m arasında zemin orta katıdır. 1.2 m ile 1.5 m arasında ve 2.3 m ile 2.8 m arasında macunlama etkisi görülmektedir.

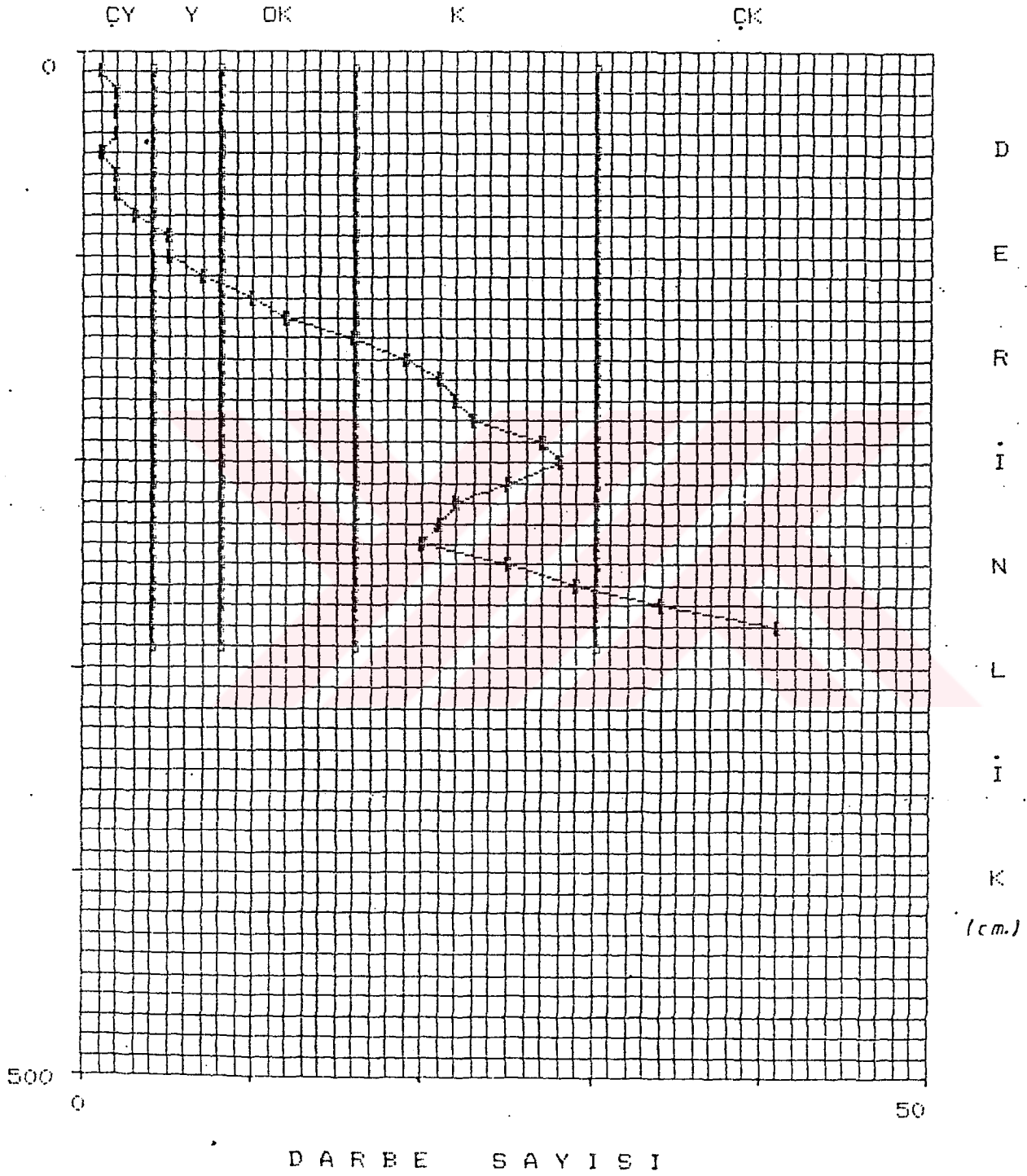
B₅ Noktası:

B₅ ölçü durağında inilen derinlik 3.4 m'dir. Bu ölçü durağında da A₄ ve A₅ duraklarında olduğu gibi zemin orta katı özellikle başlamaktadır. Bunun nedeni ölçü noktaların yer aldığı bölgelerde bulunan dolgu malzemeleri olabilir. Zemin yüzeyden 0.4 m'ye kadar orta katıdır. 0.4 m'den sonra 0.8 m'ye kadar zeminin yumuşak özellik kazanması yukarıda belirttiğimiz sonuçtan kaynaklanabilir. Bu da bize yüzeyde 0.4 m kalınlıkta bir dolgu malzemesinin var olduğunu gösterir. 0.8 m ile 2.0 m arasında zemin tekrar orta katı özellik kazanır. 2.0 m'den sonra zemin katı özelliğe sahip olur ve bu özellik 2.9 m'ye kadar devam eder. Bu derinlikler arasında zemin güvenlik gerilimi 1.0, SBD 2.0 kg/cm² alınabilir. 2.9 m'den sonra zemin çok katı olur. Bu derinlik için zemin güvenlik gerilim değeri 2.0, SBD yaklaşık 3.0 kg/cm² alınabilir (Şekil 9.13).

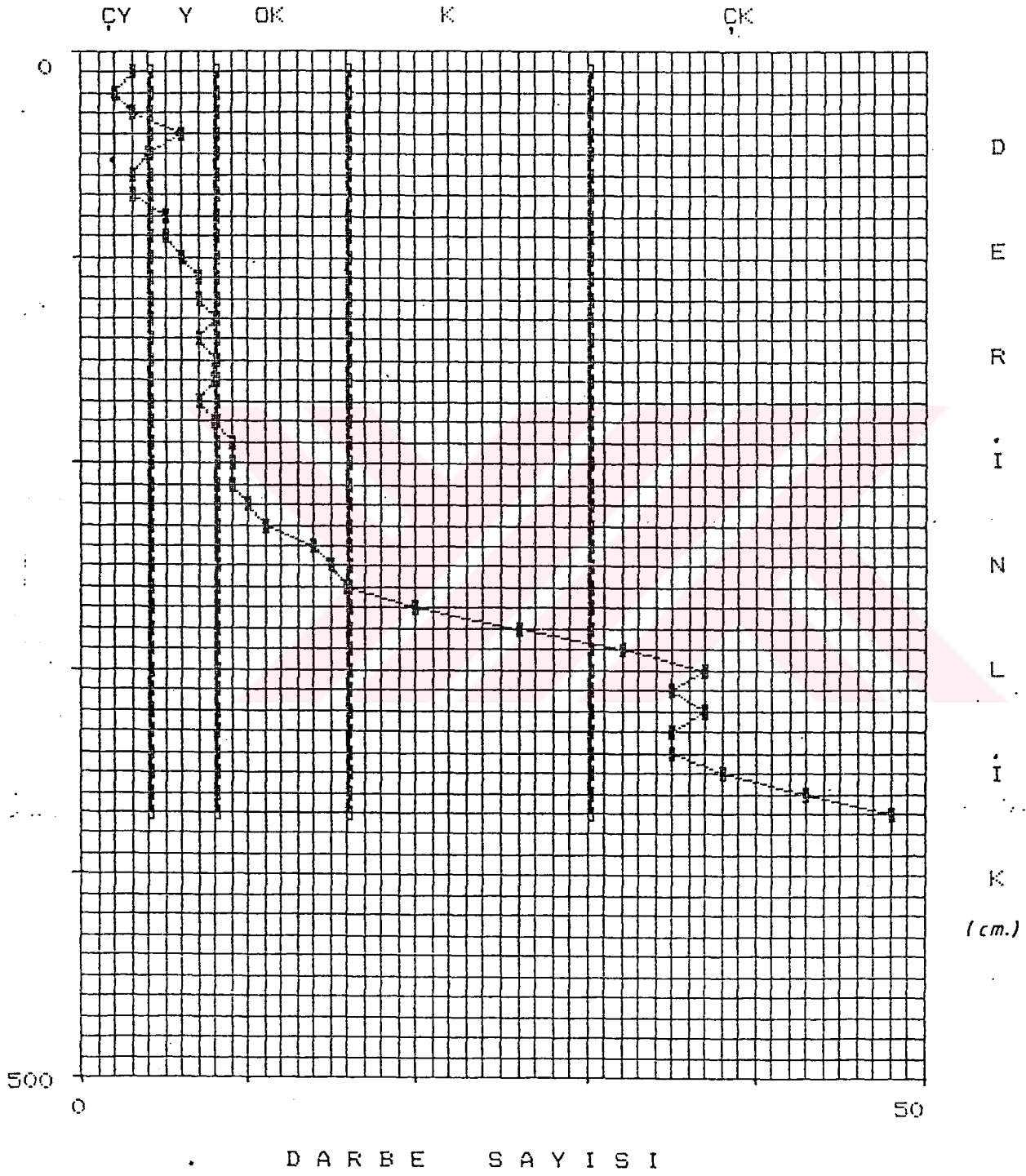
STANDARD PENETRATION TEST

Şekil 9.4. A₁ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

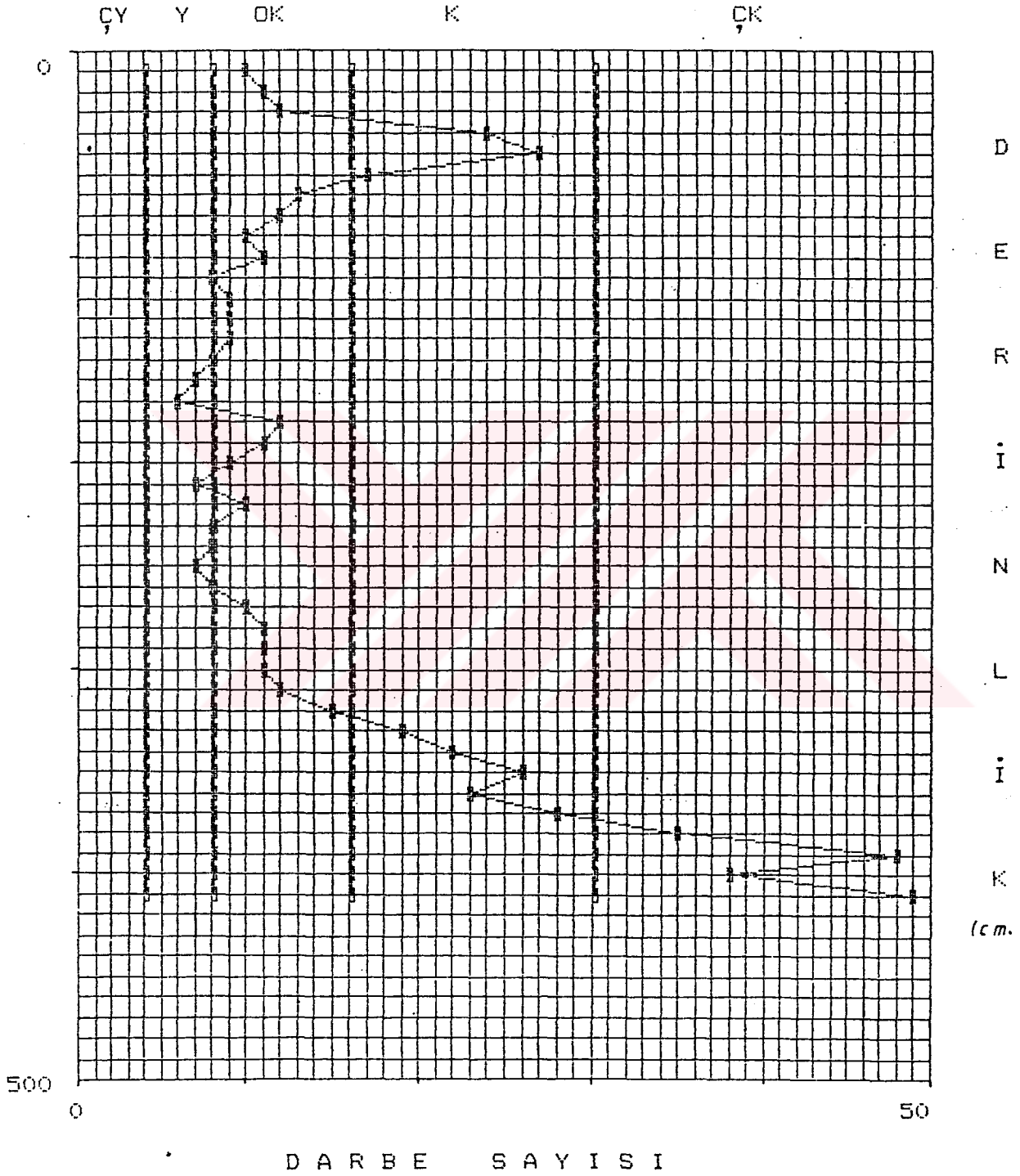
STANDARD PENETRATION TEST

Şekil 9.5. A₂ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST

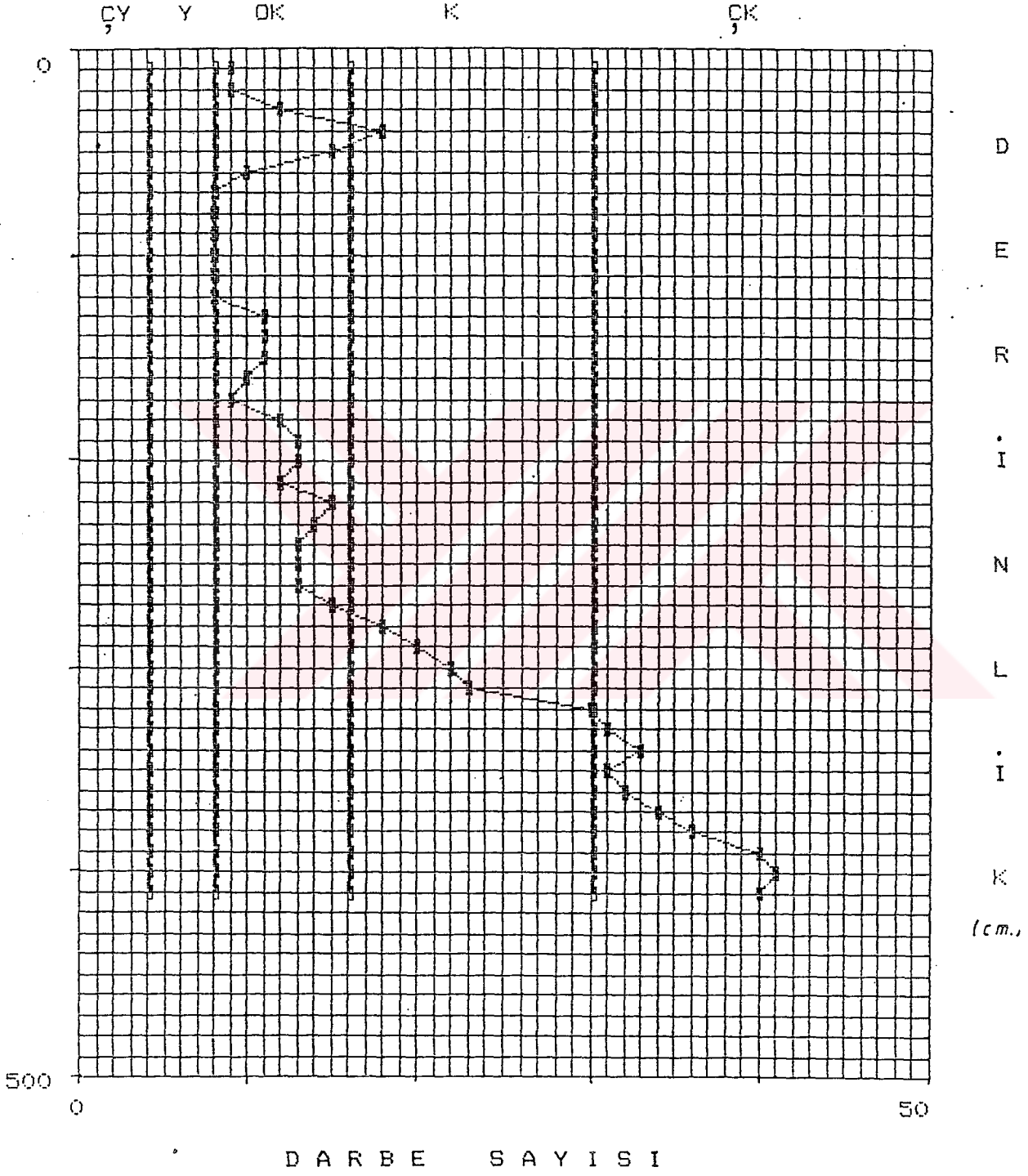
Şekil 9.6. A₃ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST



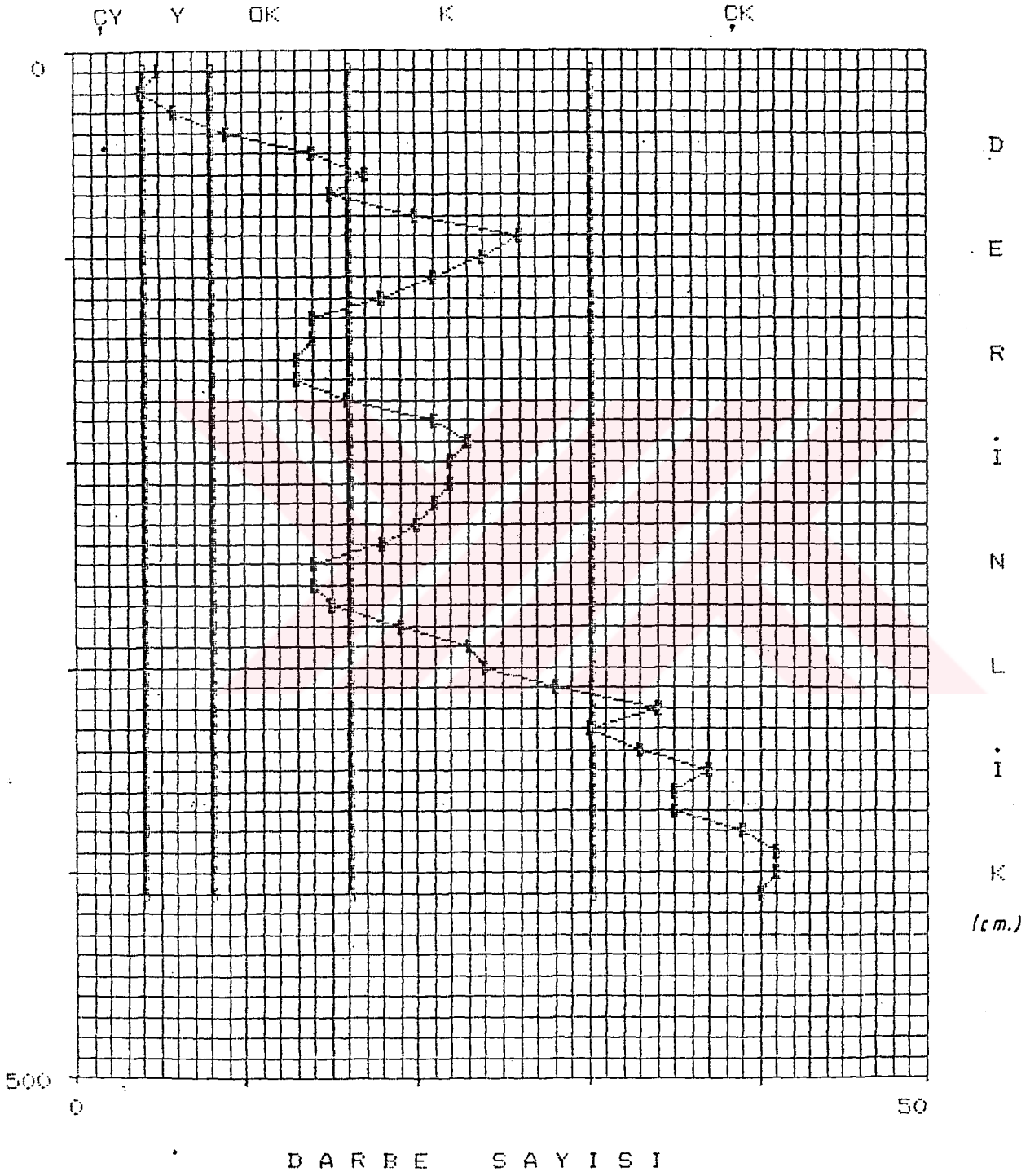
Şekil 9.7. A₄ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST



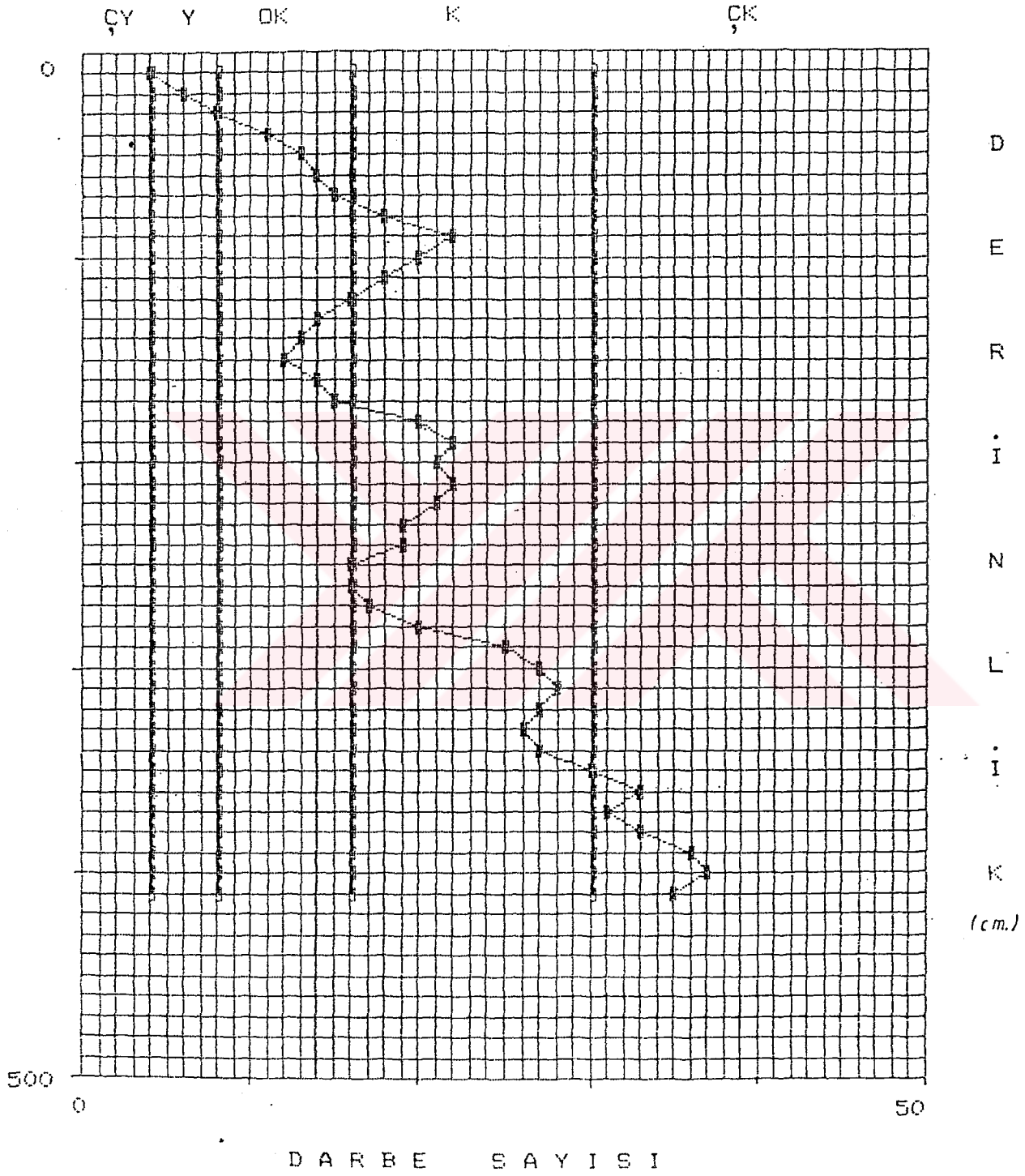
Şekil 9.8. A₅ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST

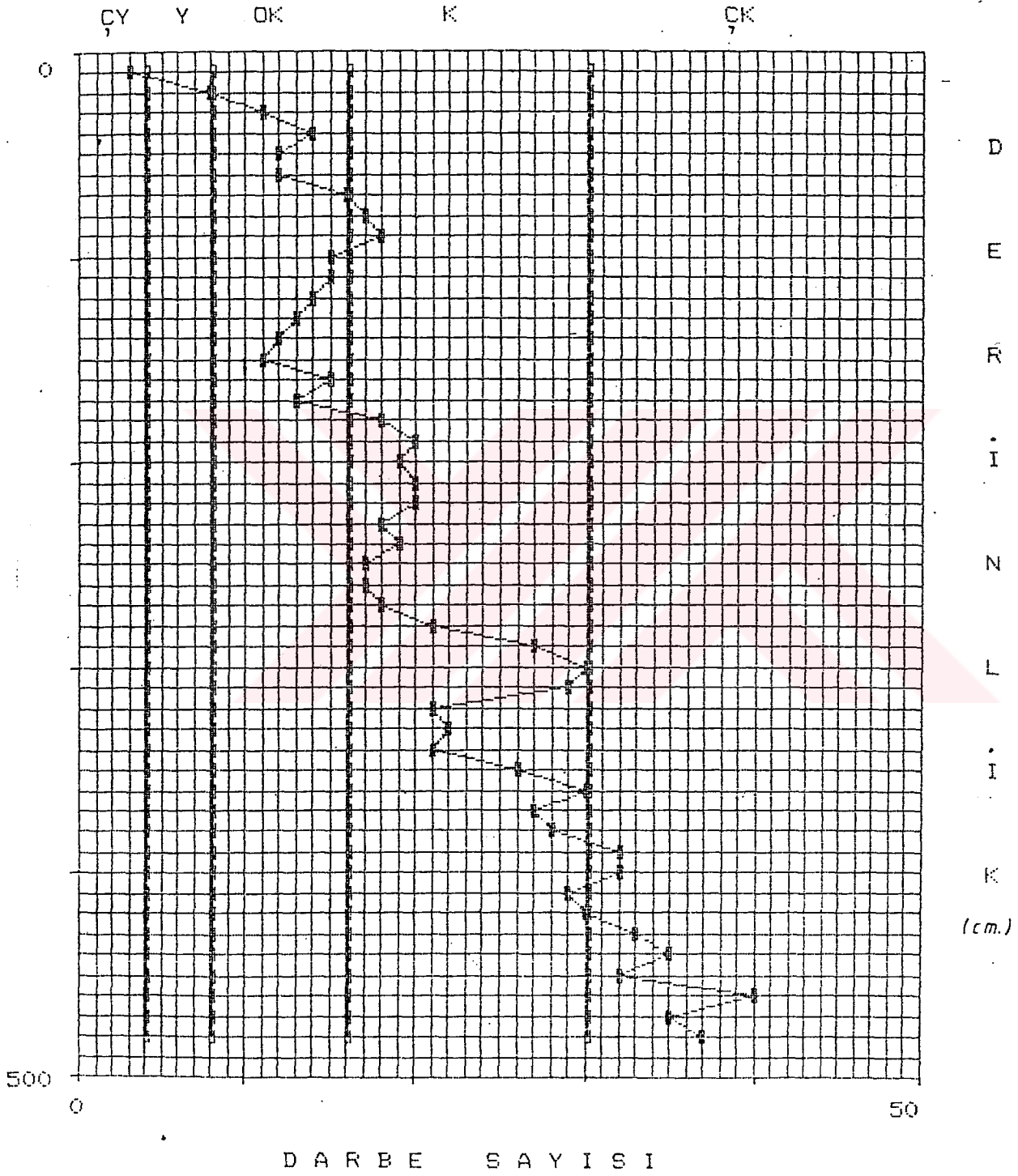


Şekil 9.9. B₁ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

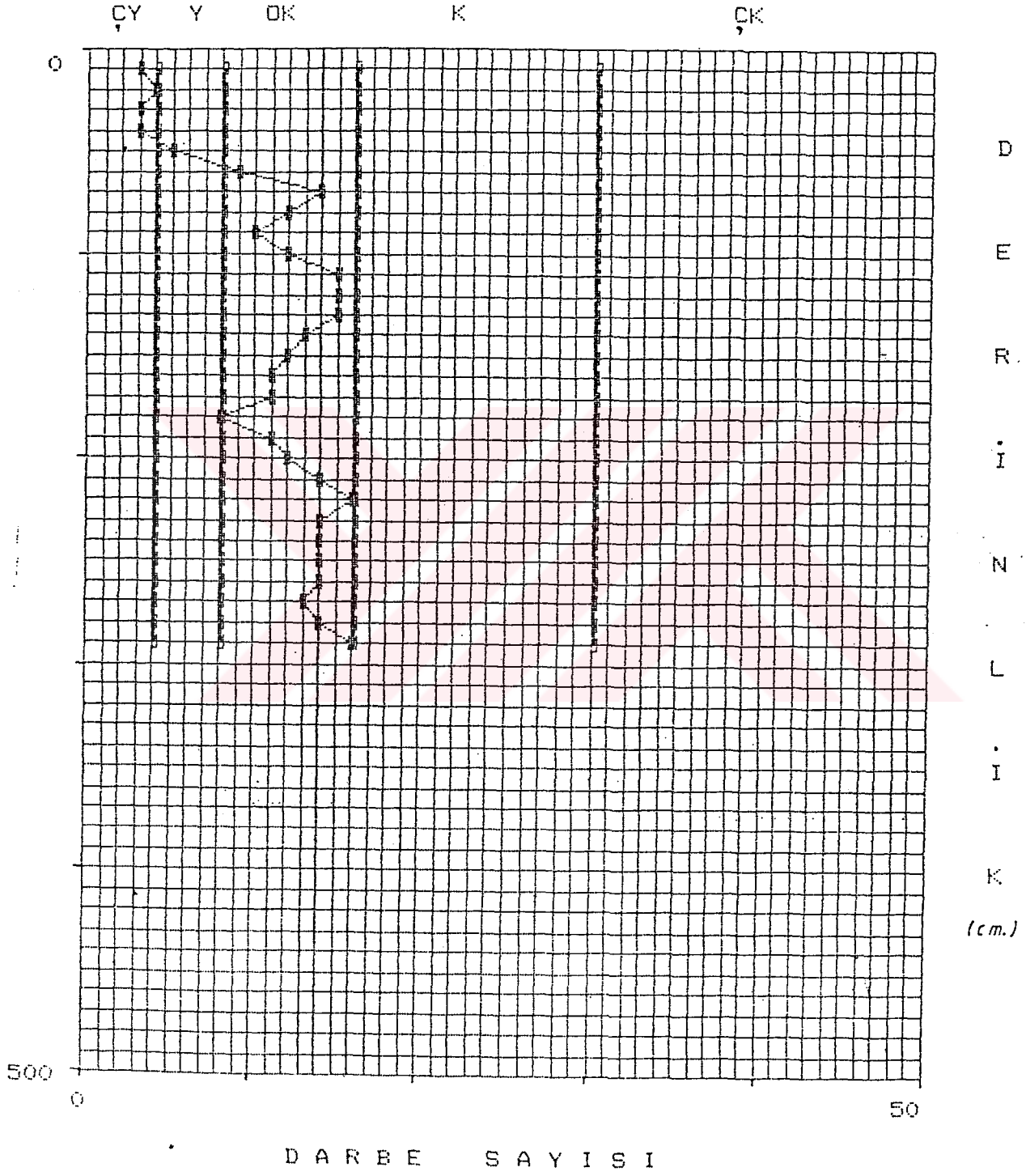
STANDARD PENETRATION TEST

Şekil 9.10. B₂ noktasına ait darbe sayısı gomülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST

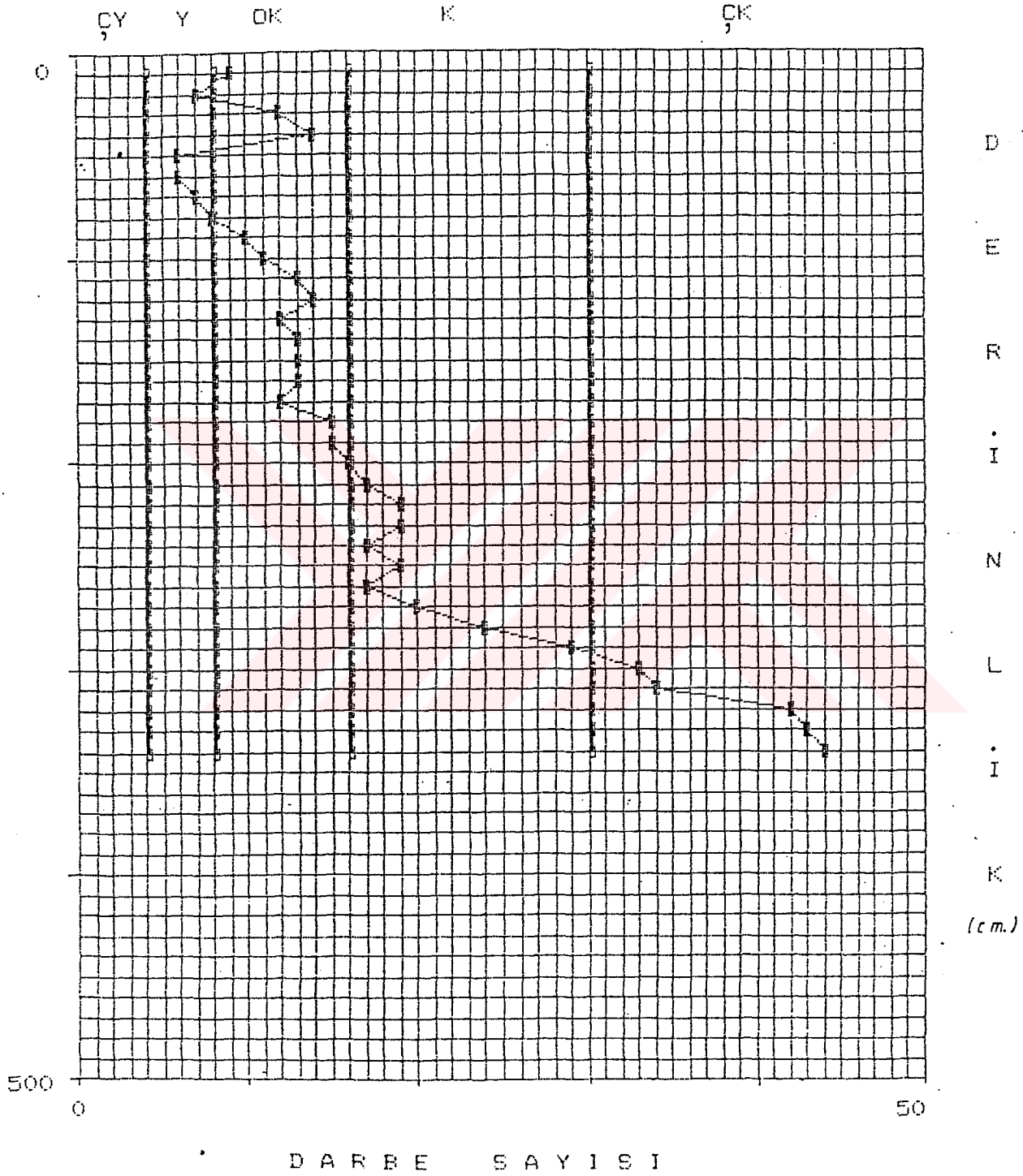
Şekil 9.11. B₃ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST



Şekil 9.12. B₄ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

STANDARD PENETRATION TEST

Şekil 9.13. B₅ noktasına ait darbe sayısı gömülme derinliği grafiği.

9.3.2. JEOMEKANİK KESİTLER

A Kesiti:

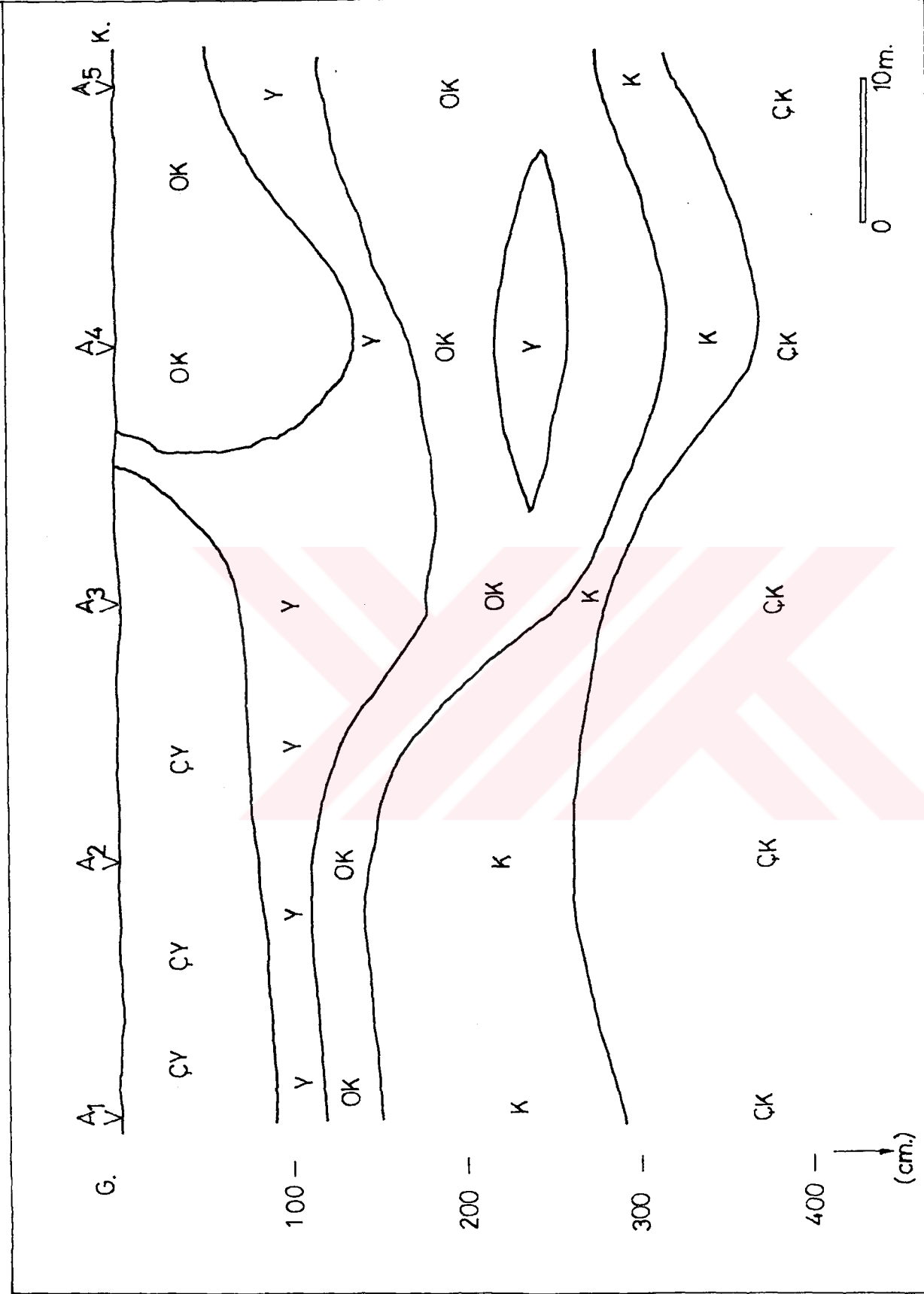
A kesiti kuzey-güney doğrultusunda alınan SPT ölçümlerinden elde edilen sonuçlara göre hazırlanan bir kesittir. Şekil 9.14'de görüldüğü gibi A_1 , A_2 ve A_3 ölçü duraklarında zemin çok yumuşak ile başlamaktadır. Bu yumuşak özellikli kat ortalama 0.8 m ile max. 1.7 m derinlik arasındadır (A_3 ölçü durağında). A_4 ve A_5 ölçü duraklarında ise zemin orta katı özellikli başlar. Bu kat A_4 ölçü durağında 1.4 m'ye kadar devam eder ancak, A_5 ölçü durağında ise bu katın kalınlığı 0.7 m kadardır. A kesitinde çok yumuşak ve orta katı katlar altında yumuşak özellikli kat mevcuttur. Bu katın en kalın olduğu bölge A_3 ölçü noktasının olduğu bölgedir. Yumuşak özellikli zeminden sonra orta katı özellikli zemin izlenmektedir. Bu orta katı özellikli zemin kuzeye gidildikçe kalınlaşmaktadır. Bu katın en ince olduğu yer A_1 ve A_2 ölçü noktalarının olduğu yerdir. A_4 ölçü noktasının altında orta katı zemin içinde yumuşak özellikli bir zemin görülmektedir. Bu zeminin ortalama kalınlığı 0.4 m'dir. Kesitte görüldüğü gibi katı özellikli zemine kesitin güneyinde yer alan ölçü noktalarında daha sığda girilmektedir. Ancak bu noktalar arasında katı özellikli zemin daha kalındır. A_3 , A_4 ve A_5 ölçü noktalarının altında katı özellikli zemine daha derinde, yaklaşık 3.0 m dolayında girilmektedir. Aynı zaman da bu ölçü noktaları altında katı özellikli zeminin kalınlığı incelmektedir. A kesitinde zemin çok katı özelliğe A_1 , A_2 ve A_3 ölçü noktaları altında daha sığda (yaklaşık 2.5 m derinlikte) girmektedir. A_4 ölçü noktasının altında zemin çok katı özelliğe 3.7 m dolayında girmektedir. Bu da bize temel için çok katı zeminin düşünülmesi halinde kazı işleminin A_1 , A_2 , A_3 noktaları altında 3.0 m, A_4 ve A_5 ölçü noktaları altında 3.5 m yapılması gerektiğini gösterir.

B Kesiti:

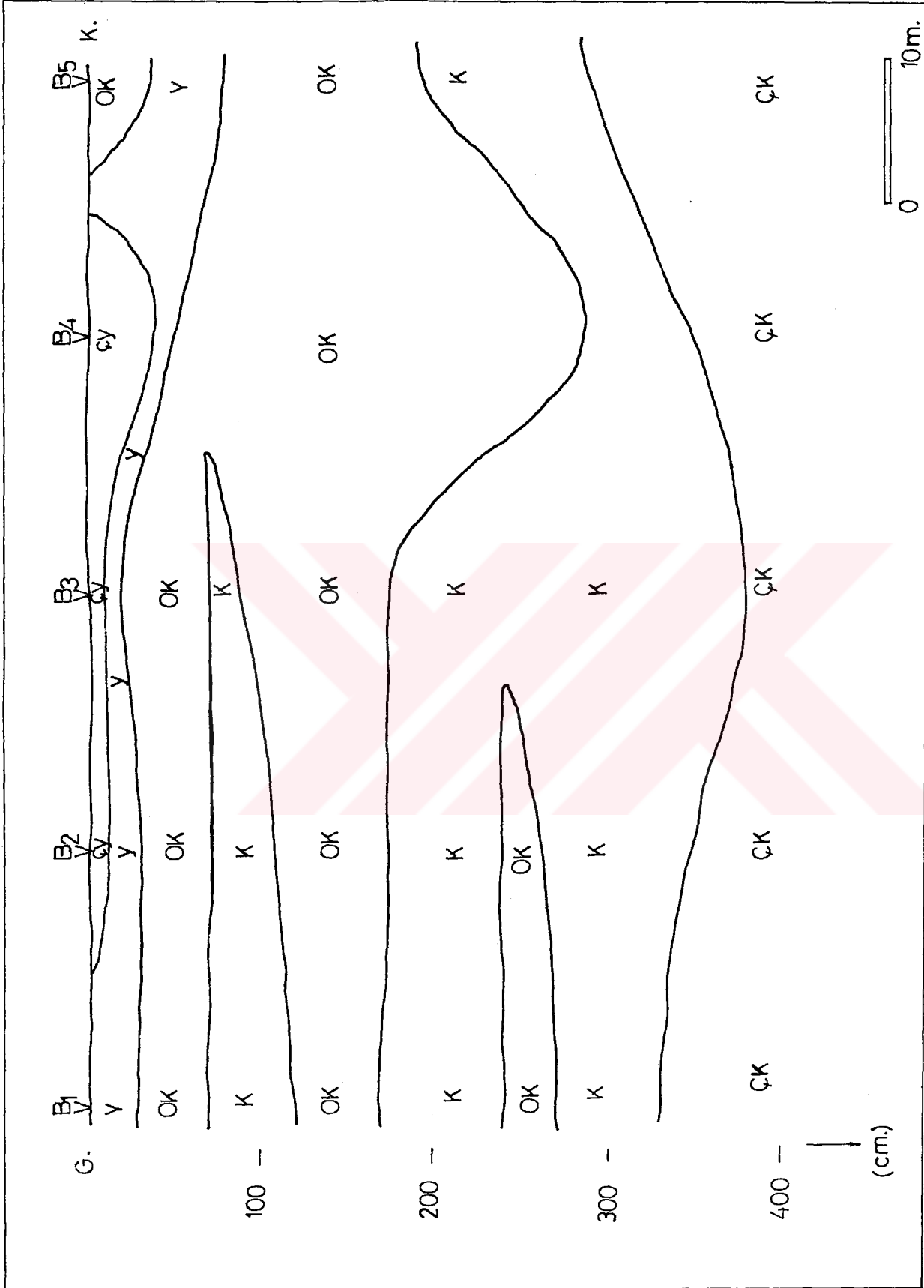
B kesiti 20 m aralıkla alınmış olan 5 adet SPT ölçümlerinin sonucuna göre hazırlandı. B kesiti de kuzey-güney doğrultusunda çıkartıldı. B doğrultusu A doğrultusunun 20 m doğusundadır. Şekil 9.15'de görüldüğü gibi B kesitin de B_2 , B_3 ve B_4 ölçü noktalarının olduğu yerde zemin çok yumuşak özellik ile başlamaktadır. B_1 ölçü noktasında zemin yumuşak özellik ile başlar. B_5 ölçü noktasında ise başlangıçta zemin orta katıdır. Bu belirttiğimiz katlardan sonra bütün ölçü noktalarında zemin orta katı özelliğe girer. Bu orta katı özellikli zeminin en kalın olduğu yer, B_4 ölçü

noktasının olduğu yerdir. B_1 , B_2 ve B_3 noktalarının altında orta katı zemin içinde katı özellikli yaklaşık 0.5 m kalınlıklı bir kat mevcuttur. Bu ölçü noktaları altında orta katı zemin yaklaşık 2.8 m derinliğe kadar devam etmektedir. B_4 ölçü noktası altında bu kat kalınlaşır ve 2.9 m derinliğe kadar devam eder. 2.9 m derinlikte B_4 ölçü noktasında taşa rastlandığından bu noktada ölçümlere devam edilemedi. Diğer 4 ölçü noktasında da orta katı zeminden sonra katı özellikli zemine girilmektedir. Bu katı zemin B_1 , B_2 ve B_3 noktaları altında ortalama 3.5 m derinliğe kadar devam etmektedir. B_1 ve B_2 ölçü noktaları altında katı zemin içinde 2.5 m derinlikte yaklaşık 0.2 m kalınlıklı bir orta katı özellikli kat içerir. Kesitte çok katı zemin B_1 , B_2 noktalarında 3.5 m derinlikte başlamaktadır. B_5 ölçü noktasında çok katı zemin 3.0 m'den sonra başlamaktadır. B_3 ölçü noktasında çok katı zemine 3.7 m'de girilmektedir.





Şekil 9.14. A Doğrultusunda alınan SPT kesiti.



Şekil 9.15. B Doğrultusunda alınan SPT kesiti.

9.3.3. KAT HARİTALARI

Çalışma alanında iki doğrultuda alınan 10 adet SPT ölçümlerinin sonuçlarına göre belli derinlikler için SPT kat haritaları çıkartıldı.

d= 50 cm Kat Haritası: Şekil 9.16'da görüldüğü gibi d= 50 cm derinlik için çalışma alanında A_1 , A_2 ve A_3 ölçü noktalarının olduğu yer çok yumuşak özelliğindedir. B_4 ve B_5 ölçü duraklarında, d= 50 cm derinlikte zemin yumuşaktır. Diğer ölçü noktalarında ise zemin orta katı özelliğindedir.

d= 100 cm Kat Haritası: Şekil 9.17'de görüldüğü gibi d= 100 cm derinlikte çalışma alanında A kesitinde A_4 ölçü noktası hariç diğer ölçü noktalarında zemin 100 cm derinlikte yumuşaktır. A_4 , B_3 , B_4 ve B_5 ölçü noktalarının olduğu yerde zemin orta katıdır. B_1 , B_2 ölçü duraklarında ise d= 100 cm için zemin katı özelliğe sahiptir.

d= 150 cm Kat Haritası: Şekil 9.18'de görüldüğü gibi 150 cm derinde A_3 ve A_4 ölçü noktalarının olduğu yerde zemin yumuşak özelliğe sahiptir. A_5 ve B kesitinde yeralan tüm ölçü duraklarının olduğu yerde zemin orta katı özelliğindedir. A_1 ve A_2 ölçü durağında d=150 cm derinlikte zemin katı özelliğe sahiptir.

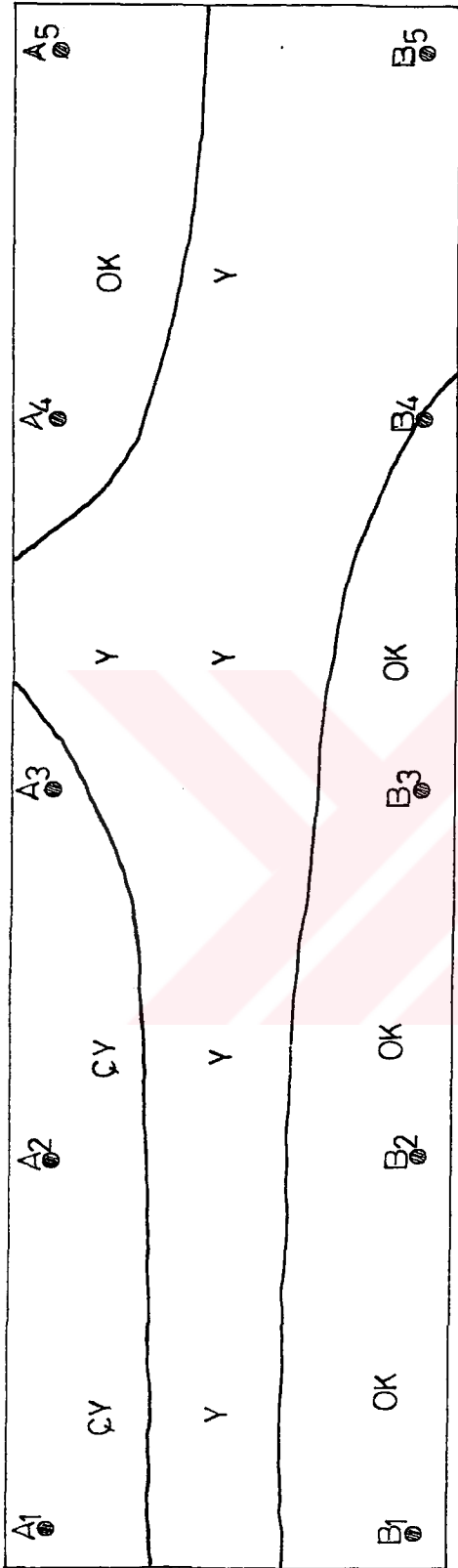
d= 200 cm Kat Haritası: Şekil 9.19'da görüldüğü gibi 200 cm derinlik için çalışma alanının kuzeyi orta katı özelliğindedir. Bu zemin türüne sahip olan ölçü noktaları A_3 , A_4 , A_5 , B_4 ve B_5 'dir. Bu ölçü noktalarının haricinde olan diğer ölçü noktalarının bulunduğu bölgede d= 200 cm derinlik için zemin katı özelliğe sahiptir.

d= 250 cm Kat Haritası: Şekil 9.20'de görüldüğü gibi 250 cm derinlikte A_4 ölçü noktasında zemin yumuşaktır. A_3 , A_4 , B_1 , B_2 ve B_4 ölçü duraklarının olduğu yerde zemin orta katıdır. Diğer ölçü noktalarının olduğu yerlerde d= 250 cm derinlikte zemin katı özelliğe sahiptir.

d= 300 cm Kat Haritası: Şekil 9.21'de görüldüğü gibi A_4 noktasında bu derinlik için zemin orta katıdır. A_1 , A_2 ve A_3 ölçü duraklarında ise çok katı özellikli zemin görülür. Diğer ölçü duraklarında izlenen zemin katı özelliğindedir.

d= 350 cm Kat Haritası: Şekil 9.22'de görüldüğü gibi B_2 , B_3 ve A_4 noktalarında zemin katıdır. Diğer ölçü duraklarında geçilen zemin çok katı özelliğindedir.

d= 400 cm Kat Haritası: Şekil 9.23'de görüldüğü gibi 400 cm derinlikte tüm ölçü noktalarında çok katı özellikli zemin mevcuttur.



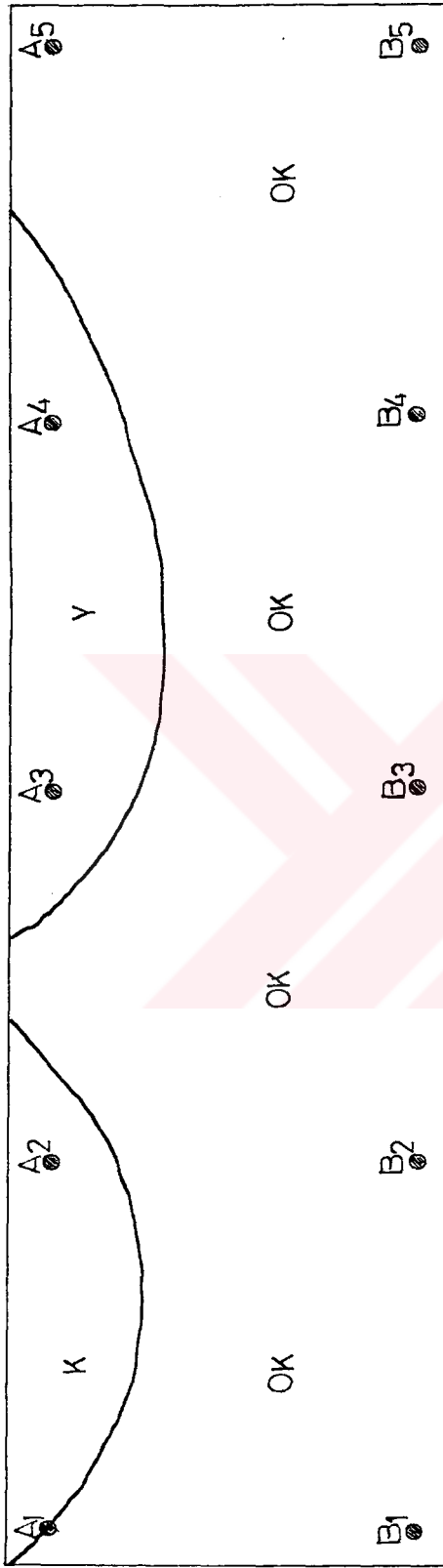
D=50 cm.



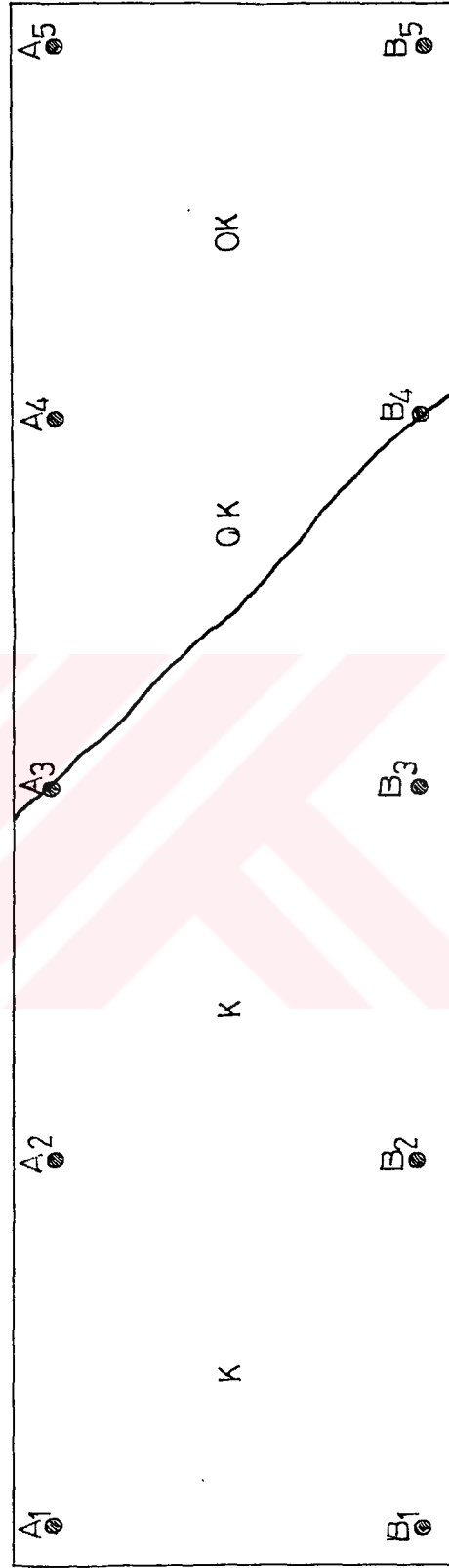
D=100 cm.

Şekil 9.16. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 50 cm için kat haritası.

Şekil 9.17. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 100 cm için kat haritası.



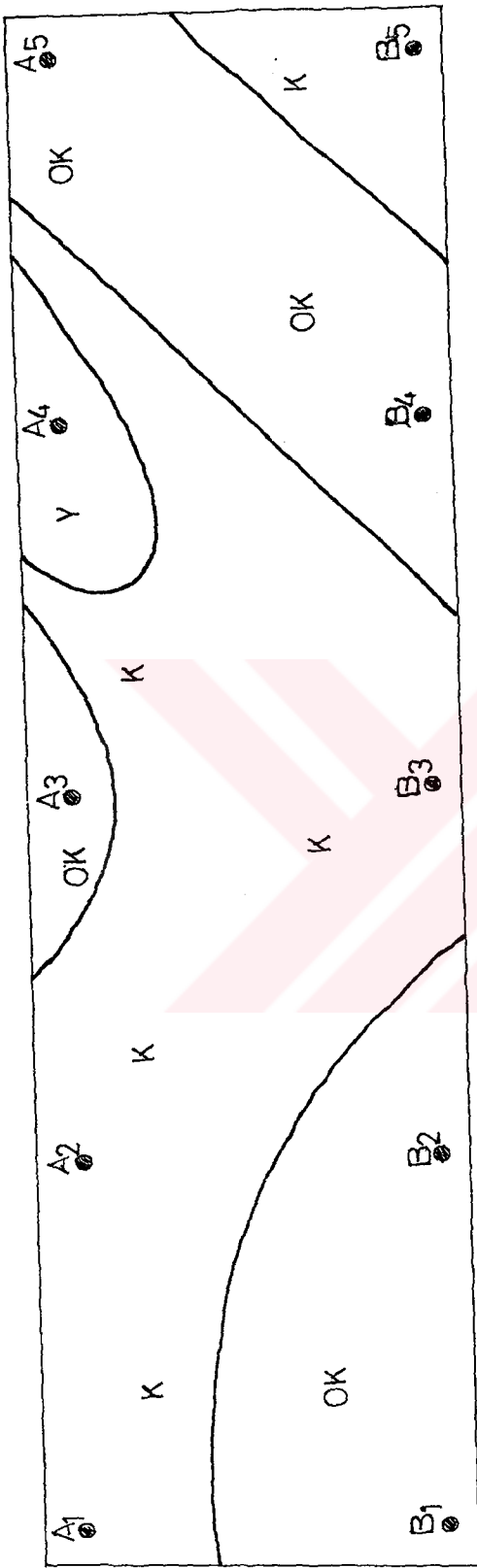
D=150 cm.



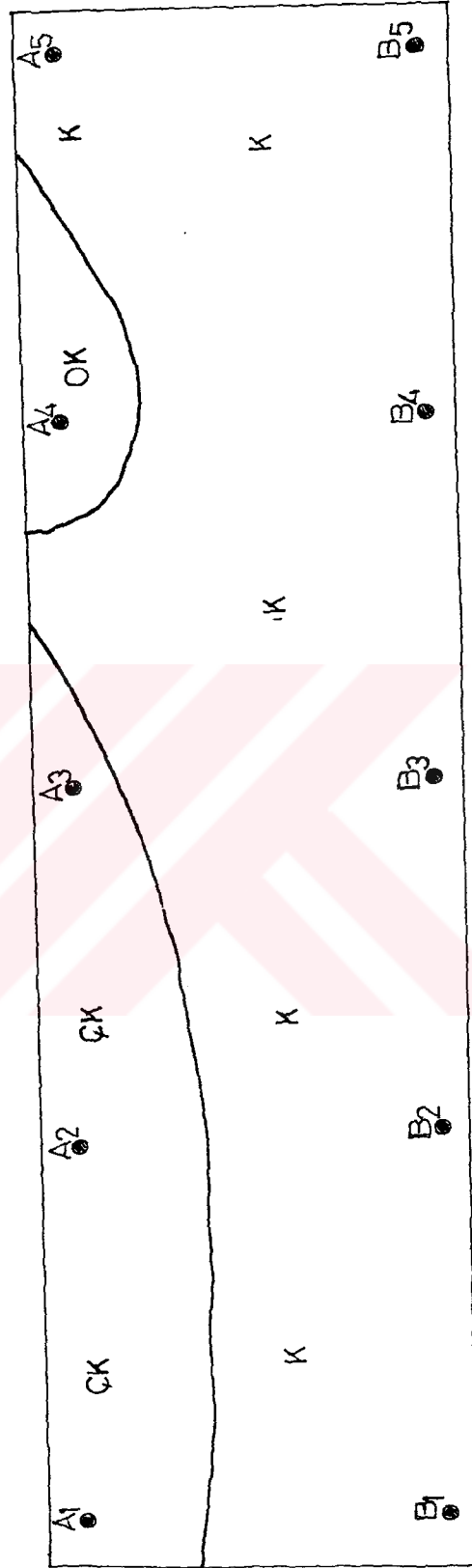
D=200 cm.

Şekil 9.18. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 150 cm için kat haritası.

Şekil 9.19. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 200 cm için kat haritası.



D=250 cm.

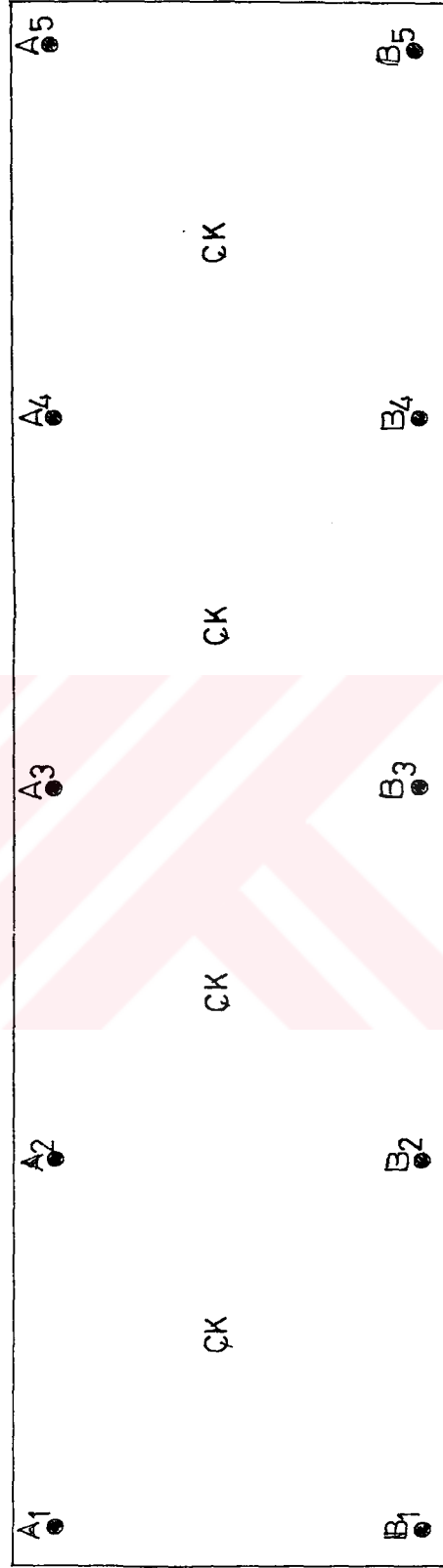


D=300 cm.

Şekil 9.20. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 250 cm için kat haritası.
 Şekil 9.21. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 300 cm için kat haritası.



D=350 cm.



D=400 cm.

Şekil 9.22. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 350 cm için kat haritası.

Şekil 9.23. SPT ölçü noktalarından çıkartılan 400 cm için kat haritası.

9.4. JEOTEKNİK ÇALIŞMALAR

Zemin mekaniği laboratuvarında yapılan deneyler şunlardır:

1- Zeminin endeks özelliklerini tayin için yapılan deneyler.

Doğal Su İçeriği: W_n

Atterberg Limitleri: LL, PL

Dane Birim Hacim Ağırlığı: δ_s

Doğal Birim Hacim Ağırlığı: δ_n

Serbest Basınç Direnci: q_u

2- Dane büyüklüğü tayini için yapılan deneyler.

Elek Analizi

Hidrometre Analizi

3- Çabuk kesme deneyi

Kohezyon: C_u

İçsel Sürtünme Açısı: ϕ

9.4.1. DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIĞI

$$\delta_n = W_t / V_t$$

W_t - Doğal kütle numunesinin toplam ağırlığı.

V_t - Toplam hacim.

Birim hacim ağırlığının değişimine porozite, çimentolanma derecesi, su muhtevası ve danelerin hacimsel değişimi etki eder. BHA fazla olan kütleler genellikle az poroziteli, az su emme ve özgül ağırlık değerine sahiptir. Kuru BHA ile (δ_k), doğal BHA arasındaki ilişki,

$$\delta_n = \delta_d (1 + \% \text{ su içeriği}) \text{ dir.}$$

Deney sonucunda

Optimum su içeriği: % 27.2

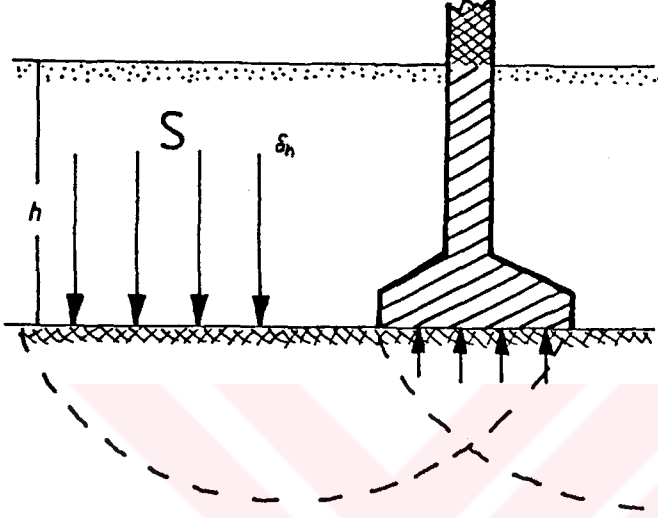
Max. Kuru B.H.A. : 1.35 t/m³

Doğal B.H.A. : 1.06 t/m³

9.4.2. ÖRTÜ BASKISI

Yapı temeli, h metre gömülerek zemin temeli içine oturtulduğunda, yandaki zemin ile temel oturma düzlemi arasında baskı gerilim ilişkileri

Şekil 9.24'de görüldüğü gibidir. Gömülme derinliğinde yer birimlerinin oturma düzlemine olan S baskısı o aralığı dolduran zeminin DBHA $S = \delta_n \cdot k$ çarpanına eşittir. Oturma zemini olarak düşünülen kilin DBHA $\delta_n = 1.06 \text{ t/m}^3$ olduğuna göre, temel derinliği 4 m olarak düşünülürse, S düşey baskısı $S = 4.24 \text{ t/m}^3$ olur.



Şekil 9.24. Gümü derinliğini dolduran yer birimlerinin zemine olan S baskısı ve yapı temel papucunun zeminle olan gerilme ilişkisi.

9.4.3. DOĞAL SU İÇERİĞİ

$$\% W_n = (\text{Su Ağırlığı} / \text{Katı Ağırlığı}) \times 100$$

Araziden alınan numune tartılır ve 24 saat 105°C de fırında kurutulur, tekrar tartılır.

$$\% W_n = (W_t - W_k / W_k) \times 100$$

İfadesi ile bulunur. Bulunan değer

$$W_n - \% 26$$

9.4.4. BİRİM TEMEL PAPUCUNA BİNEN YÜK

Eğer yapılacak yapının toplam ağırlığı bilinirse, zeminin doğal dengesine binen bu eklentinin esnek zeminde ne ölçüde biçim değişikliği yaratabileceği bulunabilirdi.

Eğer temeller çerçeveye dik olarak atılmış ise 4 m derindeki papuç

boyu 1.5 m x 1.5 m ise, papuç alanı SPT den bulunan zemin güvenlik gerilmesi ile çarpılarak bir papuca düşen en büyük yük bulunabilir. Çalışma alanında 4 köşeye papuç gelecek şekilde düşünelim her köşe için 4 m'de elde edilen zemin güvenlik gerilim değeri 2.0 olduğundan, 1.5 m x 1.5 m ebadında bir papuca binecek yük 4.5 ton olarak bulunur.

9.4.5. ZEMİNİN DANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI (GRANÜLOMETRİ DENEYİ)

Dane boyutlarının saptanması, kütlelerin sınıflandırılmasında, isimlendirilmesinde, üniformluk ve derecelenme katsayılarının saptanmasında önemli rol oynar.

Çözümleme zemin içindeki danelerin büyüklüklerine göre miktarlarının ayırt edilmesini tanımlar. Danelerin gerçek büyüklükleri "eşdeğer dane çapı" türünden verilir ve çeşitli dane bölümleri belirli çap sınırları arasında tanımlanır.

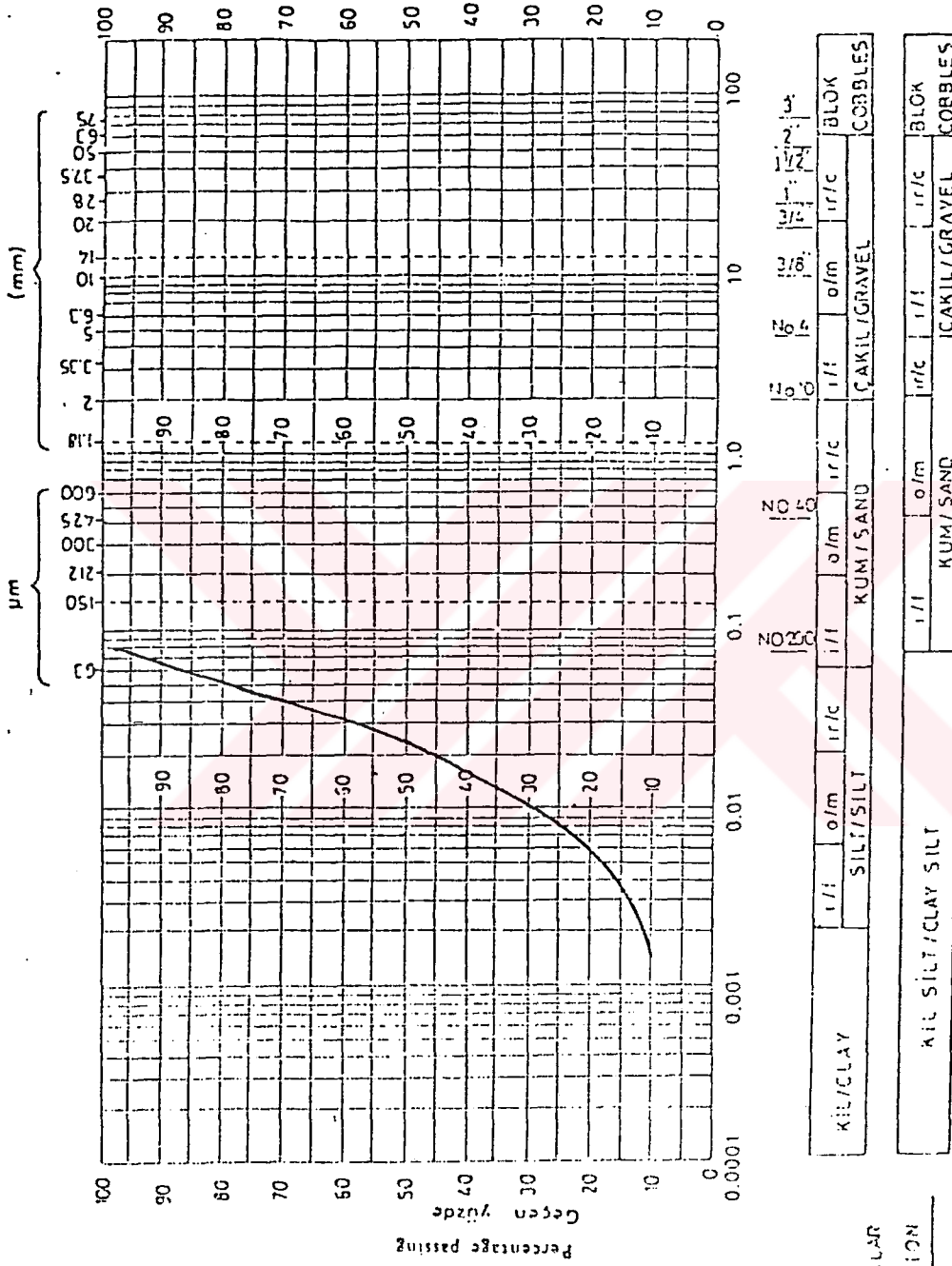
ZEMİN TÜRÜ	DANE ÇAPI (mm)			
	BS	AASHTO	ASTM	BİRLEŞTİRİLMİŞ
Çakıl	60-2	75-2	>2	75-4.75
Kum	2-0.06	2-0.05	2-0.075	4.75-0.075
Silt	0.06-0.002	0.05-0.002	0.075-0.005	< 0.075
Kil	< 0.002	< 0.002	<0.005	

Tablo 9.1. Dane çapları standartları.

9.4.6. KIVAM LİMİTLERİ

Likit Limitin Bulunması: Kıvam limitlerinin belirlenmesi konusunda açıklanan bu deneyde 25 darbeye karşılık olan su içeriği bulunduğunda bu değer zeminin likit limitidir. Bulunan likit limit değeri,

$$W_L = \% 86$$



Şekil 9.2.5. Dane büyüklüğü dağılımı eğrisi.

ACIKLAMALAR
EXPLANATION

KİL/CLAY		SİLT/SILT		KUM/SAND		ÇAKIL/GRAVEL		BLOK/COBBLES	
1/1	0/m	1/1	0/m	1/1	0/m	1/1	0/m	1/1	0/m
KİL SİLT/CLAY SİLT		KİL SİLT/CLAY SİLT		KUM/SAND		ÇAKIL/GRAVEL		BLOK/COBBLES	

BS

ASTM

Plastik Limitin Bulunması: 15 gr'lık numuneler cam levha üzerinde plastikliğe gelinceye kadar su ilavesi ile karıştırılır. Avuç içi ile cam arasında yuvarlanır ve 3 mm'den daha ufaldığı zaman bu işlem tekrarlanır. Ufalanma 3 mm çapta olduğu anda ipçiğin parçaları bir kaptan toplanır ve su içeriği tayin edilir. Deneyin tekrarları neticesinde ortalamaları alınır. Plastik limit değeri,

$$W_p = \% 31$$

Likit limit ve plastik limitler zemin içindeki kilin miktar ve cinsine bağlıdır. Bununla beraber plastisite indisi genellikle yalnızca kil miktarına bağlı kalır. Plastisite indisi,

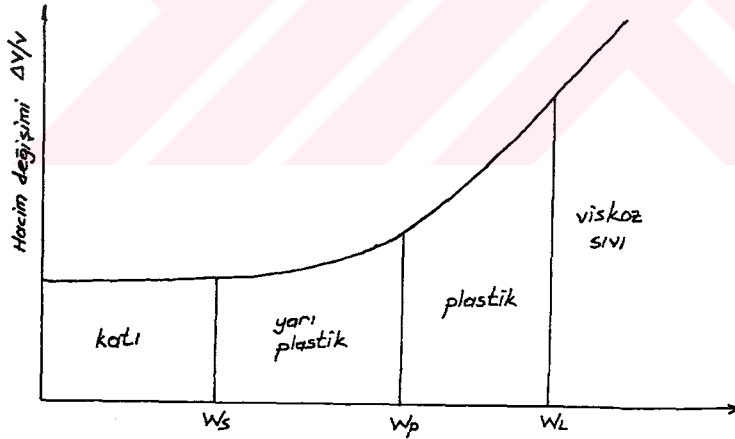
$$I_p = (W_L - W_p) = \% 55$$

Likitlik indisi,

$$I_L = (W - W_p / I_p) = - 0.09$$

Zeminin likit limit ve plastik limit değerine bakılarak Casagrande sınıflandırması yapılır.

Likit limit, plastik limit ve su içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren eğri Şekil 9.26'da görülmektedir.



Şekil 9.26. Likit limit-Plastik limit ve su içeriği arasındaki ilişki.

Plastisite indisi zeminin, plastik durumda bulunacağı, su içeriğinin alt ve üst sınırını gösterir.

9.4.7. CASAGRANDE SINIFLANDIRMASI

Bu sınıflandırma türünde zeminin plastiklik ve sıvılık özellikleri kullanılır. Çalışma alanında temel olarak düşünülen kilden alınan örselenmiş numuneye yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda $W_L = \% 86$ ve $I_p = \% 55$ bulunmuştur. Bu sonuçlara göre zemin türünün CH olduğunu söyleyebiliriz. Bu sonucun elde edilmesinde plastiklik kartından yararlanılmıştır. CH tipindeki bir zeminin yüksek plastisitede organik killerden oluştuğunu görürüz. Likit limiti 50'den büyük zeminler olup, ıslak iken ip haline kolayca yuvarlanabilir. Kuruyunca büzülür. Kompresibilitesi yüksektir, yağlı hissi verir. CH tipi zeminin kuru mukavemeti çok yüksektir. Dona maruz kaldığında yol malzemesi olarak değeri kötü ile çok kötüdür. Muhtemel donma olayı çok azdır. Şişme özellikleri yüksektir. Drenaj karakteristiği pratik olarak geçirimsizdir.

9.4.8. ABD. KARAYOLLARI SINIFLANDIRMASI

Kil numunelerinden 200 No eleğinden geçen örnek oranının $\% 93$ olması, plastisite indisinin $\% 55$ ve likit limitin $\% 86$ olması zemini A-7-6 sınıfına sokar. Bu tip zeminler killi zeminleri içerir ve altyapı malzemesi olarak orta ile zayıftır. Bu grup likit limitlerine nazaran yüksek plastisite indislerine sahip ve çok yüksek hacimsel değişimlere maruz kalan zeminleri kapsar (Ek. 2)

9.4.9. SİVİL HAVACILIK İDARESİ SINIFLANDIRMASI (C.A.A.)

Bu sınıflamaya göre E-9 sınıfına girer. Bu zemin çok yüksek plastisite özelliği gösterir.

9.4.10. CALIFORNIA TAŞIMA ORANI (C.B.R.)

Kil numunesinin çeşitli sınıflamalar sonucu elde edilen zemin türüne göre taşıma oranı 4 değerinde olup çok zayıf altyapı özelliği gösterir. Emin taşıma gücü 0.7 kg/cm^2 'dir. Yatak katsayısı ise 3.5 kg/cm^3 'dür.

9.4.11. KOMPaksiYON DENeyİ

Zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşlukların azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik işlemlere kompaksiyon işlemi denir. Su muhtevasına bağlı olarak kompaksiyon değişir. Su miktarı arttıkça danelerin birbirine göre hareketi kolaylaşmakta, buna karşılık birbirine yaklaşması zorlaşmaktadır. En iyi sıkışma zemin içinde yeterli miktarda su bulunması ile sağlanmaktadır. Bu su muhtevasına optimum su içeriği adı verilir. Kohezyonsuz zeminlerde sıkıştırmaya su muhtevası az etkimektedir. Bu su muhtevasına bağlı değişim ve dolguda kullanılacak zemin için Proctor deneyi kullanılır. Bu deneyde 2.5 kg ve 4.5 kg yükler kullanılır. Sonuçta kuru birim ağırlık-su içeriği grafiği elde edilir (Şekil 9.27.).

9.4.12. DENey SONUçLARI

Doğal Su İçeriği: $W_n = \% 26$

Optimum Su İçeriği: $W_{opt} = \% 27.2$

Kuru Birim Hacim Ağırlığı: $\delta_k = 1.35t/m^3$

Doğal B.H.A. : $\delta_n = 1.06t/m^3$

Örtü Baskısı: $S = 4.24t/m^3$

Likit Limit: $W_L = \% 86$

Plastik Limit: $W_p = \% 31$

Likitlik İndisi: $I_L = - 0.09$

Plastisite İndisi: $I_p = \% 55$

Relatif Konsistans: $I_c = 1.09$

Serbest Basınç Direnci: $q_u = 509 \text{ kN/m}^3$

Grup Sembolü: CH

Elekten geçen 0.06 mm = % 87

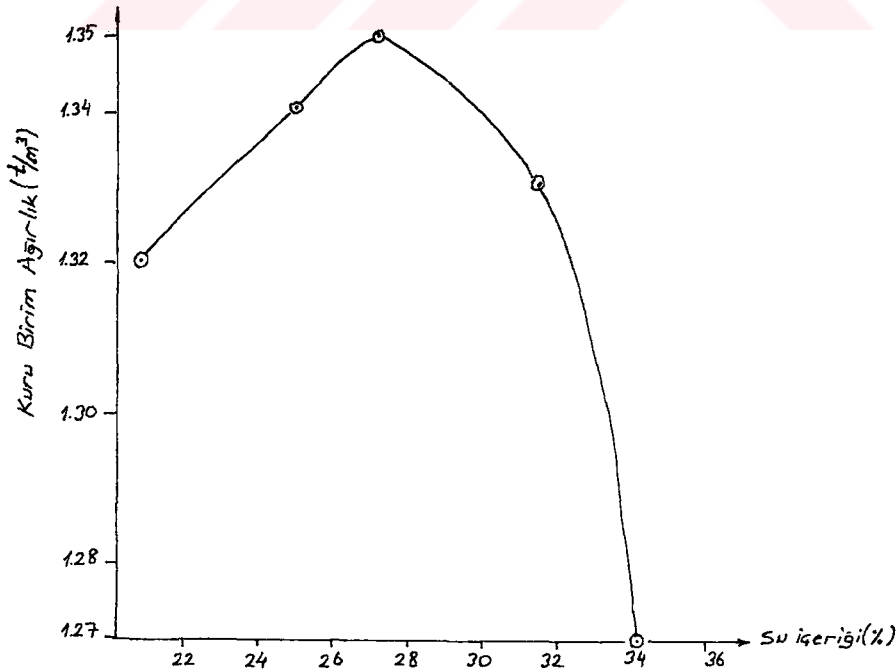
2.00 mm = % 100

Kohezyon: $C_u = 166 \text{ kN/m}^2$

İçsel Sürtünme Açısı: $\phi = 19^\circ$

**KURU BİRİM AĞIRLIĞI-SU İÇERİĞİ BAĞINTISININ
2.5 kg-4.5 kg TOKMAKLARLA SAPTANMASI**

Deney No	1	2	3	4	5
Kalıp, tabanı ve sıkıştırılmış zeminin ağırlığı (g)	3385	3465	3515	3538	3500
Kalıp ve tabanın ağırlığı (g)	1795	1795	1795	1795	1795
Sıkıştırılmış zeminin ağırlığı (g)	1590	1670	1720	1743	1703
Yaş birim ağırlık (t/m^3)	1.59	1.67	1.72	1.743	1.705
Nem kabı no	1	2	3	4	5
Su içeriği (%)	20.9	25.0	27.2	31.5	34.2
Kuru birim ağırlık (t/m^3)	1.32	1.34	1.35	1.33	1.27



Şekil 9.27. Kuru birim hacim ağırlığı ile su içeriği arasındaki ilişki.

9.5. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Çalışma alanında temelin oturacağı birimin kalınlığının ve yeraltı su seviyesinin tespit edilmesi için jeofizik ölçümler alındı. Schlumberger açılım yöntemi ile elektrod aralıkları $r= 100$ m'ye kadar açıldı. Ölçümler B_1 , B_2 , B_3 , B_4 ve B_5 noktalarında ve doğu-batı doğrultusunda alındı.

B_1 ölçü durağında alınan verilerin değerlendirilmesi sonucunda $r= 100$ m'lik açılım için 4 katmanlı bir yapının var olduğu anlaşılır. Yüzeyden 1 m derinliğe kadar olan kısımda özdirenci $17\Omega\text{m}$ olan toprak örtü bulunmaktadır. Bunun hemen altında 1.7 m kalınlığında $3.4 \Omega\text{m}$ özdirencinde gri renkli kil ve 6.2 m kalınlıklı $4 \Omega\text{m}$ özdirençli killi tabaka bulunmaktadır. 4'üncü katmanın özdirenci $12 \Omega\text{m}$ olarak bulunmuştur. Ek 1- Şekil 11.1'de B_1 ölçü noktasında alınan özdirenç sondaj ölçüm eğrisi ve Tablo 9.2'de B_1 noktasındaki ölçü sonuçları görülmektedir.

B_2 noktasında alınan ölçümler sonucunda 4 tabaka tespit edildi. Bu noktada örtü tabaka kalınlığı 1 m, özdirenci ise $11 \Omega\text{m}$ 'dir. Burada gri renkli kilin kalınlığı 0.5 m, özdirenci $9 \Omega\text{m}$, kilin özdirenci $7 \Omega\text{m}$ ve kalınlığı 20 m'dir. 4'üncü katmanın özdirenci ise $14 \Omega\text{m}$ 'dir (Ek. 1-Şekil 11.2 ve Tablo 9.3).

B_3 ölçü noktasında ise alınan ölçülerden yine 4 tabaka tespit edildi. Toprak örtünün özdirenci $18 \Omega\text{m}$ ve kalınlığı 1 m olarak bulundu. Gri renkli kilin kalınlığı 0.5 m, özdirenci ise $3.5 \Omega\text{m}$ 'dir. Bunun altındaki kilin kalınlığı 20 m, özdirenci ise $7.5 \Omega\text{m}$ 'dir. 4'üncü tabakanın özdirenci ise $12 \Omega\text{m}$ 'dir (Ek. 1- Şekil 11.3 ve Tablo 9.4).

B_4 ölçü noktasında alınan ölçülerin değerlendirilmesi sonucunda yine 4 tabaka tespit edildi. Toprak örtünün özdirenci $25 \Omega\text{m}$ ve kalınlığı 0.6 m'dir. Gri renkli kilin kalınlığı 1 m'dir. Bunun altındaki kilin kalınlığı 12 m, özdirenci ise $6 \Omega\text{m}$ 'dir. 4'üncü tabakanın özdirenci $14 \Omega\text{m}$ 'dir (Ek. 1-Şekil 11.4 ve Tablo 9.5).

B_5 noktasında ise yine 4 tabaka tespit edildi. Bu noktada örtü kalınlığı 0.8 m, özdirenci ise $35 \Omega\text{m}$ 'dir. Burada gri renkli kilin kalınlığı 0.5 m, özdirenci $4 \Omega\text{m}$ 'dir. Kilin kalınlığı 20 m özdirenci ise $8 \Omega\text{m}$ 'dir. 4'üncü katmanda bulunan özdirenç değeride $19 \Omega\text{m}$ 'dir (Ek. 1-Şekil 11.5 ve Tablo 9.6).

RHO (1)= 17	H (1)= 1
RHO (2)= 3.4	H (2)= 1.7
RHO (3)= 4	H (3)= 6.2

RHO (∞)= 12

1.000	15.89
1.33	14.76
1.78	12.90
2.37	10.40
3.16	7.78
4.21	5.77
5.62	4.67
7.49	4.33
10.00	4.40
13.33	4.73
17.78	5.30
23.71	6.07
31.62	6.97
42.16	7.92
56.23	8.84

Tablo 9.2. B₁ noktasında alınan ölçüler ve değerlendirme sonuçları.

RHO (1)- 11	H (1)- 1
RHO (2)- 9	H (2)- 0.5
RHO (3)- 7	H (3)- 20

RHO (∞)- 14.0

1.00	10.85
1.33	10.67
1.77	10.36
2.37	9.88
3.16	9.26
4.21	8.61
5.62	8.04
7.49	7.63
10.00	7.39
13.33	7.28
17.78	7.29
23.71	7.44
31.62	7.77
42.16	8.33
56.23	9.12

Tablo 9.3. B₂ noktasında alınan ölçüler ve değerlendirme sonuçları.

RHO (1)- 18	H (1)- 1
RHO (2)- 3.5	H (2)- 0.5
RHO (3)- 7.5	H (3)- 20

RHO (∞)- 12.0

1.00	16.92
1.33	15.84
1.77	14.10
2.37	11.86
3.16	9.67
4.21	8.16
5.62	7.49
7.49	7.35
10.00	7.39
13.33	7.47
17.78	7.58
23.71	7.75
31.62	8.01
42.16	8.42
56.23	8.98

Tablo 9.4. B₃ noktasında alınan ölçüler ve değerlendirme sonuçları.

RHO (1)= 25	H (1)= 0.6
RHO (2)= 50	H (2)= 1
RHO (3)= 6	H (3)= 12

RHO (∞)=14

1.00	27.58
1.33	29.08
1.77	30.37
2.37	30.46
3.16	28.33
4.21	23.76
5.62	17.81
7.49	12.39
10.00	8.90
13.33	7.40
17.78	7.13
23.71	7.49
31.62	8.20
42.16	9.15
56.23	10.15

Tablo 9.5. B₄ noktasında alınan ölçüler ve değerlendirme sonuçları.

RHO (1)= 35	H (1)= 0.8
RHO (2)= 4	H (2)= 0.5
RHO (3)= 8	H (3)= 20
<hr/>	
RHO (∞)=19	

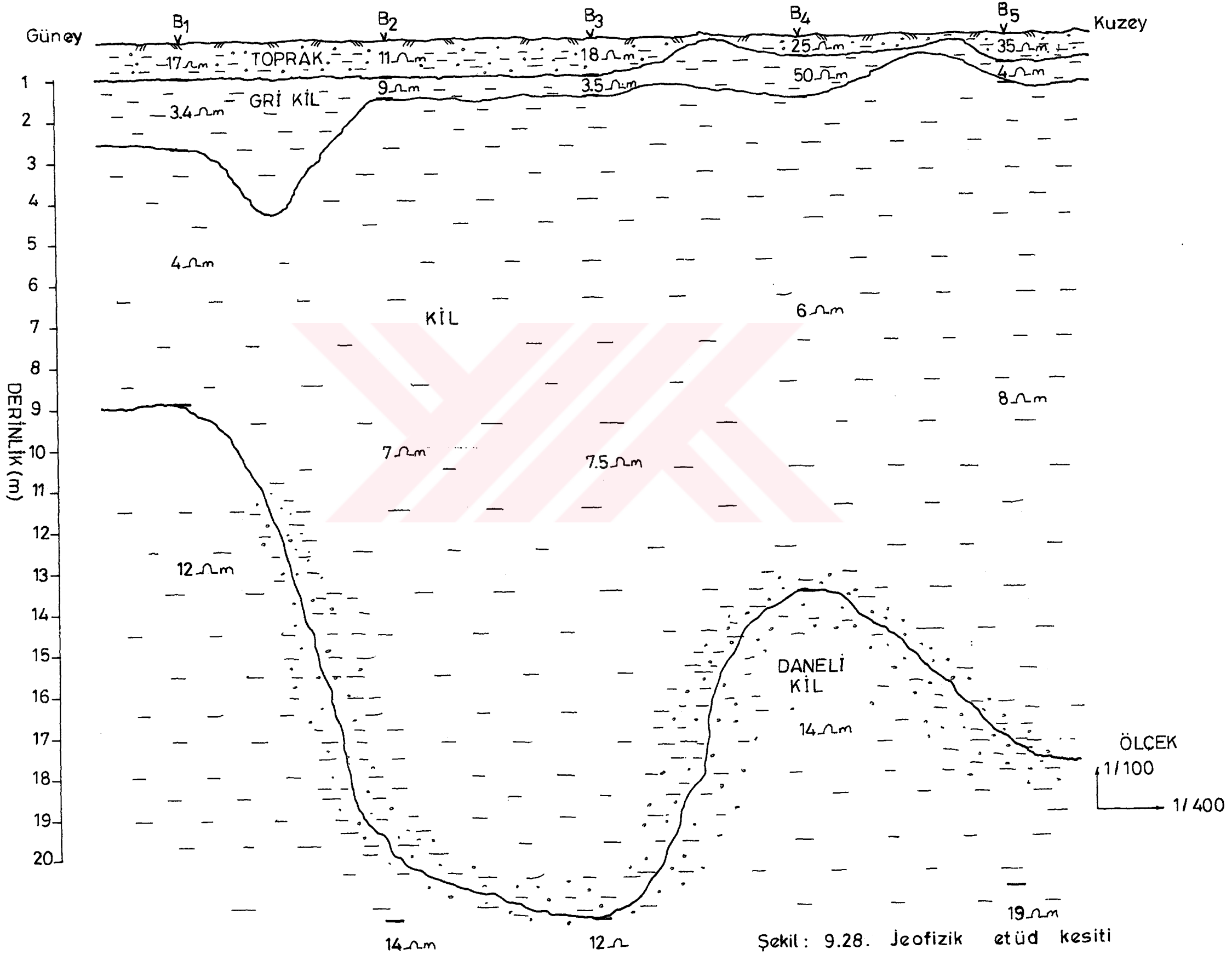
1.00	27.98
1.29	23.58
1.68	18.40
2.17	13.58
2.82	10.19
3.65	8.50
4.74	7.96
6.14	7.88
7.96	7.93
10.32	8.01
13.38	8.14
17.34	8.34
22.48	8.70
29.14	9.28
37.78	10.12

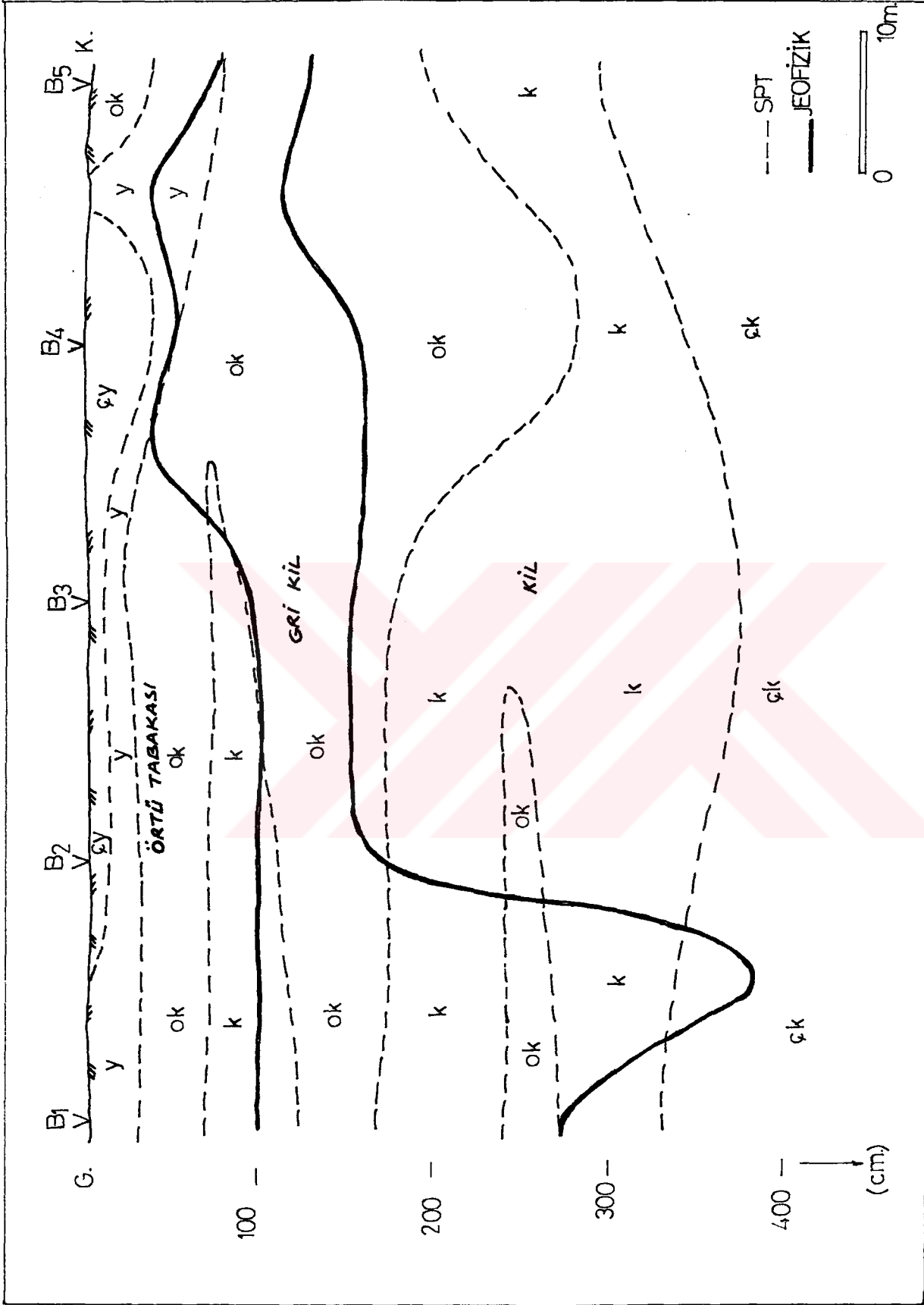
Tablo 9.6. B₅ ölçü noktasında alınan ölçüler ve değerlendirme sonuçları

9.5.1. JEOFİZİK ETÜD SONUÇLARI

Çalışma alanında alınan ölçümler sonucunda çizilen jeofizik kesit ve SPT karşılaştırmalı kesit Şekil 9.28 ve Şekil 9.29'da görülmektedir. Bunun sonucunda zeminin 4 tabakalı olduğu ortaya çıkmaktadır. Üstte bir örtü tabakası görülmektedir. Bunun kalınlığı 1 m civarındadır. Bu tabakanın öz direnci 11-35 Ω m arasında değişmektedir. Örtü tabakasının altında SPT ölçümleriyle tespit edilen gri renkli kil bulunmaktadır. Bu tabakanın kalınlığı 0.5- 1 m civarındadır, öz direnci ise 4-9 Ω m arasında değişmektedir. Üçüncü katın öz direnci 4-8 Ω m arasında değişmekte ve kalınlığı ise 12-20 m civarındadır. Bu tabaka kil olarak tespit edilmiştir. 4'üncü katın öz direnci ise 12-19 Ω m arasında değişmektedir. Bu sonuçlara göre elektrik öz direnc açma ölçümleri arasında iyi bir uyum vardır.

Ölçüm sonuçlarına göre kuzeye gidildikçe örtü tabakasının öz direncinde artış görülmektedir. Bunun nedeni çalışma alanının kuzeyine doğru dolgu malzemesinin dökülmüş olmasıdır. Görüldüğü gibi örtü tabakasının altı kildir. Bu kil tabakasının kalınlığı B₂, B₃ ve B₅ noktaları altında daha kalındır. Bu tabakanın kalınlığı yaklaşık 20 m civarındadır. Kil tabakası aşağıya doğru daneli yapı kazanmaktadır. Bundan dolayı öz direnc değeri artmaktadır. Bundan yola çıkarak yeraltı suyundan söz edebiliriz. Ayrıca zeminin, jeoteknik çalışmalarından elde edilen verilere göre CH grubunda olması ve likit limit değerinin yüksek olması su alma kapasitesinin yüksek olduğunu gösterir. Jeofizik çalışmaya göre yeraltı suyu 9-15 m arası bulunabilir. Bu kazım işlemi sırasında göz önünde bulundurulmalıdır. Bu metreler arası danelerin çapında büyüme ve buna göre de silt ya da ince kuma geçiş olabilir. Bu özellikteki zemin yapısında bildiğimiz gibi kapillarite ve permeabilite birlikte düşünüldüğünde üst zemine doğru suya doygunluk düşünülebilir. Ancak kohezyonlu zeminlerde SPT ölçümlerinde bunun etkisi görülmez. SPT ölçümlerinde zeminin çok katı özellikte olması ince daneli zemin arasında iri daneli zemin olmasıdır. Bu da macunlama etkisi yapmaktadır. Bu sonuçlara göre kazı sırasında drenaj yapılması gerekebilir. Üst yüzeyde yapılan SPT analizi ile 4 m'ye kadar inilmiş ve zeminin çok katı özellik kazandığı tespit edilmiştir. Jeofizik etüdüde tespit edilen bu katman kildir.





Şekil 9.29. SPT ile Jeofizik kesitin karşılaştırılması.

10. SONUÇLAR

Yeraltı çalışmalarında kullanılan jeofizik yöntemler, aynı zamanda inşaat temel problemlerinde kullanılan zemin etüdlerinde başarılı bir şekilde uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada özellikle kullanılan yöntemler ve bu yöntemlerin birbirini destekleyici yönleri ortaya konmuştur.

Zemin etüdlerinde kullanılan yöntemler zeminin ve özellikle zemini oluşturan kayaçların mühendislik özellikleriyle ilişkilidir. Zemin etüd yöntemleriyle zeminin mühendislik özellikleri belirlenir ve sonuçlara göre temel inşaatı problemlerine geçilebilir. Jeomekanik ve jeoteknik çalışmaları ile elde edilen sonuçlar genelde zeminin üniformaluluğu, yüklemeye karşı direnci, sıkılık, kıvam, kayma direnci gibi özelliklerini ortaya koyar. SPT araştırmalarıyla da zeminin üst yüzeyi diye tanımlayabileceğimiz kısmında varsa tabakalanma, yeraltı suyu seviyesi gibi özellikleri incelenebilir. Bu araştırmayla zemin emniyet gerilmeleri ve serbest basınç direnci tespit edilir. Ancak bu araştırmalar zeminin genelde yüzeye yakın kısmında yapılan araştırmalardır. Daha derine doğru yeraltı yapısı hakkında bilgi vermez. Belki derinde olan ve kapilarite etkisi ile yükselebilen yeraltı su seviyesini de belirleyemez. Bu konuda jeofizik çalışmalar yatay ve düşey süreksizlikleri belirlediğinden, yeraltı su seviyesini tespit ettiğinden diğer çalışmaları desteklemektedir. Jeofizik çalışmalarda kayaçların mühendislik özellikleri kullanılarak yeraltı çalışması yapılmaktadır. İncelenen rezistivite yöntemi kayaçların elektriksel özelliğini kullanır. Ancak daha önce belirttiğimiz gibi bu özellik kayaçların diğer mühendislik özellikleri ile değişmektedir. Bundan dolayı kayaçların mühendislik özelliklerine değinilmiş ayrıca elektriki değişime etkileri incelenmiştir.

Arazi uygulamasında, zeminin mühendislik özelliklerinin saptanması ve elektrik sondaj ölçümleriyle desteklenmesi amaçlandı. Uygulamada jeolojik, jeomekanik, jeoteknik ve jeofizik çalışmalar yapıldı.

Bölgenin jeolojisi mevcut literatürden yararlanılarak incelendi. Bölge jeolojik olarak Sarmasiyen yaşlı formasyonlarla temsil edilmektedir.

Çalışma alanından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numunelere uygulanan laboratuvar deneyleri sonucunda zemin cinsi ve özellikleri belirlendi.

SPT çalışması uygulandı ve yüzeyden 4.5 m derinliğe kadar inildi. Zemin emniyet gerilme değeri ve q_u serbest basınç değerleri saptandı. Bu çalışma, sürdürülen derinliğe kadar varsa tabaka sınırları, yeraltı su seviyesi, engeller ve boşlukları tespit edebilir. Çalışma 10 noktada yapıldı ve 4 m'den sonra zeminin çok katı özellikli olduğu saptandı. 1.5 m'den alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyleri sonucunda bunu desteklemektedir. Yüzeyde zeminin daha yumuşak olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçlara göre kazı işlemi 3-3.5 m derinliğe kadar yapılmalıdır. Bu derinlikte zemin güvenlik gerilim değerini 2.0 alabiliriz. Serbest basınç direncinide 4.0 kg/cm^2 alabiliriz.

Laboratuvar sonuçlarına göre zemin sınıflaması CH olarak belirlendi. Bu Casagrande Sınıflandırmasına göre belirleme sonucudur. Kompresibilitesi yüksek, kuru mukavemeti çok yüksek, yol malzemesi olarak çok kötü, şişme özellikleri yüksektir. Drenaj karakteristiği pratik olarak geçirimsizdir.

Kil numunelerinden 200 No eleğinden geçen örnek oranının % 93 olması, plastisite indisinin % 55 ve likit limitinin % 86 olması A.B.D Karayolları sınıflandırmasında zemini A-7-6 sınıfına sokar. Bu tip zeminler killi zeminleri içerir ve altyapı (temel) malzemesi olarak hali "orta ile zayıf"tır. A-7-6 alt grubu likit limitlerine nazaran yüksek plastisite indislerine sahip ve çok yüksek hacimsel değişimlere maruz kalan zeminleri kapsar.

C.A.A. sınıflandırmasına göre numunemiz E-9 sınıfına girer. Bu zemin çok yüksek plastisite özelliği gösterir. A.B.D. sınıflandırmasına göre A-6 ve A-7 zeminine karşılık gelir. Bu sınıflandırma örselenmiş numuneye yapılan granülometre deneyi sonucu elde edilen likit limit ve plastisite indisi değerleri yardımı ile yapılır.

Kil numunesinin çeşitli sınıflandırmalar sonucu elde edilen zemin türüne göre taşıma oranı 4 değerinde olup "çok zayıf altyapı" özelliği gösterir. California taşıma oranının değeri 4 olduğu gözönüne alınarak emin taşıma gücü 0.7 kg/cm^2 'dir. Yatak katsayısı ise 3.5 kg/cm^3 'dür.

Jeofizik çalışmalarda üst seviyede örtü tabakası ve bunun altında kil tabakası tespit edildi. Örtü tabakası biraz daha iri daneli olduğundan rezistivite değeri yüksektir. Bunun altındaki kil tabakasının yüksek su alma kapasitesinin olduğunu laboratuvar çalışmalarından biliyoruz. Aşağıya

doğru rezistivitenin artması daneli yapının oluşundan kaynaklanmaktadır. Yeraltı su seviyesinin 9-15 m arası olduğu tespit edildi. Zeminin CH grubu olması ve likit limit değerinin yüksek oluşu üst kısımdaki kilin yüksek plastisiteli ve su alma kapasitesinin yüksek olduğunu gösterdiğinden, yeraltı su seviyesinde kapilarite ve permeabilite ile birlikte bu tabakanın suya doygun olduğu söylenebilir. Bunlar dikkate alınarak drenaj yapılması uygun olmaktadır.

Görüldüğü gibi zemin etüdü çalışmalarında jeofizik araştırma yöntemleri başarı ile uygulanmaktadır. Jeofizik çalışmaların jeoteknik ve jeomekanik çalışmaları desteklediğı ve hatta yeraltındaki tabakalanma, süreksizlik ve yeraltı su seviyeleri hakkında daha açık bilgi verdiği kesindir.

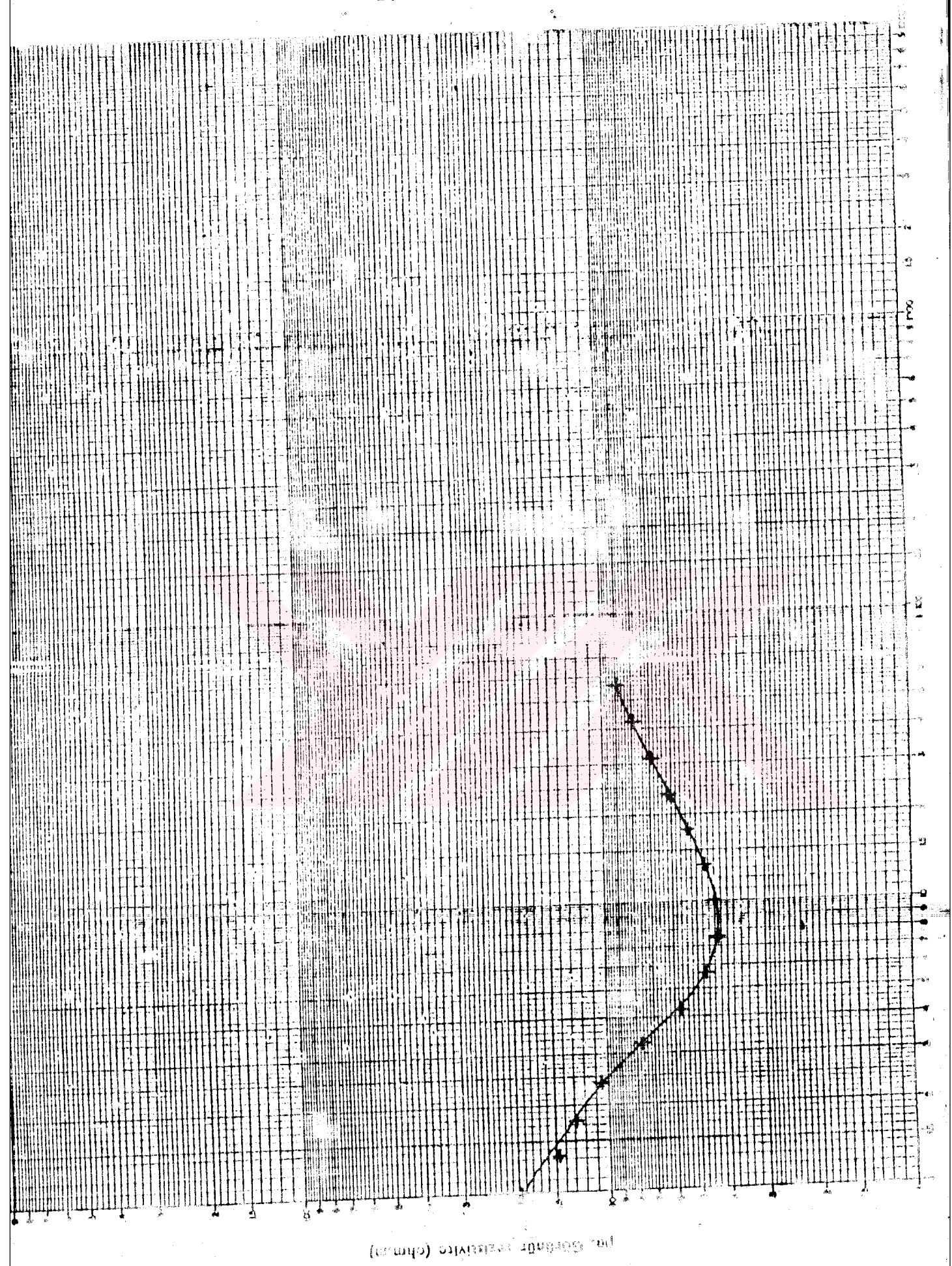


11. EKLER

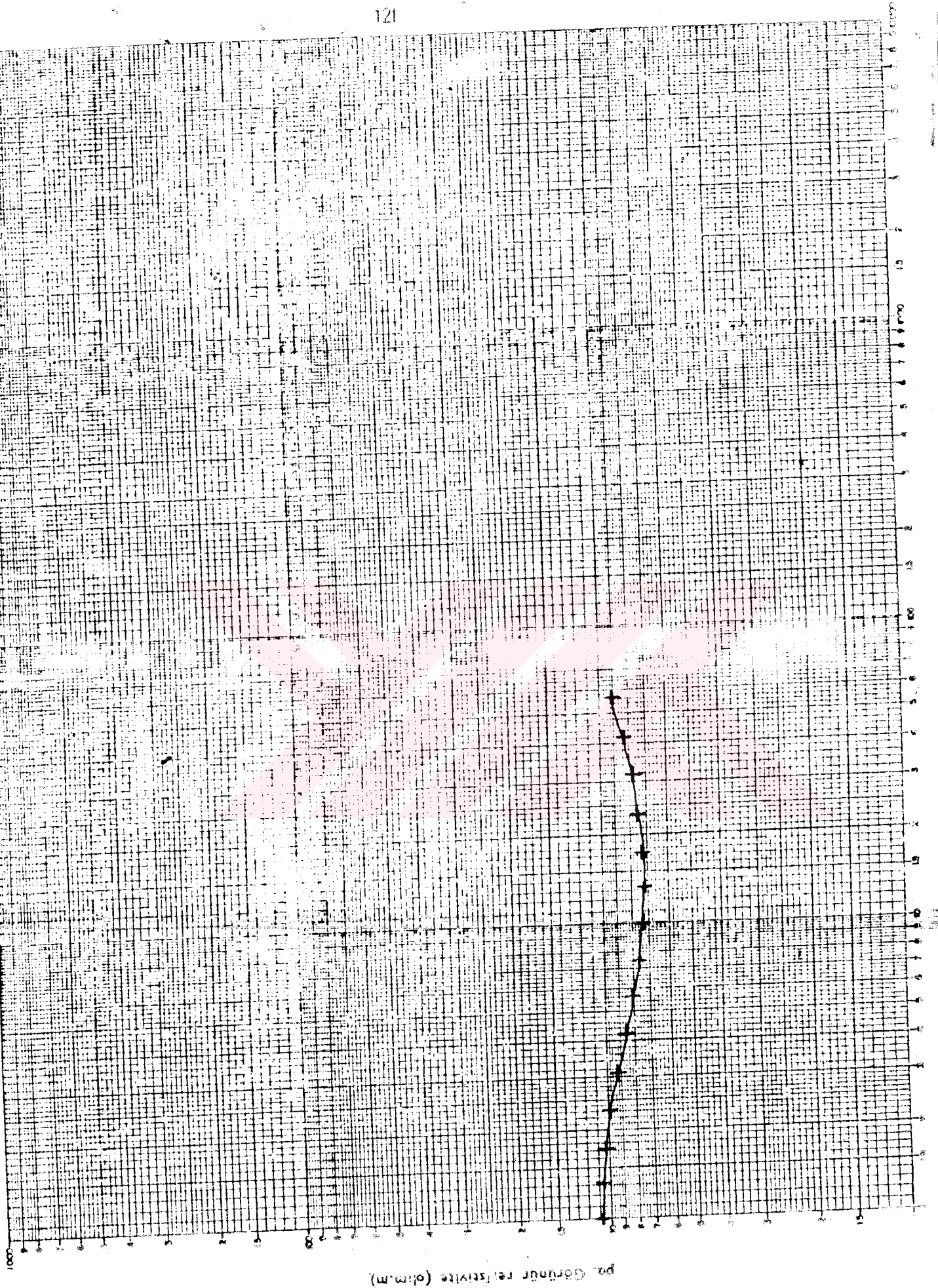


EK.1 B₁, B₂, B₃, B₄ VE B₅ NOKTALARI İÇİN ELDE EDİLEN REZİSTİVİTE EĞRİLERİ

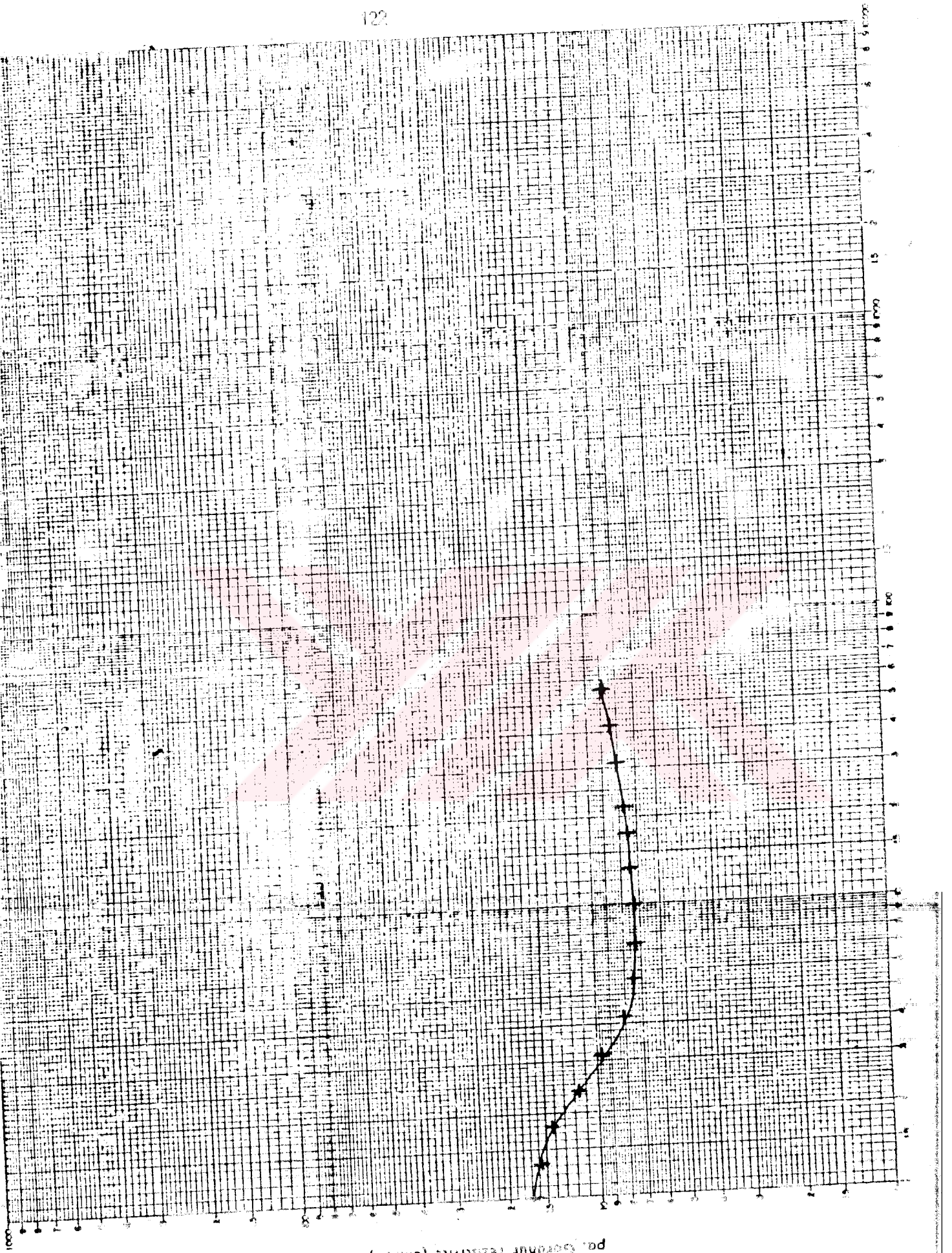




Şekil 11.1. B₁ ölçü noktası için elde edilen rezistivite eğrisi

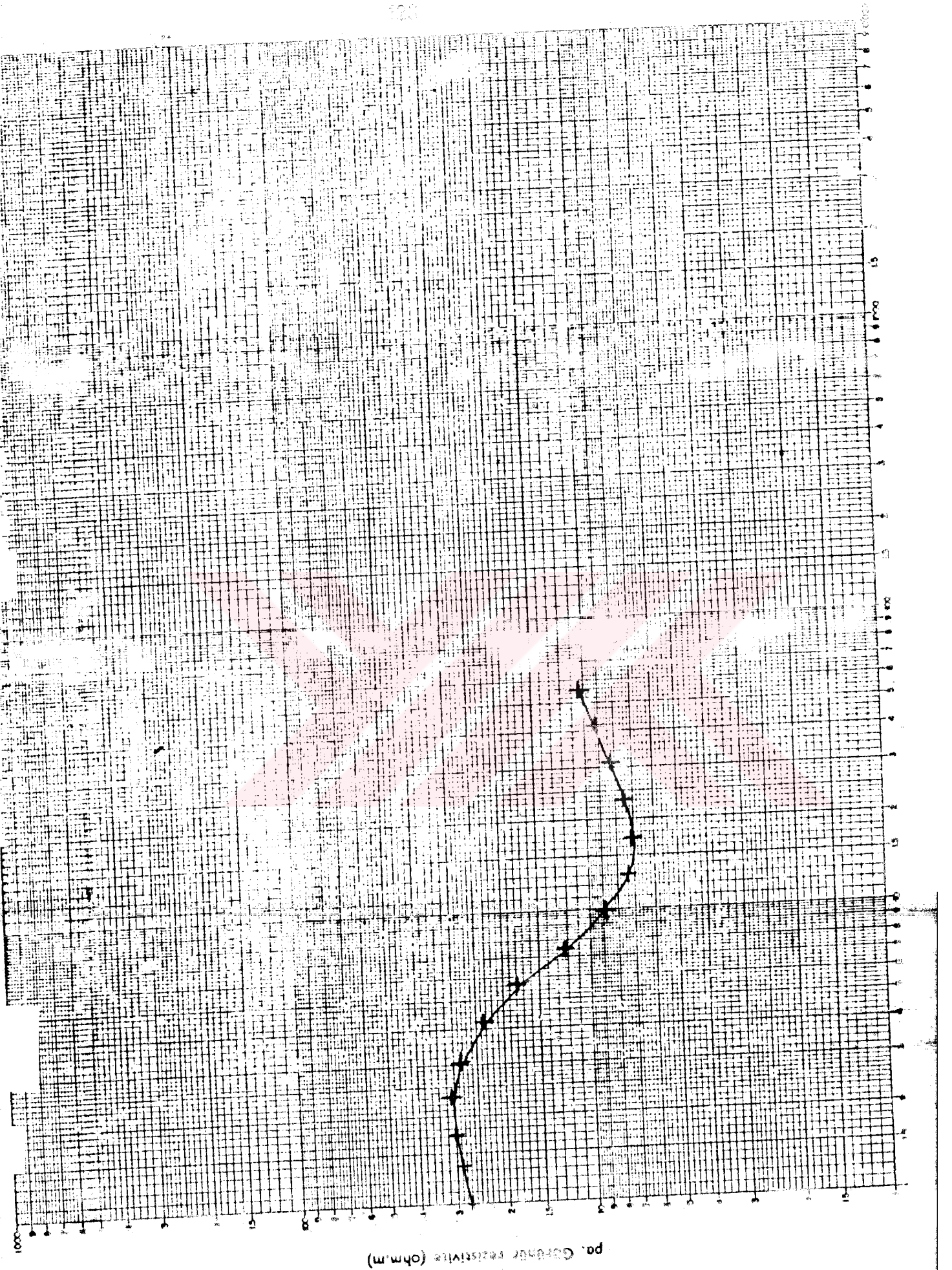


Sekil 11.2. B₂ ölçü noktası için elde edilen rezistivite eğrisi.

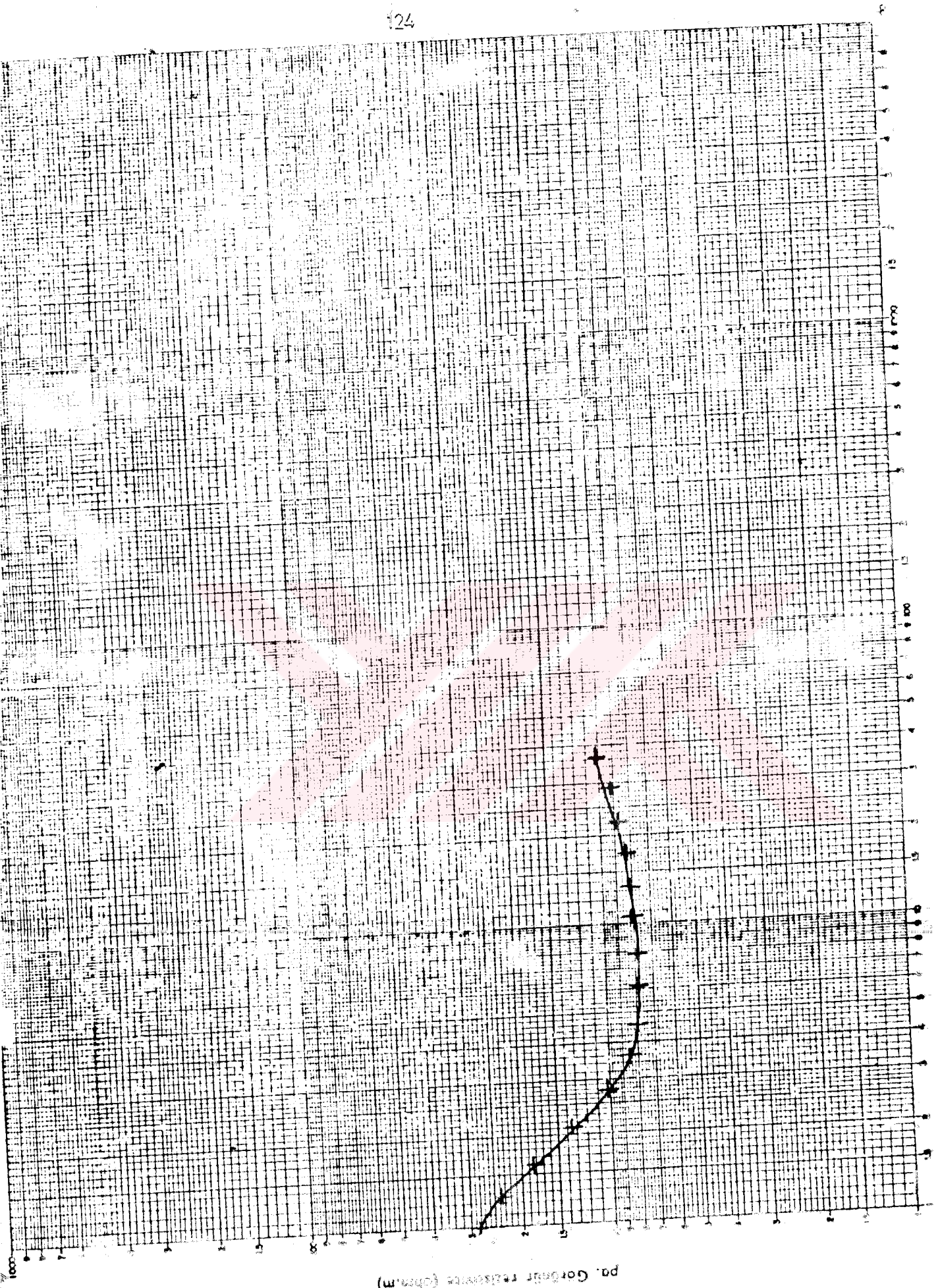


pa. Görünür rezistivite (ohm)

Şekil 11.3. B₃ noktası için elde edilen rezistivite eğrisi.



pa. Görünen rezistivite (ohm.m)
 Şekil 11.4. B_z noktası için elde edilen rezistivite eğrisi.



pa. Gerdür rezistivite (ohm.m)

Sekil 11.5. B₅ noktası için elde edilen rezistivite eğrisi.

EK.2 KARAYOLLARI (AASHTO) ZEMİN SINIFLANDIRMA SİSTEMİ

Genel Sınıflandırma	Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen \leq %35)						Silt-Kil Zeminler (No.200 Elekten Geçen $>$ %35)			
	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7
Zemin Grupları	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7			
Dane çapı dağılım Özellikleri	No.10 Elekten Geçen (%)	≤ 50	-	-	-	-	-	-	-	-
	No.40 Elekten Geçen (%)	≤ 30	> 50	-	-	-	-	-	-	-
	No.200 Elekten Geçen(%)	≤ 15	≤ 10	≤ 35	≤ 35	≤ 35	≤ 35	> 35	> 35	> 35
Plastisite Özellikleri	Likit Limit (%)	-	-	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	≤ 40	> 40	> 40
	Plastisite İndisi (%)	≤ 6	N.P.	≤ 10	≤ 10	> 10	> 10	≤ 10	> 10	> 10
Grubu Oluşturan Başlıca Zeminler	Taş Parçaları Çakıl ve kum		İnce kum	Siltli veya Killi Çakıllar ve kumlar			Siltli zeminler		Killi zeminler	
Yol Altyapısı olarak Değerlendirilmesi	Çok iyi - İyi									
Orta - Kötü										

Not : A-7-5 için $I_p \leq (w_L - 30)$ ve A-7-6 için $I_p > (w_L - 30)$

12. KAYNAKLAR

- 1) ÖZAYDIN, Kutay, Zemin Mekaniği, Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Böl., 1989, İstanbul.
- 2) TERZAGHI, K. and PECK, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd Ed., John Wiley and Sons, Inc., 1967, New York.
- 3) PETER, L. Berry and DAVID, Reid, An Introduction to Soil Mechanics, 1987, Great Britain.
- 4) CRAIG, R.F., Soil Mechanics, 4 nd. ed., 1987, Great Britain.
- 5) MELCHIOR, Paul, The Physics of The Earth's Core: an introduction, 1986, Oxford: Pergamon.
- 6) CAPPER, P. Leonard, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çev. Vahit Kumbasar, 4. bs., 1984, İstanbul Çağlayan Kitabevi.
- 7) ATAMAN, Tacettin, Kaya Mekaniğine Giriş, O.D.T.Ü. Müh. Fak., 1982, Ankara.
- 8) KAYA MEKANIĞI, Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği, 1992, Ankara.
- 9) TELFORD, William Murray, Applied Geophysics, 2nd Ed., 1990, Cambridge: C.U. Press.
- 10) GRIFFITHS, D.H. and KING, R.F., Applied Geophysics for Geologists and Engineers, 1983, Great Britain.
- 11) KEAREY, P. and BROOKS, M., An Introduction to Geophysical Exploration, 1988, Great Britain.
- 12) ERGİN, K., Uygulamalı Jeofizik, 1981, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- 13) ERGENE, C., Rezistivite Yönteminde Elektrod Dizilimlerinin Sınıflandırılması ve Özel Elektrod Dizilimleri, 1979, İ.Ü, İstanbul.
- 14) ARCHIE, G.E., The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, 1942.
- 15) İLKİŞİK, O.M., Kayaçların Elektriksel İletkenliği, Teknik Rapor, 1974, İTÜ Maden Fak. Jeofizik Kursusu, İstanbul.
- 16) ARIÇ, C., Haliç-Küçükçekmece Bölgesinin Jeolojisi, 1955, İTÜ, İstanbul.
- 17) ACUN, N., Arazide Yapılan Temel Zemin Etüdüleri, 2. Baskı, 1983, İTÜ, İstanbul.
- 18) FRASER, D.C., and WARD, S.H., Conduction of Electricity in Rocks, Mining Geophysics vol. II., Theory, p.p. 198-223, Çeviri K.T.Ü yayınları, 1980.
- 19) ORELLANA, E. and MOONEY, H.M., Rezistivite Değerlendirme Metodları, Derleyici Cahit ÇORUH, 1974, T.J. Birliği Yayını, No: 3,37.

ÖZGEÇMİŞ

1969 Kütahya doğumluyum. İlk ve orta öğrenimimi Kütahya'da tamamladım. Lise tahsilimi Bilecik Teknik Lisesi Elektrik Bölümünde yaptım. 1991 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Kocaeli Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirdim. Aynı sene Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans çalışmasına başladım. Halen bu bölümde öğrenimime devam etmekteyim.

ÜMİT ŞEN