

57477

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**HAMZADERE - KOYUNTEPE BARAJININ
MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ ve GEOTEKNİK
İNCELEMESİ**

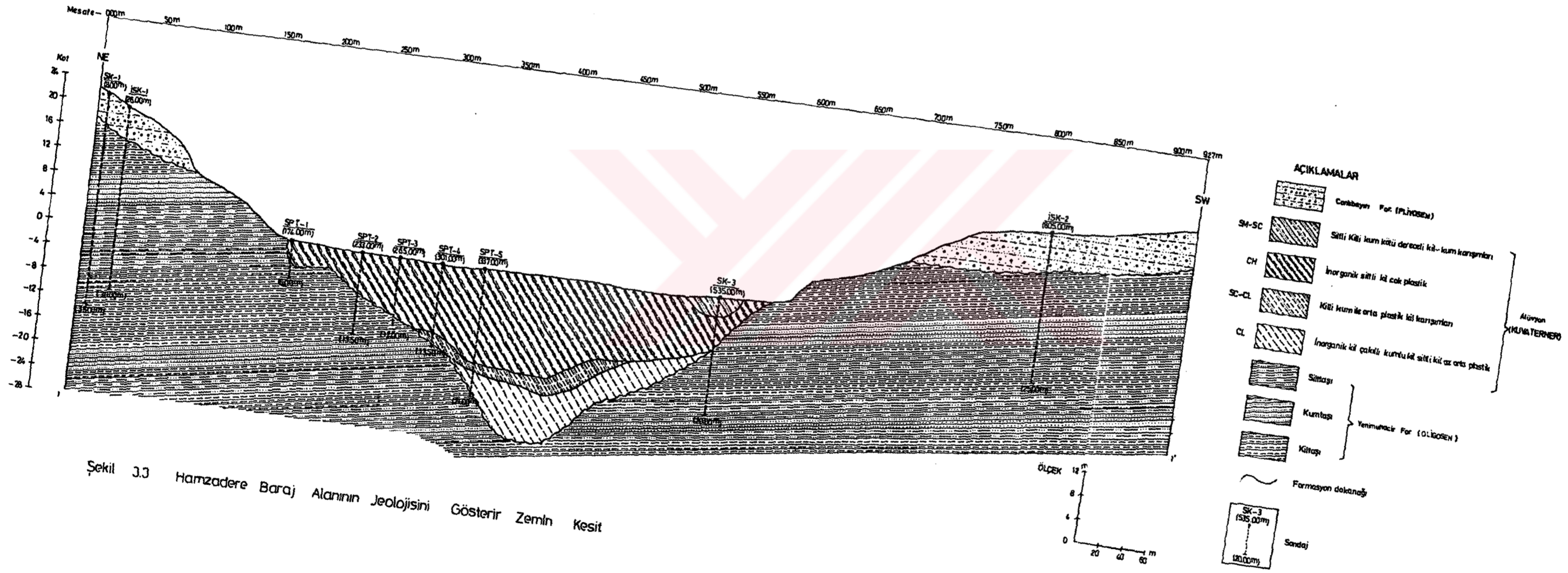
Ertuğrul ORDU

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
hazırlanan**

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM

İSTANBUL, 1996



Şekil 3.3 Hamzadere Baraj Alanının Jeolojisini Gösterir Zemin Kesit

ÖNSÖZ

Barajlarda dolgu stabilitesi, temel zeminin özellikleri ile dolgunun uygun inşa edilmesine büyük oranda bağlıdır. Temel zeminin yapı, cins ve özellikleri ile yeraltı suyunun durumu, dolgunun yüksekliği, dolgunun inşaatında kullanılacak zeminin cins ve özellikleri v.s. gözönüne alınarak yapılan bu çalışmada, Hamzadere Homojen Toprak Dolgu Barajı'nın inşa aşamasında gerekli olan jeolojik çalışmaları ile zemin etüdlerinin kapsam ve metodlarına değinilmektedir.

Bu çalışmanın ışığı altında, tasarım aşamasındaki Hamzadere Barajı'nın Mühendislik Jeolojisi ve Geoteknik özelliklerini belirlemeyi ve elde edilebilecek verileri ilgili kişi ve kuruluşların yararlarına sunmayı amaçlamaktadır.



TEŐEKKÜR

Beni bu konu üzerinde çalıŐmaya yönelten, çalıŐmalarımın her aşamasında gerekli tüm bilgileri yoğun çalışmalar sırasında bile vermektten çekinmeyen, arazi çalıŐmalarıma da katılarak büyük zahmetlerde bulunan Sayın Yrd. Doç. Dr. Mustafa YILDIRIM'a teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Yüksek Lisans Tez konumun seçiminde ve çalıŐmalarım sırasında teknik ve idari konulardaki yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof. Dr. İ. Kutay ÖZAYDIN'a teŐekkürlerim sonsuzdur.

Bu çalıŐmam sırasında laboratuarda bana gerekli kolaylıkları gösteren, zemin ile ilgili sorunlarımın çözümlenmesinde değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın İnaaat Yüksek Mühendisi Őkr ZOBAN'a, laboratuarda çalıŐmalarıma yardımda bulunan İna. Yük. Müh. Cem AKĐNER ve Teknisyen Erhan EROL'a teŐekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tezin ortaya çıkmasından gerekli verilerin temininde yardımlarını gördüğüm D.S.İ. XI. Bölge Müdürlüğü'nde İnaaat Yüksek Mühendisi Bahattin YILMAZ, Jeoloji Yüksek Mühendisi Kemal ÖNGÖREN, Jeoloji Mühendisi Yalçın ÖZKAPTAN, arazi çalıŐmalarıma katkılarından dolayı İnaaat Yüksek Mühendisi Taner M. CENGİZ ve çizimlerde emeği geçen Sayın Zeynep SL'e teŐekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No:</u>
NOTASYON	I
ŞEKİL LİSTESİ	III
TABLolar	V
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
1. GİRİŞ	1
2. İNCELEME ALANI	3
2.1. Yeri ve Ulaşımı	3
2.2. Topoğrafya	3
2.2.1. Dağlar	3
2.2.2. Ovalar	3
2.2.3. Akarsular	3
2.2.4. Göller	4
2.3. Bitki Örtüsü	4
2.4. İklim	4
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
4. GENEL JEOLojİ	9
4.1. Yapısal Jeoloji	14
4.1.1. Tabakalanma	15
4.1.2. Kıvrımlanma	15
4.1.3. Eklem Sistemleri	15
4.1.4. Faylanma	15
4.1.5. Diskordans-Konkordans	16
4.2. Baraj Alanının Jeolojisi	16
4.3. Duraylılık	18
4.4. Yeraltı Suyu	19
4.5. Deprem	19
5. HAMZADERE BARAJI GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ	21
5.1. Teknik Özellikleri	21
5.2. Gövde Dolgusu ve Dolgu Malzemeleri	21
5.2.1. Kaya Malzemesi Alanı	23
5.2.2. Geçirimli Malzeme Alanı	23
5.2.3. Homojen Dolgu Malzemesi Alanları:	24
5.3. Numunelerin Alınışı	27
5.4. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri	27
5.4.1. Zeminlerin Endeks Özellikleri	27
5.4.1.1. Dane Çapı Dağılımı	27
5.4.1.2. Kıvam Limitleri	28
5.4.1.3. Özgül Ağırlık	31
5.4.2. Permeabilite	31
5.4.3. Kompaksiyon	33
5.4.4. Kayma Mukavemeti	40
5.4.4.1. Kesme Kutusu [Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)]	42

5.4.4.2. Serbest Basınç [Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU)].....	47
5.4.4.3. Üç Eksenli [Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU)]	50
5.4.5. Sıkışabilirlik	54
5.4.5.1. Şişme Parametreleri	67
6. SONUÇLAR.....	75
KAYNAKLAR	79
EKLER	

İnceleme Alanı ve Çevresini Gösterir Jeolojik Harita

Baraj Alanı ve Çevresini Gösterir Topoğrafik Harita



NOTASYON

A : Numune alanı, cm^2

c : Zeminin kohezyonu (Zemin daneciklerini birbirine yapıştıran bir çekim gücüdür).

C_C : Sıkışma indisi

C_S : Şişme indisi

C_V : Konsolidasyon katsayısı, (cm^2/dak)

e_o : Deney başı boşluk oranı,

E_S : Deformasyon modülü,

G_S : Dane özgül ağırlığı,

H : Yükleme başı ve sonunda deneyden elde olunan boyların ortalaması

H_d : Drenaj yolu uzunluğu, (Ödometre deney numunesinde üstten ve alttan drenaj mümkün olduğundan drenaj boyu, numune kalınlığının yarısına eşittir).

H_o : Başlangıç numune yüksekliği, cm.

H_S : Danelerin yüksekliği, cm. (Ödometre aletinde)

H_V : Boşlukların yüksekliği, cm (Ödometre aletinde)

I_P : Plastisite indisi, %

L_S : Lineer rötre, %

$P_{\text{ön}}$: Ön konsolidasyon basıncı

T_{50} : 0.197 (%50 konsolidasyona karşılık gelen boyutsuz zaman faktörü),

u : boşluk suyu basıncı

V_S : Dane hacmi, cm^3

W_S : Numune kuru ağırlığı, gr.

ω_o : Başlangıç su muhtevası,

ω_n : Doğal su muhtevası, %

ω_{opt} : Optimum su muhtevası, %

ω_{L1} : Likit limit (Düşen Koni), %

ω_{L2} : Likit limit (Casagrande), %

ω_P : Plastik limit, %

ω_R : Rötre limiti, %

ω_{son} : Ödometre deney sonu su muhtevası, %

$\omega_{\text{opt}} - \%2$: Optimum su muhtevasının %2 kuru tarafı

$\omega_{\text{opt}} + \%2$: Optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafı

σ : Kayma düzlemine etkiyen normal gerilme

σ' : efektif gerilme

σ_a : Aksenal gerilme

$\sigma_c = \sigma_3$: Sabit hücre basıncı

ϕ : İçsel sürtünme açısı (Zemin kitlesi içindeki danelerin birbiri üzerinden karşı gösterilen dirençdir).

τ_f : Göze alınan düzlemde doğacak kayma mukavemeti veya düzlemin taşıyabileceği maximum kayma gerilmesi

γ_{kmax} : Maximum kuru birim hacim ağırlığı, kN/m^3

ŞEKİL LİSTESİ**Sayfa No:**

Şekil: 1	İnceleme Alanının Mevki Haritası	2
Şekil: 2	Xeric Nem Rejiminde Toprak-Su Dengesi ve İklim Verileri	5
Şekil: 3.1	İnceleme Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Kesiti.....	10
Şekil: 3.2	İnceleme Alanı ve Çevresini Gösterir Jeolojik Harita	11
Şekil: 3.3	Baraj Alanının Jeolosini Gösterir Zemin Kesiti	17
Şekil: 4	İnceleme Alanının Sismotektonik Haritası	20
Şekil: 5	Hamzadere Barajı Gövde Tip Enkesiti	22
Şekil: 6.1	Hamzadere Barajı A Geçirimsiz Malzeme Alanı Bulduru Haritası.....	25
Şekil: 6.2	Hamzadere Barajı B Geçirimsiz Malzeme Alanı Bulduru Haritası.....	26
Şekil: 7	Kil Dolgu Malzemelerinin Dane Dağılım Eğrileri	29
Şekil: 8.1	Zemin Partiküllerinin Sıralanışı	34
Şekil: 8.2	Kil Daneciklerin Şematik Gösterilmesi	35
Şekil: 9.1	A Malzemesi Kompaksiyon Deney Sonuçları	38
Şekil: 9.2	B Malzemesi Kompaksiyon Deney Sonuçları	39
Şekil: 10	Kayma Mukavemeti Parametreleri	42
Şekil: 11.1	Dolgu Malzemelerinin Kesme Gerilme ve Eksenel Yer Değiştirmeleri	44
Şekil: 11.2	Dolgu Malzemelerinin Düşey ve Eksenel Yer Değiştirmeleri	45
Şekil: 11.3	Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafındaki Dolgu Malzemelerin Kesme Kutusu Deneyine Ait Mohr-Coulomb Kırılma Zarfları	46
Şekil: 12.1	A Malzemesi Serbest Basınç Deney Sonuçları	48
Şekil: 12.2	B Malzemesi Serbest Basınç Deney Sonuçları	49
Şekil: 13.1	Dolgu Malzemelerin Üç Eksenli'de Eksenel Deformasyon-Deviator Gerilme İlişkisi	52
Şekil: 13.2	Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafındaki Dolgu Malzemelerinin Üç Eksenli Basınç Deneyine Ait Mohr Daireleri	53
Şekil: 14.1	Optimum Su Muhtevasının %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e-log P Eğrileri	64
Şekil: 14.2	Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e-log P Eğrileri	65
Şekil: 14.3	Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e-log P Eğrileri	66

IV

Şekil: 15	Van Der Merve Abağı	68
Şekil: 16	B Dolgu Malzemesinin X-ray Difraktogramı	74



TABLolar

	<u>Sayfa No:</u>
Tablo: 1	İnceleme Alanı İklim Tablosu 5
Tablo:2	Dolgu Malzemelerin Endeks Özellikleri..... 31
Tablo:3	Dolgu Malzemelerin Kesme Kutusu Deneyinden Bulunan Kayma Mukavemeti Değerleri..... 43
Tablo:4	Dolgu Malzemelerin Serbest Basınç Dirençleri..... 47
Tablo:5	Dolgu Malzemelerin Üç Eksenli Basınç Deneyinden Bulunan Kayma Mukavemeti Değerleri51
Tablo: 6.1	Optimumun %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları58
Tablo: 6.2	Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları..... 59
Tablo: 6.3	Optimumun %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları..... 60
Tablo: 6.4	Optimumun %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları.....61
Tablo: 6.5	Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları.....62
Tablo: 6.6	Optimumun %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları.....63
Tablo: 7	Çeşitli Katyonlar İçin Kil Minerallerin Atterberg Limitleri.....68
Tablo: 8	Şişme Parametrelerinin Zeminlerin İndeks Özellikleriyle İlişkisi.....69
Tablo: 9.1	Hamzadere Barajı Temel Zeminin ve Dolgu Malzemelerin Endeks Özellikleri.....72
Tablo: 9.2	Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerin Fiziksel Özellikleri..... 72
Tablo: 9.3	Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerinin Konsolidasyon Deney Sonuçları.....73
Tablo: 9.4	Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerinin Gerilme Değerleri.....73

ÖZET

Toprak Dolgu Barajlar gibi önemli ve büyük yatırım gerektiren yapılarda ön incelemenin gereği, hem ekonomi hem de güvenlik açısından açıktır. Baraj yerinin yanlış seçimi ve/veya inşaat aşamasında kil çekirdeğin uygun şekilde oluşturulmaması pek çok mühendislik problemi yaratmaktadır. Bu problemler inşaat sırasında ve hatta tüm yapı ömrü boyunca etkili olabilmektedir. Bunların önceden tespit edilmesi arazi ve laboratuvar çalışmalarının birlikte yapılması ile mümkündür. Bu çalışmada, homojen toprak dolgu tipinde tasarlanan Hamzadere Barajı'nın jeolojisi detaylı olarak incelenmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilen mühendislik jeolojisi verilerinin yardımıyla baraj temelinin zemin şartları ve depremselliği, tabaka, kıvrım ve/veya fayların mevcudiyeti, yeraltı su seviyesi ve hareketleri belirlenmiştir. Baraj gövdesini oluşturacak dolgu malzemesinin geoteknik açıdan uygunluğu yapılan çeşitli deneylerle araştırılmıştır.



SUMMARY

Feasibility analyses are clearly needed for the sake of economy as well as safety in important and large investment-requiring earthfill dams. The wrong decision for the location of the dam and/or the improper construction of the clay core may cause many engineering problems that could prevail during its construction, and even through its whole functional life. The pre-evaluation of such problems is possible by conducting in-situ and laboratory research in close collaboration. In this study the geology of the homogeneous earthfill Hamzadere Dam was investigated in detail. The engineering geology data obtained from in-situ studies was utilized in determining the various characteristic of the site: the conditions and seismicity; the existence of layers, folds and/or faults; and the ground water level and its movements. The geotechnical specifications of the fill material to be used for the construction of the dam body was determined through laboratory tests.



1. GİRİŞ

Araştırma konusu olarak seçilen Hamzadere Barajı Edirne İli İpsala İlçesi'nin 29 km. güneyinde Koyuntepe Köyü'nün doğusunda yer almaktadır (Şekil 1).

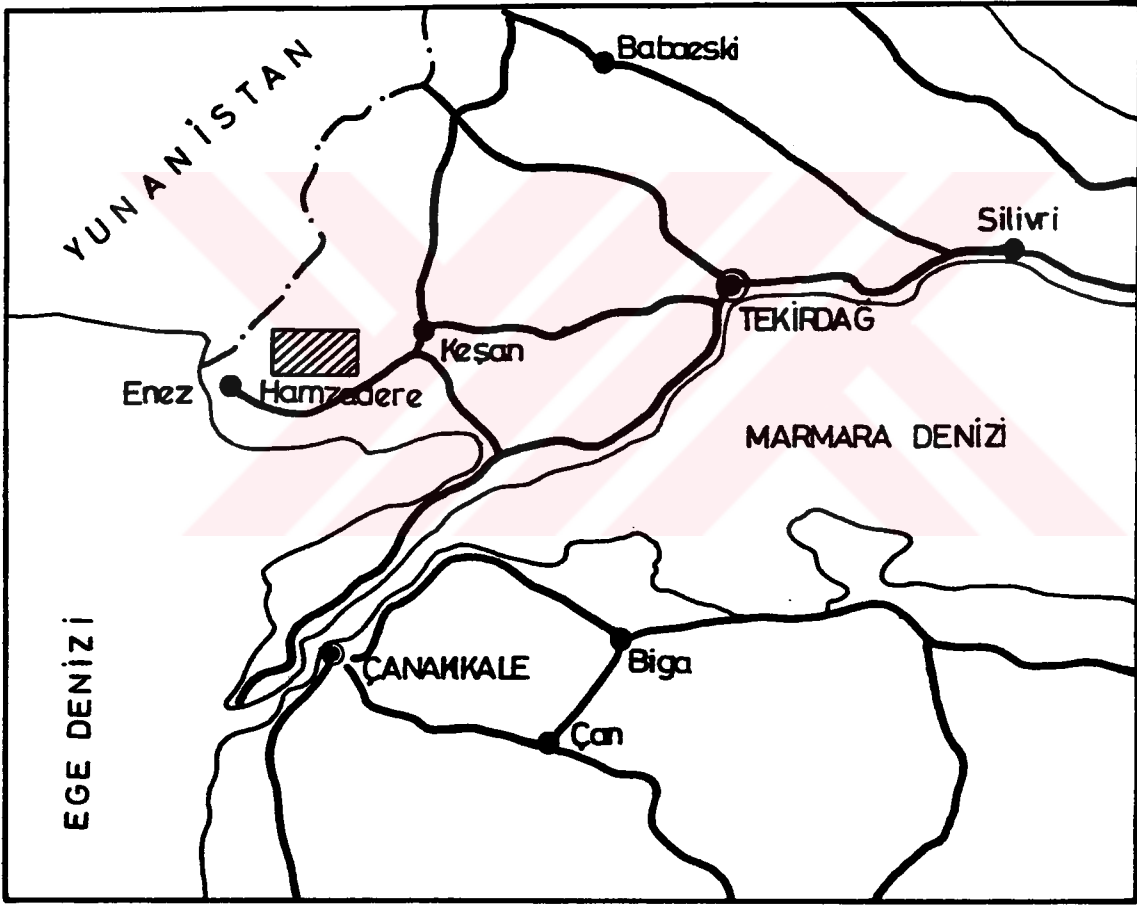
Hamzadere ve Koyuntepe tesislerinin yapımı birlikte düşünülmüş olup, Koyuntepe tesisi (Depolaması) Hamzadere Barajı'nın yedek su kaynağı olacaktır. Hamzadere Barajı, sulama ve taşkın koruma amaçlıdır. Herşeyden önce tarım alanlarının zamanında ve yeterli sulanmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. Bu doğrultuda Aşağı İpsala ve Keşanaltı Ovaları'nda, çok büyük ölçekte sulu tarımı ve ürün eldesinde verim artışını hedeflemektedir.

Hamzadere Rezervuarı'nın ana su kaynağı olarak Meriç Nehri'nden istifade edilecektir. Bunun yanında su temini bakımından düşünülen yardımcı kaynak, baraja adını veren Hamzadere'dir. Taşkınlar bakımından önemli olanları da Muzalı, Doğanca ve Basamaklar Dereleri'dir.

Meriç Nehri'nin debisi haziran-ekim aylarında ihtiyaca cevap veremediğinden yörenin bu aylardaki 130,24 hm³'lük su ihtiyacı; rezervuara aralık-nisan aylarında Meriç Nehri'nden pompajla 127,85 hm³ ve rezervuarın kendi yağış alanlarından toplanan 18,63 hm³ suyun depolanmasıyla karşılanacaktır. Bu su ile her yıl Cimra, Pamuklu, Telmata, Kızkapan ve Keşanaltı Ovaları'nda 13.019 ha. taban arazi ile 6.325 ha. yamaç arazilerinin sulanması amaçlanmaktadır.






Hamzadere Barajı, ekonomik oluşu ve dolguda kullanılabilir zeminin mevcudiyeti sebebiyle D.S.İ. tarafından baraj tipi "Homojen Toprak Dolgu" seçilmiştir (D.S.İ., 1993). Dolgu çalışmaları için iklim koşulları gözönüne alındığında en uygun aylar mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarıdır. İnşaat esnasında dolgunun üzerine binen dolgu ağırlığının bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan konsolidasyon oturmalarını zamana bağlı olarak yaymak için baraj gövde inşaatı 5-6 yıllık bir sürede kademeli yapılmasına karar verilmiştir.

Toprak Dolgu Barajlarının projelendirilmesinde kapsamlı arazi ve laboratuvar araştırmalarına duyulan gereksinimin ortaya konulmasını amaçlayan bu tez çalışmasında, Hamzadere Barajı'nın mühendislik jeolojisine değinilmekte, dolgu sahalarından alınan malzemeler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar anlatılmakta ve sonuçları belirtilmektedir.



İŞARETLER

ÖLÇEK: 1/700 000

- | | | |
|---|--|---|
|  İYİ EVSARLI YOL |  İL MERKEZİ |  Hamzadere Baraj alanı |
|  İLÇE MERKEZİ |  Çalışma sahası | |

Şekil: 1 İnceleme Alanının Mevki Haritası

2. İNCELEME ALANI

2.1. Yeri ve Ulaşımı

Hamzadere-Koyuntepe Barajı Edirne İli İpsala İlçesi sınırları içersinde yer almaktadır. Bunlar Trakya'nın güneybatısında 26°07' ve 26°36' doğu boylamları ile 40°44' ve 40°51' kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır (Ek 1).

Hamzadere Baraj sahası İpsala İlçesi'nin 29.00 km güneybatısında Koyuntepe köyünün 3.00 km güneydoğusunda Hisar Burnu ile Kocaballı Sırtı arasında yer almaktadır.

Koyuntepe Depolama sahası İpsala İlçesi'nin 28.00 km güneybatısında Koyuntepe köyünün 2.00 km kuzeybatısında bulunan Sığırcık Burnu ile Yeniagaç Sırtı arasında yer almaktadır.

İnceleme alanına Keşan-Enez, İpsala-Yenikarpuzlu'nun devlet yolları ve diğer köy yolları ile yaz kış ulaşılabilir.

2.2. Topoğrafya

İnceleme alanı mevcut litolojik koşullardan kaynaklanan az engebeli bir topoğrafyada yer almaktadır.

2.2.1. Dağlar

İnceleme alanı kuzeyden ve doğudan (100-300) m'lik tepelerle güneyden ise 423 m yüksekliğindeki Hisarlı Dağları ile 676 m yüksekliğinde Koru Dağları ile çevrilidir.

2.2.2. Ovalar

İnceleme alanında en önemli ovalar Cimra, Pamuklu, Telmata, Kızkapan ve Keşanaltı Ovaları'dır. Bu ovaların kotları (0.20-12.00) m. arasında değişmektedir.

2.2.3. Akarsular

İnceleme alanının su temini bakımından en büyük deresi Hamzadere'dir. Taşkınlar bakımından Muzalı, Doğanca ve Basamaklar Dereleri'dir.

2.2.4. Goller

İnceleme alanında yer alan goller; Gala, Pamuklu ve Sığırcılı Golleridir. Yağışlı kış ve ilkbahar mevsimlerinde bu goller birleşmektedir. Bu gollerin fazla sularını drene etmek için Gala Gölü ayağı drenaj kanalı ile Meriç Nehri'ne ve Taşyarma Kanalları ile Taşaltı Gölü'ne ve oradan da Dalyan Gölü ile Ege Denizi'ne bağlanmaktadır.

2.3. Bitki Örtüsü

Bitki örtüsü; yöredeki sıcaklık, ışık miktarı, rüzgar, toprak, röliyef ile yakından ilgilidir.

İnceleme alanında genellikle çeltik tarımı önemli yer tutmaktadır. Bunun yanında buğdaygil ve baklagil türleri, ayçiçeği, mısır, pancar ve yem bitkileri (yüksek otluk ayrığı, sakal otu, adi fiğ, yem kanyaşı, domuz ayrığı, köpek dişi, yonca) türleri yaygındır.

Dağların yamaçlarında Meşe ve Çam ağacı toplulukları yer almaktadır. Dağlık arazinin çevresindeki platolarda da dağınık meşe topluluklarının yanında yer yer gürgen toplulukları da az olmak üzere mevcuttur. Bunların yanında inceleme alanı çevresinde Kermez Meşesi, Katran Ardırıcı, Akçakesme, Karaağaç ve Karaçalı türlerine de rastlanmaktadır.

2.4. İklim

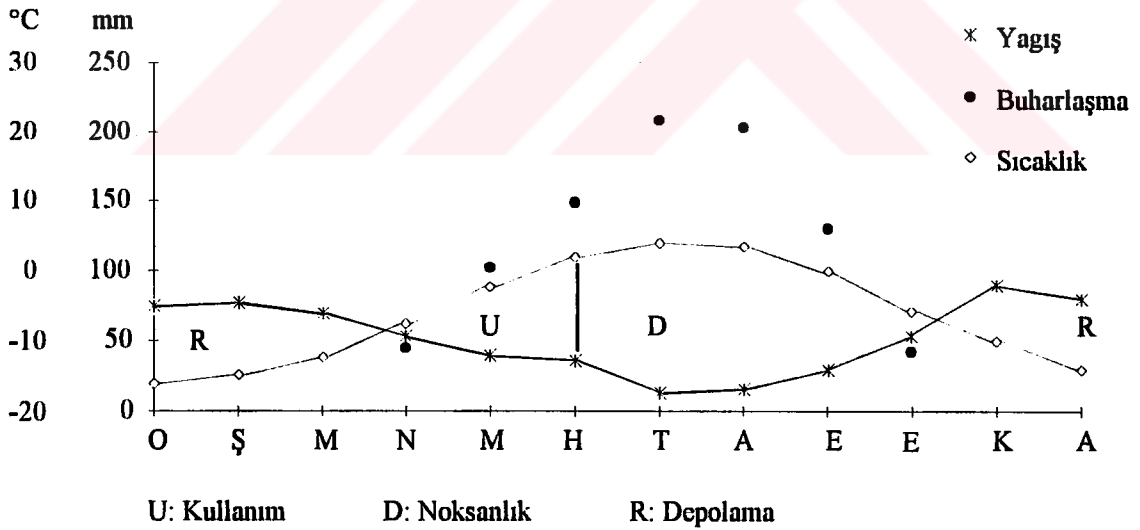
İnceleme alanının güney ve güney doğusu kısmen dağlarla çevrili olmasına rağmen deniz tesiri iklim üzerine etki etmektedir. Bunda, Meriç Nehri'nin geniş vadisinin de rolü vardır. İnceleme alanının batı ve kuzeyi tamamen açık olduğundan kuzey ve batı rüzgarları etkili olmaktadır.

İnceleme alanı mevcut iklim rasatları (D.M.İ., 1994) değerlendirildiğinde W. Koppen'in iklim tasnifine göre "sıcak-ılık-yağmurlu" iklimler grubunun "sıcak-yazı kurak" derecesi ile karakterize edilebilirler.

Tablo 1. İnceleme Alanı İklim Tablosu

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	3.8	5.1	7.5	12.5	17.7	21.9	23.9	23.4	17.9	14.2	9.9	6.0
Aylık Net Buharlaşma (mm)	-	-	-	44.9	102.0	148.7	207.7	203.1	129.2	41.9	-	-
Nisbi Nem (%)	83	84	82	76	72	66	64	67	74	78	85	86
Aylık Ortalama Yağışlar (mm)	74.7	77.0	69.7	52.7	39.0	35.8	13.6	15.1	28.9	53.6	89.2	80

İnceleme alanında yazlar kurak ve sıcak; kışlar ise serin ve yağışlı geçer. C.W. Thorntwaite'in iklim tasnifinde kullanıldığı belli başlı iklim faktörlerinden yağış ve sıcaklık dikkate alındığından (Şekil 2.) inceleme alanı "kurak-yarı nemli; ikinci derecede mezotermal" iklim tipine girer.



Şekil 2. Xeric Nem Rejiminde Toprak-Su Dengesi ve İklim Verileri.

Genel olarak yukarıda iki tasnif sistemine göre kısaca tanımlanan inceleme alanı aşağıdaki ayrıntıları içerir:

Yıllık yağışın;

Kış	% 35.18'i,
Sonbahar	% 35.40'ı,
İlkbahar	% 20.26'sı,
Yaz ise	% 9.15'ini almaktadır.

İnceleme alanında yüzey akışın büyük bir kısmı sağanak karakterdeki yağışlarla meydana gelmektedir. Tepelik, fizyografik fazla meyilli karakterli yerlerde yüzey akış miktarı fazladır. Peneplen araziler üzerinde orta meyilli yerlerde ise yüzey akış miktarı düşük bulunmaktadır.

İnceleme alanındaki bitkisel topraklarda su kaybı yüzey akıştan başka, buharlaşma ve terleme olayları ile de meydana gelmektedir.

Bu surette mayıs, haziran, temmuz ve ağustos aylarında bitkilerin gelişim devresinin başlangıcındaki su ihtiyacının karşılanması gerekmektedir.



3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Araştırma alanının bulunduğu bölge ve civarı bugüne kadar değişik amaçlı birçok araştırmaya konu olmuştur.

Birçok araştırmacı (T.P.A.O., M.T.A., D.S.İ. gibi kurum ve kuruluşlarca) bölgede çeşitli araştırmalar (uranyum, petrol, kömür, su, endüstriyel hammaddeler gibi) yapmışlardır.

Önceki çalışmaların kronolojik sıralanım dahilinde önemlileri;

Ternek (1949), yapmış olduğu çalışmada Keşan-Enez arasında yüzeyleyen kayaların jeolojisi ve stratigrafisine değinmektedir.

Dağdelen (1962), Saros Körfezi, Keşan ve Korudağ çevresindeki volkanitlerin konumlarına değinerek; volkanitlerin faylar boyunca çıktığını, yüzeyde kütleler şeklinde görülen bu volkanitlerin sediman örtüsü altında birbirleriyle ilişkili olabileceğini belirtmiştir.

İlhan (1964), Güneybatı Trakya Havzası'nda Orta Eosen yaşta resifal kökenli kireçtaşlarının yer yer mercek, yer yer de bir seri özelliği taşıdığını, genelde bütünüyle devamlı bir seri olduğunu, mercek konumundaki yüzeylemelerinin devamlı serinin faylarla yüzeye çıkan birer parçaları olduğunu belirtmiştir.

Gökçen (1967, 1971, 1972), Keşan yöresindeki Eosen-Oligosen yaşlı Keşan formasyonunun petrografik ve sedimentolojik özelliklerine değinmektedir.

Şatır (1970), Trakya Havzası Tersiyer volkanizmasına değinerek, volkanizmanın Eosen'de başladığını ve Pliyosen sonuna kadar devam ettiğini; riyolit, andezit, bazalt ve tüflerden oluştuğunu belirtmiştir.

Saltık ve Saka (1971), Güneybatı Trakya ve Gelibolu Yarımadası'nda, petrol olanaklarını incelemek için yaptıkları çalışmalarda Alt Eosen yaşta Tayfun formasyonunun çökme ortamına değinmişlerdir. Bunun yanında Oligosen yaştaki Yenimuhacir formasyonunun denize açık kıyı platform ortamında çökeldiğini belirtmektedirler.

Kellog (1973), Güneybatı ve Gelibolu yarımadasında arazi çalışmalarının az, hava fotoğraflarının yoğun olduğu petrole yönelik bir çalışma yapmıştır.

Lebküchner (1974), yapmış olduğu çalışmada; Keşan'da kilttaşları ve miltaşlarının egemen olduğu kalın çökellere "Alt Oligosen yaşlı Muhacir Formasyonu" ve bu çökellerin üzerine gelen linyit arakatlı kumtaşı, miltaşları ve kilttaşlarının oluşturduğu formasyonu da "Alt Oligosen, kısmen de Üst Oligosen yaşlı Linyitli Kumtaşı Formasyonu" ve en üst seviyedeki az yuvarlanmış, değişik tane

boyunda ve çeşitli tür kaya kırıntıları içeren formasyona da "Çakıllı Formasyonu" adını vermiştir.

Önem (1974), yöre volkanitlerinin dasit, andezit ve bunların türevleri olan tüflerden oluştuğunu, bunların deniz gibi akıntıları ile sil ve dayk olmak üzere iki şekilde meydana geldiklerini; meydana gelen bu sil ve daykların ise Üst Eosen'den genç, Miyosen'den daha yaşlı olduklarını, genelde bütün volkanitlerin oluşumuna Saros Körfezi boyunca geçen fayın etken olduğunu ve de Saros Körfezi'nin bir graben olduğunu volkanitlerin Çanakkale Boğazı ve Saros Körfezi'nden çıktıklarını belirtmiştir.

Doust ve Arıkan (1974)'a göre, Tersiyer çökelleri bölgede Orta Eosen'de başladığı, Trakya Havzası'nın Orta Eosen'de Batı Güneybatı, Doğu Kuzeydoğu doğrultusunda oluştuğu, kuzey ve güneyde fay dizileri ile sınırlandığını, Eosen sonlarına doğru Ganos Dağları boyunca aşağıya doğru kayma hareketinin durduğunu, havza merkezinin Oligosen ve Miyosen'de kuzeye doğru kaymaya yol açtığını belirtmektedirler.

Saltık (1975), Malkara-Tekirdağ çevresinde yaptığı çalışmada, bir takım çökme yapılarına dayanarak Eosen-Oligosen yaşlı Keşan formasyonunun bir türbidit ortamında oluştuğunu ileri sürmektedir.

Şenol (1980), Keşan yöresinde yaptığı çalışmada Oligosen yaşlı Yenimuhacir formasyonunun delta ilerisinde, Danişmen formasyonunun delta önü ve delta üstünde çökeldiğini belirtmektedir.

Öngören ve Sırman (1985), Hamzadere ve Koyuntepe Barajı ile ilgili D.S.İ.'nin 1968 yılında başlanarak devam eden çalışmalarda birleştirerek Aşağı İpsala Projesi Planlama Raporu haline getirmişlerdir.

Devlet Su İşleri (1993), Aşağı İpsala Projesi-Hamzadere ve Koyuntepe Barajlarının teknik yapılabilirliği, temel zeminleri ve inşaat süreleri ile ilgili D.S.İ. Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi'nin görüşleri belirtilmektedir.

Aksu (1994), Edirne sınırları içinde yapımı planlanan Hamzadere ve Koyuntepe Barajlarının inşa yerlerini içine alan geniş bir inceleme alanında, yaptığı deprem risk analiz çalışması sonucunda 1/100.000 ölçekli sismotektonik haritasını hazırlamıştır.

4. GENEL JEOLJİ

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan birimler alttan üste doğru Kırklareli Kireçtaşı, Korudağ, Keşan, Yenimuhacir, Danişmen Formasyonları ile Hisarlıdağ Volkanitleri, Conkbayırı Formasyonu içeren istif üstte alüvyon ile son bulmaktadır (Şekil 3.1).

İnceleme alanında jeolojik konumun saptanmasında, Sümengen v.d. (1987) hazırlamış olduğu 1:100.000 ölçekli jeoloji haritasından yararlanılmıştır (Şekil 3.2).

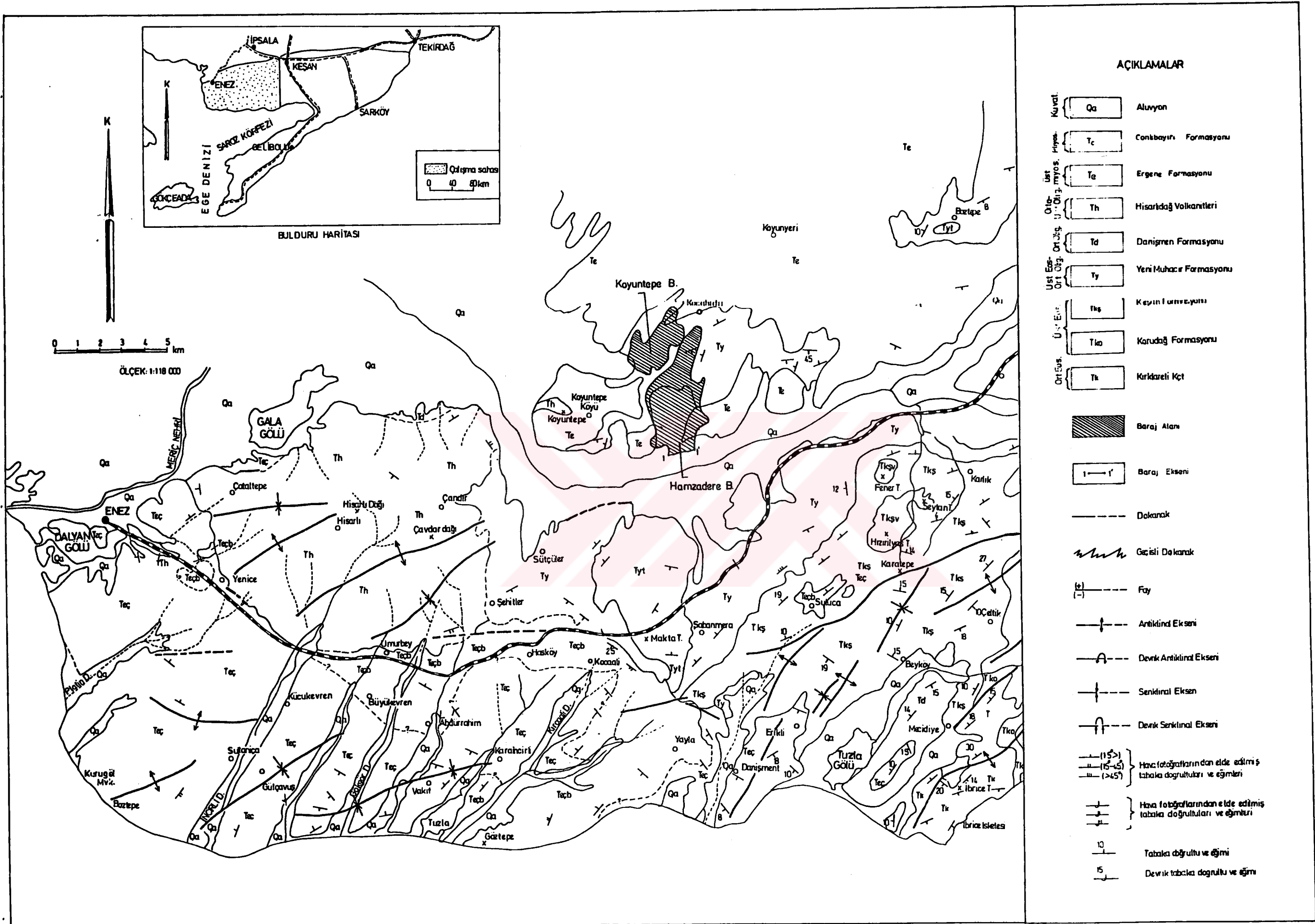
Genelleştirilmiş stratigrafik kesitte, kalınlıkları ve bunlara ait özellikleri ile verilen bu birimlerin ayrıntılı açıklamaları ise;

Kırklareli Kireçtaşı Formasyonu (Tk)

Çoğunlukla kireçtaşından yer yer kumtaşı, kiltası ve çok az çakıltası katkısından oluşmuştur. Orta-Üst Eosen yaşlı bu birim tabandaki temel üzerine uyumsuz olarak yayılmaktadır. Kireçtaşları, yanal ve düşey olarak marn ve kumtaşlarına geçmektedir. Resifal özelliğin net olarak gelişemediği formasyondaki kaya türlerinde belirgin sedimenter yapılar gözlenmemektedir. En altaki kumtaşlarında belirgin olmayan derecelenme, çok az ve küçük boyutlu taban yapıları, akıntı yapıları gözlenmektedir. Çakıltalarının çakıllarında kiremitvari yapılar, pek büyük olmayan çaprazlar belirgin olmasa da mevcuttur. Üst bölümdeki sarı, beyaz renkli şeyl ve kiltalarında belirsiz derecelenme ve çok küçük rıpıllar ve küçük boyutlu taban yapıları görülmektedir. Sığ deniz çökelleri olarak oluşan Kırklareli Kireçtaşı biriminin kalınlıkları yörede 0-200 m arasında değişmektedir.

Korudağ Formasyonu (Tko)

Kumtaşı, kiltası ardalanmasıyla birlikte bunlar arasında yer alan çakıltalarından oluşmaktadır. Formasyon, altındaki birimlerle uyumlu ve dereceli geçiş göstermektedir. Birimi oluşturan kumtaşı ve kiltası ile mercek şekilli çakıltalarının birbirlerine göre oranları farklı özellikler göstermekte olup yanal olarak içerisinde kaybolmaktadır. Denizaltı dış yelpazesi sonucu oluşmuş Üst Eosen yaşlı bu formasyonun kalınlıkları 250-1200 m arasında değişmektedir.



Şekil 3.2 İnceleme Alanı Ve Çevresini Gösterir Jeolojik Harita

Keşan Formasyonu (Tkş)

Kumtaşı, kıltaşı ardalanmasıyla, bunların arasında yer alan merccek şeklinde çakıltaşı ve volkanik katkıdan oluşan bu birim, Kırklareli Kireçtaşı çökeli mi sonrası denizin derinleşmesiyle Korudağ formasyonu üzerine çökelmişlerdir.

Denizaltı yelpaze dönemi özellikleri görülür. Genel kalınlık 400-1500 m arasında değişmektedir. Keşan formasyonun çeşitli seviyelerinde farklı kalınlıklar sunan andezit, riyolit ve bunların piroklastiklerinden oluşan volkanik seviyeleri bulunmaktadır. Üst Eosen yaşlı Keşan formasyonu, gerek altındaki gerekse üstündeki birimlerle dereceli geçiş göstermektedir.

Yenimuhacir Formasyonu (Ty)

Gri, koyu gri, mavimsi gri, yeşilimsi gri renklerde kıltaşı, marn ve kumtaşlarından oluşan Yenimuhacir Formasyonu Üst Eosen-Orta Oligosen yaşlı olup Keşan formasyonunun üzerine tedrici geçiş yapmaktadır ve üzerine gelen formasyon ile de dokanağı geçişlidir. Kalınlıkları 300-600m. arasında değişmektedir. Bu formasyon içerisinde yer yer kümelenen karbonatlı kumtaşları, Teslim kumtaşı üyesi olarak adlandırılmaktadır. Teslim kumtaşı üyesi, formasyon içerisinde yer alan kahverengi ve gri renklerde karbonatlı kumtaşlarından oluşmuştur. Birim Yenimuhacir formasyonu içerisinde bir seviye olarak mercceklenmektedir. Yanal ve düşey yöndeki dokanaklardaki geçişler mevcuttur. Yenimuhacir formasyonun delta ilerisi, delta yamacı çökelleri olarak meydana gelmişlerdir.

Danişmen Formasyonu (Td)

Aralarında çakıltaşı bantları ve çoğu kez kalın olan kıltaşı seviyeleri ile işletilen kömür damarları içeren kumtaşlarından oluşmaktadır. Altındaki formasyon ile dereceli bir geçiş mevcuttur. Gerek kumtaşları, gerekse çakıltaşları merccek şeklinde yanal olarak incelmekte ve kıltaşları içinde kaybolmaktadır. Kıltaşlarının ve kumtaşlarının çeşitli seviyeleri linyit içermektedir. Kıltaşları içerisindeki kömürler daha ekonomiktir. Çeşitli kalınlıkta olan bu kömürlerin en kalın olduğu seviyeler 110 cm'e kadar çıkmaktadır. Orta Oligosen yaşlı bu formasyonun kalınlığı 200-250 m arasındadır. Formasyonun alt bölümleri delta, üst bölümleri ise örgülü akarsu dolguları ile, linyit ise delta ovasında gelişen bataklıklarda oluşmuştur.

Hisarlıdağ Volkanitleri (Th)

Danişmen Formasyonu üzerinde yer alan bu birimin allta riyodasitik tüfler, andezit, altere andezitik tüfler, kırmızımsı ve yeşil renkte lahar akma ile oluşmuş tüflerle başlayıp üste doğru sırasıyla beyaz riyolitik tüf, riyodasit, andezit, bazalt ve bazalt aglomerası, aglomera ve ignimbritlerden oluşmaktadır. Hisarlıdağ volkanitleri Danişmen formasyonuna ait kumtaşları ile geçişli bir dokanağa sahiptir. Üste doğru volkanik kayaların yoğunluğu artmaktadır. Orta Oligosen ve Üst Oligosen yaşlı bu volkanitlerin kalınlıkları 400-800 m arasındadır. Hisarlıdağ volkanitleri içersinde aglomera ve lav akıntıları biçiminde oluşmuş yersel yüzeylemeler şeklinde bazalt birimleri mevcuttur. Bazalt mostraları çoğunlukla siyah, kimi yerlerde sarımsı kahverenkli, yer yer masif, yer yer dayanımlı ve bol eklemli; yer yer gaz boşluklu lavlar, yer yer de kalsit içerikli aglomera şeklindedir. Bu birimler içersinde siller ve dayklar görülmektedir. Lavlar kalsitleşme içeren olivin ve ojit kristalli, kısmen intersertal, yer yer de fluidal tekstürlü, mikro oluşumlar halinde ojit, olivin ve magnetit hamurlu, az camsı gereçlerdir. Jeokimyasal bileşimlerine göre alkali özellik taşımaktadır. Üst Miyosen yaşlı bazalt yüzeylemeleri taş ocağı olarak işletilmektedirler.

Ergene Formasyonu (Teç)

Çoğunlukla beyaz, sarımsı renkli, çapraz katmanlı kil ve çakıl mercekli gevşek tutturulmuş kumtaşları ile daha az oranda kil ve çakıl mercekli kırmızı renkli çamurtaşlarından oluşmaktadır. Birim içinde çoğunlukla alltaki ince kumtaşları ile üzerindeki çamurtaşları düşey ve yanal yönde birbirleri ile geçiş gösterirler. Birim altında yer alan bu beyaz renkli, ince kumtaşlarında çapraz katmanlaşma yaygındır. Bu formasyon içersindeki taneler yuvarlak olup bol kuvars içerirler. Birimde laminalanma, tabakalanma, düzlemsel ve teknemsel çapraz tabakalanma, dereceli tabakalanma mevcuttur. Kırmızı renkli çamurtaşları, yer yer kum ve çakıl içeriklidir. Bu çamurtaşlarında, bazı zaman karbonat topakçıklarının yanında şekilsiz karbonatlarda bulunmaktadır. Üst Miyosen yaşlı bu formasyonun kalınlığı 1200 m'ye kadar ulaşmaktadır. Menderesli akarsu çökelleri olarak oluşmuşlardır.

Conkbayırı Formasyonu (Tc)

Kırmızı, kahve, açık kahvemsi sarı, yer yer kirli beyaz renkli, yer yer tabakalı ve çapraz katmanlı, kötü boylanmalı, kırmızımsı kil-silt hamurlu, az tutturulmuş, çoğunlukla kuvars, nadiren şist-gneys, metagranit ve volkanik kırıntılardan oluşmuştur. Birim genelde sırt ve tepelerde yaygın olarak görülür. Birim içinde yer yer silisleşmiş ağaç parçaları gözlenir. Conkbayırı formasyonu, kendinden yaşlı tüm birimler üzerine açısız uyumsuz gelmekte olup kalınlığı 50 m. kadardır. Çakıltaşları, muhtemelen moloz akması sonucu depolanmışlardır. Kum mercekleri akarsularla taşınıp birikmişlerdir. Pliyosen yaşlı bu birim, Ergene Formasyonu ve eski birimler üzerine fluvial ortamda alüvyon yelpazesi çökelleri olarak oluşmuştur.

Alüvyon (Qa)

Kil boyutundan çakıl boyutuna kadar çeşitli materyal içeren alüvyonlar genellikle kum, kumlu kil, çakıllı kum, çakıl, kil ve mil'den oluşmaktadırlar. Çoğunlukla kül renkli, yer yer sarımsı kül renkli olan alüvyonların, ince taneli gereç bulduran yüzeylerinde; kimi yerlerde laminalanma, kimi yerde de rıplı görülmektedir. Kuvaterner yaşlı alüvyon çökellerinin kalınlıkları 10-20 m arası değişmektedir. Oluşumları göl ve akarsu çökellerinin birlikte depolanmalarıyla meydana gelmişlerdir.

4.1. Yapısal Jeoloji

Büyük bir olasılıkla havzada sedimantasyon, güneybatıdan kuzey ve kuzeydoğu yönünde gelişen bir çökelim eksenine ile başlamıştır. Üst Eosen sonlarında ince ve kaba taneli klastiklerden oluşan fliş türü kalın bir istif şeklinde çökelmiştir. Mamafih çökel istifinin karakteri her yerde aynı değildir. Alt Oligosenin sonlarına doğru transgresif olgunlaşma dönemi sona ermiş ve havzada genel bir regresyonel çökme ortamı başlamıştır. Bu ortama paralel olarak havzada daha önce hakim hızlı çökme ve çökme de sona ermiştir. Regresyonel dönemde havzada önemli çökme ortamları gölsel ve kısmen denizeldir. Bu durum Oligosen sonlarına kadar devam etmiştir. Çevredeki tektonizmanın özelliğini yitirmesi havzanın kaba klastiklerle beslenmesini önlemiş ve yine bu dönemde volkanizma da etkinliğini yitirmiştir.

Üst Oligosen sonları ile Alt Miyosen başlarında havza bütünü ile yükselmiş ve etkin bir aşınma fazı başlamıştır. Bu aşınma sonucu sedimanter örtünün önemli bir

kısmı yok olmuştur. Orta Miyosen başlarında şiddetli bir tektonizma havzayı etkisi altına almıştır. Özellikle havzanın kenarları bu tektonizmadan çok daha fazla etkilenmiş ve geniş çapta kıvrılma ve kırılmalar olmuştur. Havzanın güneybatısında doğrultusu SW-NE olan bir tektonik zon olmuştur. Muhtemel temeldeki eski bir fay boyunca oluşan bu tektonik zon sağ atımlı Kuzey Anadolu Fay sisteminin buradaki devamını oluşturur.

Orta Miyosen tektonizması havza içine dolaylı şekilde yansiyarak havza içi sedimanter tektonizması oluşturmuştur. Üst Miyosen sonlarında havzanın büyük bir kesimi karasal ortama dönüşmüştür. Bu ortamın ürünü olarak rejyonel bir diskordans ile bütün genç Miyosen birimlerini örten ve konglomera, kıltaşı ve kömürlerden oluşan kalın bir istif çökelmiştir.

Pliyosen ve daha sonrası genç tektonik hareketlerle havza bugünkü görünümünü kazanmıştır.

4.1.1. Tabakalanma

Kıltaşı-kumtaşı serisi üyelerinin tabaka kalınlıkları 1-10 cm arasında değişmekte olup NE-SW doğrultulu 9° - 11° NW'ya eğimlidir.

4.1.2. Kıvrımlanma

İnceleme alanında yapıyı etkileyecek bir kıvrımlanmaya rastlanmamıştır.

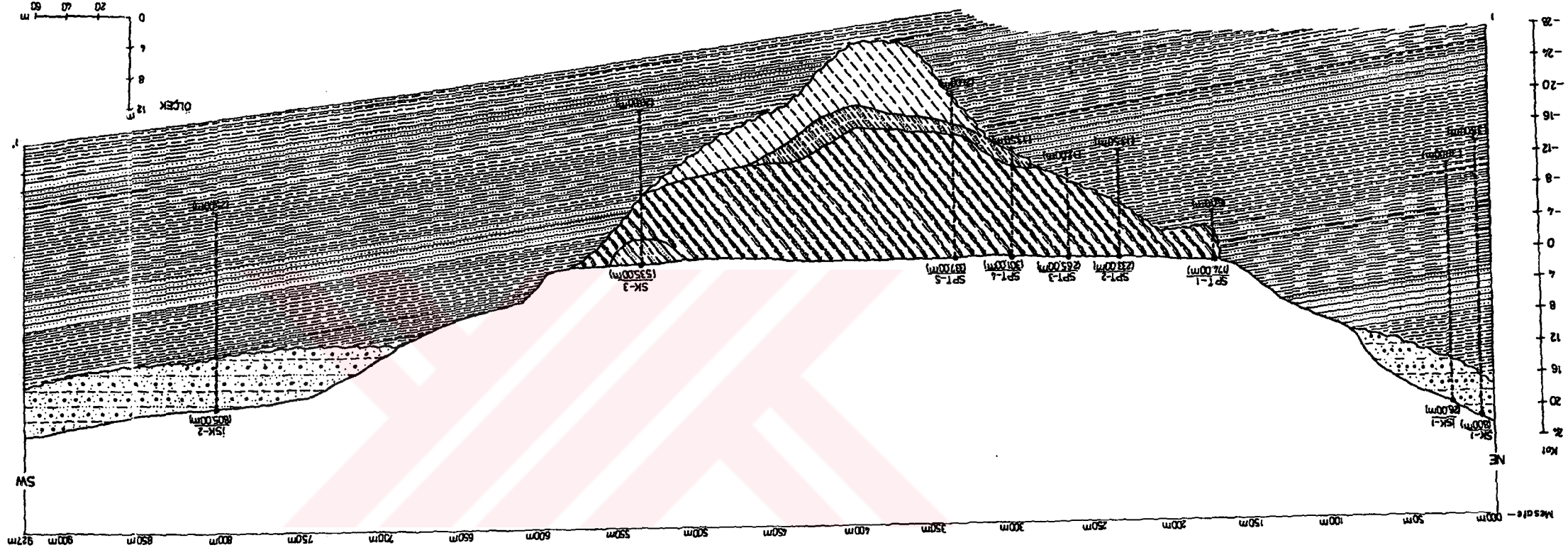
4.1.3. Eklem Sistemleri

İnceleme alanında göze çarpan iki eklem sistemi mevcuttur. Bunlardan birincisi NE-SW doğrultulu olup 78° NW'ye eğimli eklem sistemi diğeri de bu sistemi kesen düşey eklem sistemidir.

4.1.4. Faylanma

İnceleme alanında herhangi bir faylanma mevcut değildir.

Şekil 3.3 Hamzadere Baraj Alanının Jeolojisi Gösterir Zemin Kesit



AÇIKLAMALAR

Corbeyin For (F1) (0.05m)	
S4-SC	
CH	
SC-CI	
CI	
Silttaşı	
Kumtaşı	
Kilitaşı	
Formasyon dolanığı	
Sanda	

Yerel Jeolojik For (0.1005m)

Alüvyon

Kuvaterner

Conkbayırı Formasyonu (Tc)

Pliyosen yaşlı bu birim Hamzadere ve Koyuntepe Baraj alanında genellikle yamaçlarda üst kesimlerde yaygın bir şekilde bulunmakta vediger formasyonları diskordan örten az tutturulmuş kum, kil, silt ve az çakıldan oluşmaktadır.

Alüvyon

Hamzadere ve Koyuntepe Baraj alanında alüvyon bataklık bir zemin niteliğindedir.

İnşası planlanan Hamzadere Baraj alanında çok geniş yayılım gösterir. Bu zeminde yeraltısuyu satha çok yakındır. Yüzeyden yaklaşık 1.00 m'si saz bitkilerinden oluşan kısım organik özellikte gri ve siyah renktedir.

Bu zemin, Koyuntepe Baraj sahasında;

CH (inorganik kil, çok plastik, yağlı killer) ile

SM (siltli kum, kötü dereceli kum, silt karışımları) şeklindedir.

Hamzadere Baraj sahasında;

MH (inorganik silt, kumlu silt)

CH (inorganik kil, çok plastik yağlı killer)

SC-CL (killi kum ile orta plastik kil karışımları)

CL (inorganik kil, çakıllı-kumlu kil, siltli kil) şeklinde özellik göstermektedir.

4.3. Duraylılık

Hamzadere Baraj yerinde, yaklaşık 400 m. genişliğinde 24 m. kalınlığa erişen bataklık karakterde alüvyon zemin mevcuttur. Bunun altında ve yamaçlarda temel kaya niteliğinde Oligosen yaşlı Yenimuhacir birimi bulunmaktadır. Alüvyon zeminde emniyet gerilmeleri düşük ve farklı özellikte oluşu taşıma yönünden bir sorun olmaktadır. Barajın emniyeti açısından gövdenin oturacağı yerdeki alüvyon zemin, açık kazı ile tamamen kaldırılarak gövde dolgusunun temel kayası üzerine oturtulması esas alınmıştır. Yamaçlarda örtü şeklinde bulunan Pliyosen yaşlı Conkbayırı birimleri de, su ile temas halinde küçük boyutlarda akmalar beklenebilmektedir.

4.4. Yeraltı Suyu

Hamzadere Baraj sahasında sol ve sağ yamaçta açılan sondaj kuyularında yeraltı su seviyesi yüzeyden 6.5 m. aşağıda olup yeraltı su tablası Hamzadere'ye doğru meyillidir.

Koyuntepe Baraj sahasında ise sol yamaçta açılan sondaj kuyusunda yüzeyden 17.5 m. aşağıda ve sağ yamaçta yüzeyden 5 m. aşağıda yeraltı su seviyeleri ölçülmüştür.

Her iki baraj gövdesinin inşa yerlerinin tabanlarında ise yeraltı su seviyesi aylara göre değişkenlik göstermekle beraber hiç bir zaman 2 m.'nin altına inmemekte ve yeraltı suyu baraj yerinde dereyi beslemektedir. Rezervuarın su ile dolması durumunda herhangi bir kaçak su problemi ile karşılaşılacaktır.

4.5. Deprem

Ekonomik önemi haiz Hamzadere ve Koyuntepe Barajlarının depreme dayanıklı olarak projelendirilmeleri için kurulması tasarlanan bölge ve civarında tektonik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir.

İnceleme alanı, İmar ve İskan Bakanlığı'nca 1972 yılında yürürlüğe konan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritalarına göre 3. Derece deprem bölgesine girmektedir.

D.S.İ. Jeofizik Etüdler Dairesince, Hamzadere ve Koyuntepe Baraj inşa yerlerini içeren geniş bir inceleme alanında 1900-1990 yılları arasında meydana gelmiş Richter Magnitüdüleri 4 ve 4'ün üzerindeki ($M \geq 4.0$) depremler ile bilinen tektonik unsurların (faylar, bindirmeler v.b.) yerleştirilmesi ile hazırlanan sismotektonik haritası Şekil 4'de verilmektedir.

5. HAMZADERE BARAJI GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

5.1. Teknik Özellikleri

Amacı Sulama-Taşkın Koruma olan Hamzadere Barajı homojen toprak dolgu tipinde inşa edilecektir. Barajın, talvegden yüksekliği 22 m. ve temelden ise 46 m.'dir.

927 m. uzunluğunda, 10 m. genişliğinde krete sahip olan barajın gövde dolgu hacmi 3,74 hm³'dür. Maximum su seviyesi 20 m., minimum su seviyesi 2,50 m. olan baraj göl alanına depolanan maximum su hacmi 123,26 hm³'dür.

Sol sahilde yer alan, karşıdan serbest alışı 84 m. uzunluğunda olan dolusavak 44,86 m³/sn kapasitesindedir. Eşik kret kotu 20.00 m. ve kret uzunluğu 40 m. olan dolusavak II tip havuzlu enerji kırıcı tesise sahiptir. 150 m. uzunluğunda 4.0 x 4.0 m. boyutlu beton kaplamalı, su alma kotu 2.50 m. ve 43,20 m³/sn kapasiteli su yükseltim havuzlu enerji kırıcı tesisi bulunan dipsavak barajın sol sahilinde yer almaktadır.

5.2. Gövde Dolgusu ve Dolgu Malzemeleri

Hamzadere Barajı gövde dolgusu:

Geçirimsiz malzeme:	3.500.000 m ³
Geçirimli malzeme (filtre):	140.000 m ³
Riprap malzemesi:	60.000 m ³
Riprap altı filtre:	40.000 m ³

olmak üzere toplam 3.740.000 m³'tür. Gövde dolgusunun tipik bir enkesiti Şekil 5'de verilmiştir.

Hamzadere Baraj gövde dolgusunda kullanılacak malzemelere ait bilgiler aşağıda verilmektedir.

5.2.1. Kaya Malzemesi Alanı

Yeri: Hamzadere Barajı'nın kuzeybatısında yer alan Koyuntepe Köyü yakınındaki ocaktır.

Yapıya uzaklığı ve yol: Hamzadere Barajı'na 3.000 m stabilize yol.

Malzeme Niteliği: Bazalt

Malzemenin Kullanılma Olanığı: D.S.İ.'nin 1974 yılında Hamzadere Barajı için yapılan malzeme deney sonuçlarına göre ocaktaki kaya malzemesi volkanik kaya olup cinsi bazalttır. Bazaltlar sert siyah renkli ve çatlaklıdır. Çatlaklar kil dolgululu olup 0.60 m ile 2.00 m çapında bloklar halindedir. Kaya malzemesi anroşman, riprap ve kısmen de agrega malzemesi olarak kullanılabilir.

5.2.2. Geçirimli Malzeme Alanı

Yeri: Hamzadere Baraj aks yerinin kuzeybatısında bulunan Sarpdere Köyü Kumocağı

Yapıya uzaklığı ve yol durumu: Hamzadere Baraj aks yerine 24.000 m (2000 m asfalt, 16.000 m stabilize, 6000 m ham yol)

Malzeme Niteliği: SP

Malzeme alanının kullanılma olanağı: Malzeme alanında araştırma amacıyla D.S.İ. tarafından malzeme hendekleri açılmıştır. Açılan bu araştırma hendeklerinden örnekler alınarak D.S.İ. XI. Bölge Müdürlüğü zemin laboratuvarlarında çeşitli deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları şöyledir;

Malzeme alanı Pliyosen istifinin kumlu depozitleridir. Çapraz tabakalı inceden iriye değişen boyutlarda kum içerir. Malzeme içinde çakıl miktarı azdır. Ocaktaki malzemenin granülometrik değerleri,

%4.9 ince malzeme,

%93.7 kum,

%1.4 çakıl,

Malzemenin içindeki kum (0.07-4.76 mm) boyutlarında olup kuvars kumudur. Çakıllar (4.76-9.52 mm) boyutlarında yuvarlak ve yarı köşelidir. İnce malzeme az-orta plastik killi silt özelliğindedir. Sarpdere kum ocağındaki malzeme, filtre ve beton agregası olarak kullanılabilir.

5.2.3. Homojen Dolgu Malzemesi Alanları:

Homojen dolgu (geçirimsiz) malzeme olarak A ve B alanları seçilmiştir.

A Malzemesi Alanı:

Yeri: Baraj aksının sağ yamacında Kocaballı Tepe ile Kocaballı Sırtı arasında kalan alan (Şekil: 6.1).

Yapıya uzaklığı: 300-1000 m.

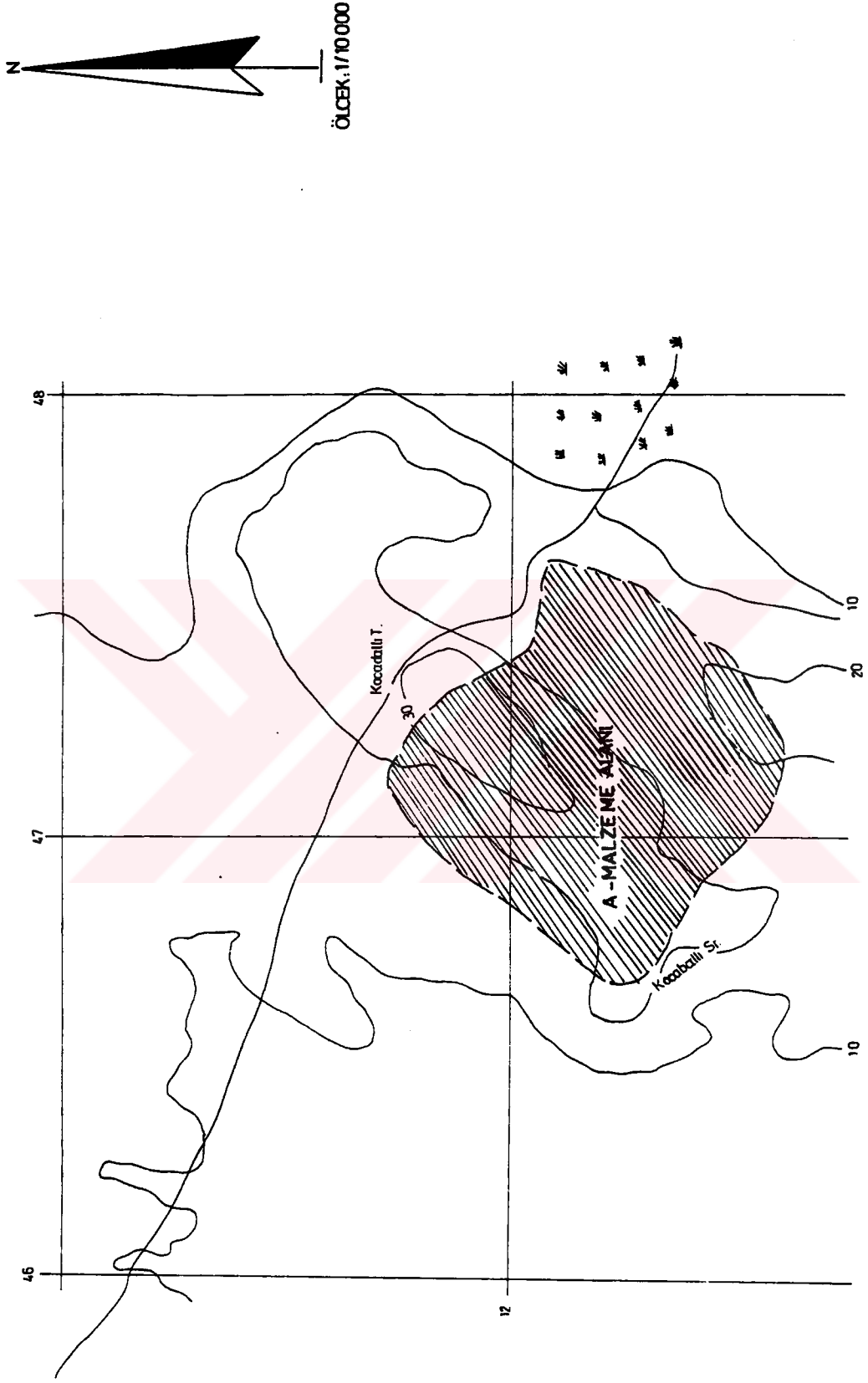
Yol durumu: Tarla yolu mevcuttur. Yağışlı mevsimlerde geçmeye elverişli değildir.

B Malzemesi Alanı:

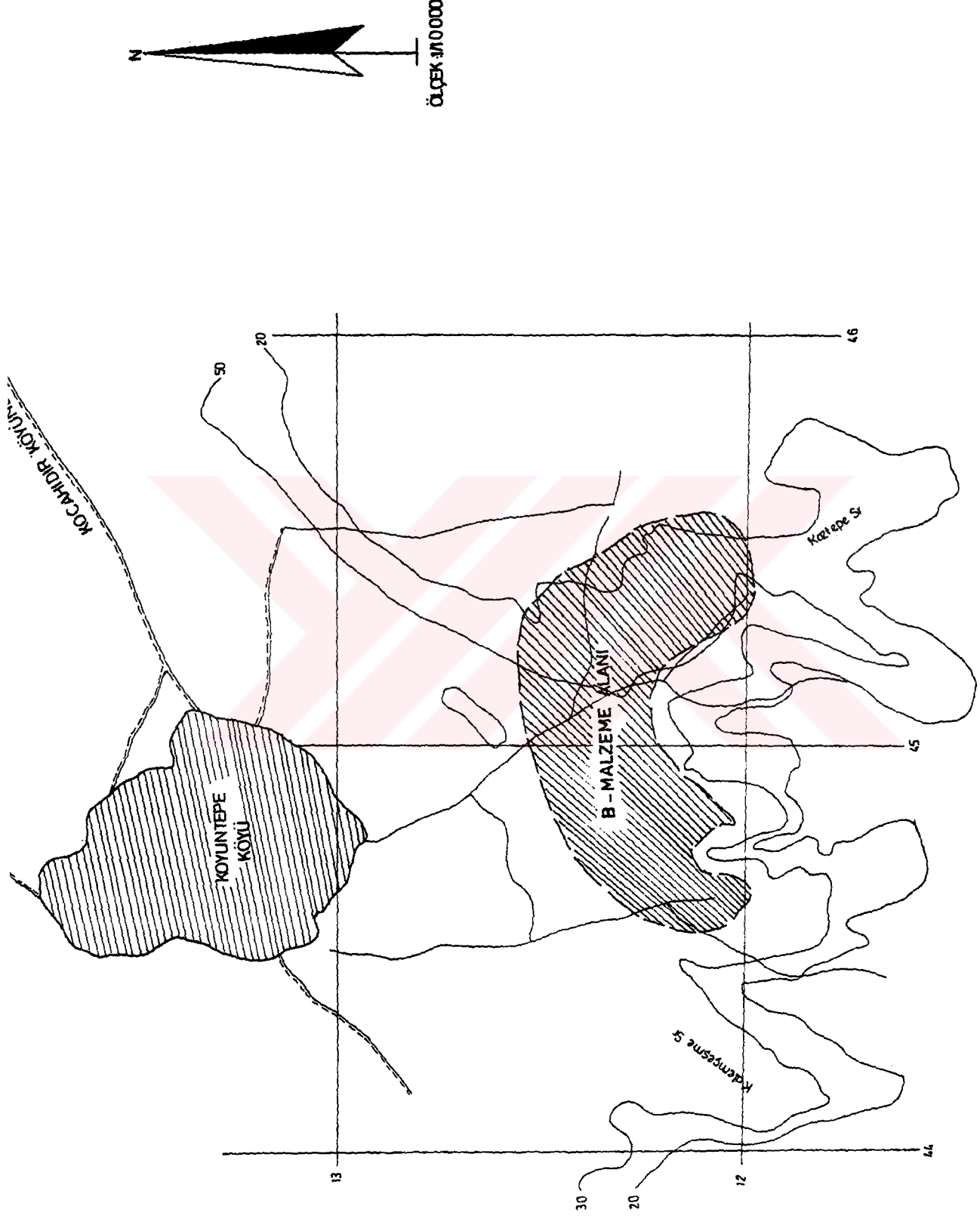
Yeri: Baraj aks yerinin batısında Koyuntepe Köyünün güneyinde Koztepe Sırtı ile Kalem Çeşme Sırtı arasında kalan alan (Şekil: 6.2).

Yapıya uzaklığı: 2500-3000 m.

Yol durumu: Tarla yolu ve Telmata Sedde yolu (yağışlı mevsimlerde geçişe elverişli değildir).



Şekil: 6.1 Hamzadere Barajı A Geçimsiz Malzeme Alanı Bulduru Haritası



Şekil: 6.2 Hamzadere Barajı B Geçimsiz Malzeme Alanı Buldurur Haritası

Ocaklardan dolgu malzemeleri alınırken 0.20 metrelik bitkisel toprak örtüsünün sıyırılması gerekmektedir. Ocaklarda yeraltı suyuna rastlanmamıştır ve malzemeler ocaktan (2.50-3.00 m) derinliğine kadar homojen dolgu malzemesi olarak alınabilir.

5.3. Numunelerin Alınışı

Araştırmada kullanılan zemin, D.S.İ. tarafından barajın gövde dolgusuna yerleştirilecek A ve B malzemelerin bulunduğu sahalarda açılan çukurlardan alınmıştır. Araştırma çukurlarında bütün çürümüş ve bitkisel toprak kaldırılmış, 1.50 x 1.50^m boyutlarında ve 1.50-2.00^m derinliğinde kazılarak örselenmiş numuneler alınmıştır.

5.4. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

Bu kısımda, Hamzadere Barajı gövde teşkilinde kullanılacak dolgu malzemelerinin kullanılabilirlik özelliklerinin belirlenmesi doğrultusunda laboratuarda yapılan deneysel çalışmalar verilmektedir.

5.4.1. Zeminlerin Endeks Özellikleri

5.4.1.1. Dane Çapı Dağılımı

İnşaat mühendisliğinde zeminlerin tanımlanması için başvurulan ilk deneylerden biri granülometridir. Dane çapı dağılımının saptanması ile, zeminin mühendislik özellikleri hakkında ön bilgiler edinebilir. Özellikle iri daneli zeminlerde dane çapı dağılımı, zeminin özelliklerini etkilemektedir. Bunlar:

1. Zeminin su geçirgenliği: iri daneli zeminler, ince daneli zeminlere göre daha geçirgendir.

2. Zeminin mukavemeti: iyi derecelenmiş zeminler daha yüksek mukavemete ve taşıma gücüne sahiptir.

3. Zeminin sıkışabilirliği: iyi derecelenmiş zeminler, uygulanan yükler altında, kötü derecelenmiş veya üniform zeminlere göre daha az sıkışır.

4. Zeminin kapileritesi: dane çapı dağılımından direkt etkilenmektedir.

Dolguda kullanılması tasarlanan malzemelerin dane çapları bakımından sınıflandırılmasının yapılabilmesi için ilk olarak 200 no'lu elekten ıslak elemeleri yapılmıştır. Elek üstünde kalan kısımlar kurutulduktan sonra bir seri standart eleklerden (sırası ile 10, 20, 40, 60, 100 ve 120 no'lu) elenerek daneciklerin birbirlerinden ayrılmaları sağlanmıştır. 200 no'lu elek (0.0074 cm) altında geçen kısımlar, disperse edici sodyum hexa metafosfat (daneciklerin kümeleşmesini önlemek için) ile 1000 ml'lik bir silindirik mezür içinde süspansiyon oluşturularak 152 H hidrometre yardımıyla hidrometre deneyine tabi tutulmuşlardır.

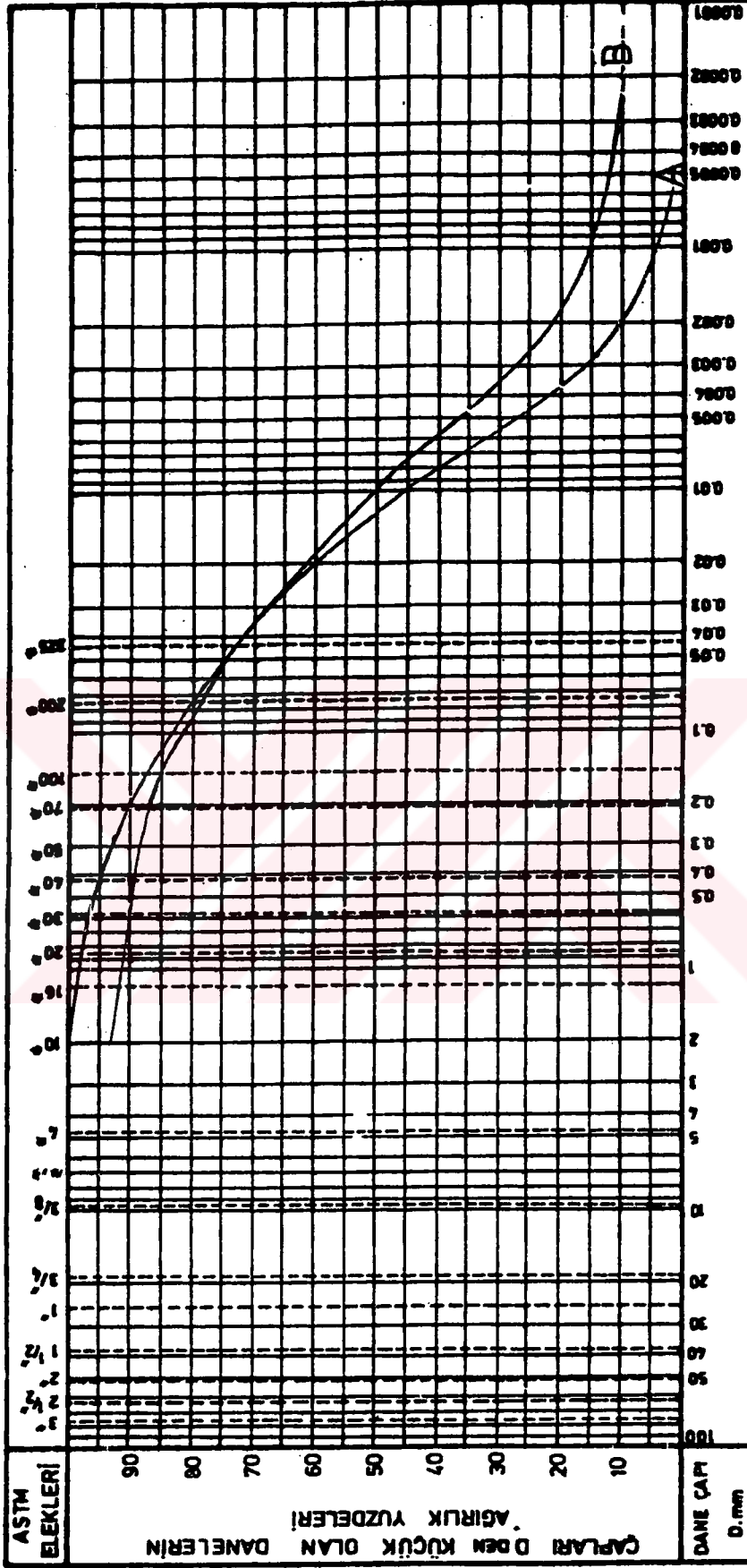
Eleme ve hidrometre deneyleri sonucu dolgu malzemelerinin granülometri eğrileri Şekil 7'de verilmektedir.

5.4.1.2. Kıvam Limitleri

İnce daneli zeminlerde su muhtevası, zeminin mühendislik özelliklerini etkilemektedir. Killi zeminlerde su muhtevası artırılarak, çok katı bir kıvamdan akıcı bir kıvama geçmek mümkündür. Kohezyonlu bir zeminin bünyesinde ne kadar su varsa, daneler arasındaki bağ o kadar az ve zeminin bir sıvı davranışı gösterme olasılığı o oranda çoktur. Buna bağlı olarak da mukavemet, sıkışma ve yük altında şekil değiştirme gibi mühendislik özelliklerinde çok büyük değişikliklerin olması mümkündür (Bowles, 1978). Killerin kıvamında su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak saptayabilmek için kıvam limitleri tanımlanmıştır (Casagrande, 1948). Kıvam limitleri, ince daneli zeminlerin değişik su muhtevalarındaki mukavemetlerinin bir göstergesi olmaktadır (Zeminlerin likit kıvamında ölçülebilir bir kayma direnci mevcut değildir) (Wasti vd., 1994).

Zeminlerin tabii su muhtevaları ile kıvam limitlerinin karşılaştırılması zeminleri gerilme geçmişi (jeolojik tarihçesi) hakkında bilgi vermektedir. Zeminin tabii su muhtevası plastik limit (PL) civarında ise aşırı konsolide, likit limit (LL) değerine yakın ise normal konsolide bir kil olduğu söylenebilir (Wroth ve Wood, 1978). Ayrıca kıvam limitleri zeminlerin plastisitetlerine göre sınıflandırılması sağlanmakta, su geçirgenlik özellikleri, değişik amaçlar için inşaat malzemesi olarak seçilmesi, yükler altında sıkışma, şişme potansiyeli ile arazi sıkıştırma ve çalışma yönünden çok yararlı ön bilgiler vermektedirler (Bentley, 1991).

Şekil 7 Kıl Dolgu Malzemelerin Dane Dağılım Eğrileri



DANE ÇAPI D. mm	ÇAKIL			KUM			SILT			KİL			
	KABA	ORTA	İNCE	KABA	ORTA	İNCE	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	D ₁₀₀	C _u	C _c	
SONDAJ NO:	ZEMİN CİNSİ			ÇAKIL %	KUM %	SILT %	KİL %	D ₁₀	D ₃₀	D ₆₀	D ₁₀₀	C _u	C _c
	DERİNLİK - m			A	15	67,2	8,9	0,019	0,0018	0,0053	10,56	0,82	
	-			B	30	58,33	11,67	0,018	0,0002	0,0033	90	3,025	

Likit limit değerlerinin iki ayrı yöntemle belirlenerek sonuçları arasındaki ilişkilerin irdelenebilmesi için zemin numuneleri hem düşen koni (konik penetrometre) hem de Casagrande aleti ile deneye tabi tutulmuşlardır.

Casagrande deneyinden elde edilen likit limit değerleri; aletin çanak kısmına sıvanmış zeminlerin ortasında açılan yarığın (çanağın 1 cm. yükseklikten düşmesi ile) kapanması durumunda ölçülen su muhtevasıdır.

Düşen Koni Aletiyle bulunan likit limitler; tepe açısı 30° , kütlesi 80 gr olan çelik bir konik uç, kabın içine doldurulmuş zemin yüzeyine değdirildikten sonra 5 sn süre zarfında penetrasyonun (giriş miktarının) 2 cm olduğu andaki su muhtevasıdır.

Dolgu malzemelerinin plastik limitleri ise cam plakalar üzerinde 3 mm çapında silindircikler haline getirilen numunelerin kopmaya ve dağılmaya başladığı su muhtevaları olarak tayin edilmişlerdir.

Dolgu malzemelerinin plastisite indeksleri ise likit limit ve plastik arasındaki su muhtevalarında, zeminler plastik davranış gösterdiğinden bu iki limit farkı olarak saptanmışlardır.

Dolgu malzemelerinin rötre limitleri; likit limit kıvamındaki zeminleri boşluk kalmayacak şekilde 17.15 cm^3 hacimli rötre kabına doldurulup üzeri düzlendikten sonra fırında kurutulması sonucu kuru nümuler civa (yoğunluğu 13.53 gr/cm^3) kullanılarak hacimleri bulunmuştur ve rötre limiti zemin hacminde değişme olmamaya başladığı sınır su muhtevası olarak tanımlanmıştır.

Dolgu malzemelerinin lineer rötreleri; likit limit kıvamındaki zeminleri ($143.96 \times 2.545 \times 1.2 \text{ cm}$) boyutlu lineer rötre kabına tamamen doldurularak fırında kurutulduktan sonra numunelerin boyutlarında meydana gelen değişikliklerin ölçülmesiyle bulunmuşlardır.

Dolgu malzemelerinin su muhtevaları araziden getirilen iki ucu parafinle kaplı tüplerden çıkarılan zeminlerden bulunmuştur.

Dolgu malzemelerinin endeks özellikleri, standart laboratuvar deney sonuçlarına beğli olarak Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo: 2. Dolgu Malzemelerinin Endeks Özellikleri

Malzeme	Doğal Su Muhtevası ($\omega_n, \%$)	Optimum Su Muhtevası ($\omega_{opt}, \%$)	Likit Limit		Plastik Limit ($\omega_p, \%$)	Plastisite İndisi ($I_p, \%$)	Rötre Limiti ($\omega_R, \%$)	Lineer Rötre (L_s)
			Düşen Koni ($\omega_{L1}, \%$)	Casagrande ($\omega_{L2}, \%$)				
A	9.03	19.2	48	48.5	31.4	17.2	17.1	14.68
B	17.51	20.5	57	58	32	32	10.5	15.04

Dolgu malzemeleri ince daneli zeminlerden oluşmakta ve plastisite abağında A hattı üzerine rastlamaktadır. A dolgu malzemesi düşük plastisiteli inorganik ve killi siltler (ML), B dolgu malzemesi yüksek plastisiteli inorganik ve killi siltler (CH) grubu zeminlerden oluşmaktadır.

5.4.1.3. Özgül Ağırlık

Zeminler; daneler (katı) arasındaki boşluklarda bulunan su ve hava (gaz)'dan oluşan üç fazlı bir malzemedir. Özgül ağırlık, yalnızca zemin daneciklerine uygulanan bir özelliktir ve zeminlerin katı daneciklerinin suyun yoğunluğuna oranı olarak tanımlanmaktadır (Bowles, 1978).

Dolgu malzemelerinin özgül ağırlıkları; fırında kurutulmuş deney numunelerinin içi su dolu bir piknometre şişesine (100 ml) konularak uygulanan bir vakum yardımı ile içerisindeki boşlukların tamamen dışarıya alınmasıyla belirlenmiştir.

Özgül ağırlık değerleri ortalaması, A malzemesinde 2.59 ve B malzemesinde 2.68 olarak bulunmuştur.

5.4.2. Permeabilite

Zeminlerin aralarında boşluklar bulunan danelerden oluştuğu ve bu boşlukların genellikle birbirine bağlı buldukları bilinmektedir. Zemin içindeki bir su damlası boşlukların oluşturduğu ve gelişigüzel bir iz takip eden bu kılcal kanallar boyunca hareket edebilmektedir. Zemin içindeki bu kanalların kesit alanları ve yönü sabit değildir ve hareket halindeki bir su damlası da mikroskobik ölçekte, doğrultusu ve hızı sürekli değişerek hareket edecektir. Fakat mühendislik problemlerinin çözümünde genellikle, birim uzunluktaki toplam enerji farklılıkları aynı olduğu sürece, akımın toplam kesit alanına dik doğrultuda ve sabit hızda gerçekleştiği varsayılmaktadır (Özaydın, 1989). Suyun zemin içindeki hareket kolaylığı veya

zemin boşluklarından sızması olayı "permeabilite veya geçirgenlik" olarak bilinir. Bu hareket aşağıda verilen Darcy kanununa göre meydana gelir:

$$V = k.i \quad (5.1.)$$

Burada:

V = sızma hızı (cm/sn)

i = hidrolik eğim

k = permeabilite katsayısı

Permeabilite zemin danelerinin dizilişlerine veya başka bir deyişle zemin yapısına önemli olarak bağlıdır.

Permeabilite, kohezyonlu zeminlerde sızma, oturma ve stabilite gibi çok önemli zemin mühendisliği problemleri ile çok yakından alakalı, zeminin önemli bir parametresidir. Dolgu barajların içinden ve temellerinden sızan sular, yapılardaki çökmeler, konsolidasyondan sonraki dolgulardaki mukavemet artışları gibi bir çok problemlerde permeabilite kritik bir faktördür (Floyd, 1987).

Permeabilitenin bağlı olduğu fiziksel ve endeks özellikleri üzerinde yapılan araştırmalar, bu parametrenin dane çapı, porozite ve boşluk oranın, zeminin doygunluk derecesi, kapilaritenin bir ölçüsü olan boşluk çapı ve boşluk çapı dağılımı indisi gibi parametrelere bağlı olduğunu göstermiştir. Tüm bu parametreleri bulmak ayrı ayrı deneylerin yapılmasını gerektirdiği gibi, hem de yorucu ve zaman alıcıdır. Bunun yerine pratik olarak, permeabilite katsayılarının bulunmasının yeterli olacağı ve böylece hem deney ekonomisi sağlanmakta hem de teknik açıdan mühendislik problemlerinin çözümünde hız kazanılmaktadır.

Baraj dolgusunda kullanılacak malzemeler kohezyonlu zemin olduklarından laboratuarda bunların permeabilite katsayılarının bulunmasında, düşen seviyeli permeabilite deneyi kullanılmıştır. Deneyde, standart proktor kalıplarına benzeyen ve eşit hacimli (945.31 cm³) silindirik metal permeabilite kapları içine, standart proktor deneyinde olduğu gibi bir tokmakla 3 tabaka halinde numuneler optimum su muhtevalarında (A malzemesi $\omega_{opt} = 19.2$ ve B malzemesi $\omega_{opt} = \% 20.5$) sıkıştırılarak yerleştirilmişler ve zeminlerin akan suyla gitmesini önlemek için hazırlanan numunelerin üst ve alt yüzeylerine filtreler konulmuştur. Bir düzenek vasıtasıyla ince kesitli lastik hortumlarla üzerlerinden irtibatlandırılmış silindirik kaplardaki zemin numunelerinin içlerinden su akımının temin edilmesi ve hidrolik eğim oluşturulması nedeniyle düşü yüksekliği 150 cm'lik mesafede yukarıda bir panoya tutturulmuş üst ucu su girmesi için açık olan 50 ml'lik büretlerin (büretin kesiti A malzemesinde $a = 0.916$ cm² ve B malzemesinde $a = 0.947$ cm²dir.) alt uçlarına bağlanarak içlerine su doldurulmuşlardır.

Tespit edilmiş belirli zaman aralıklarında büretlerdeki su seviyeleri ölçülerek malzemelerin ortalama permeabilite katsayıları hesaplanarak bulunmuşlardır.

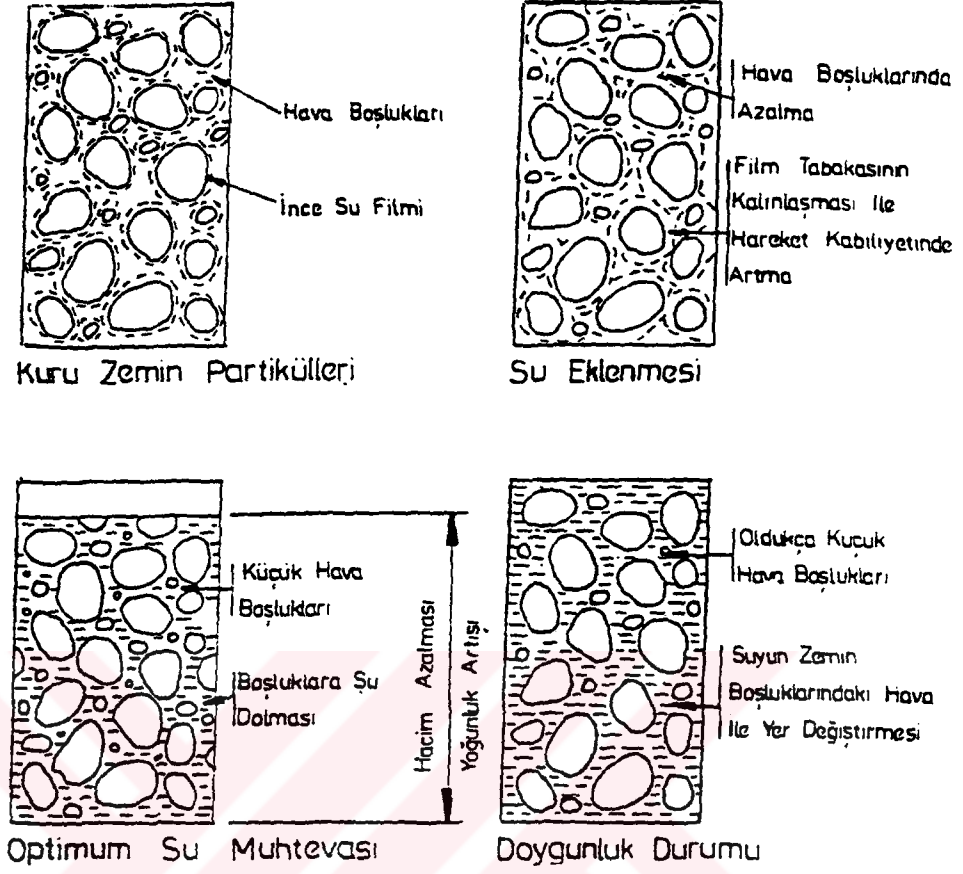
Permeabilite değerleri A malzemesinde 3.67×10^{-7} cm / sn, B malzemesinde 3.76×10^{-8} cm / sn olduğu tesbit edilmiştir.

5.4.3. Kompaksiyon

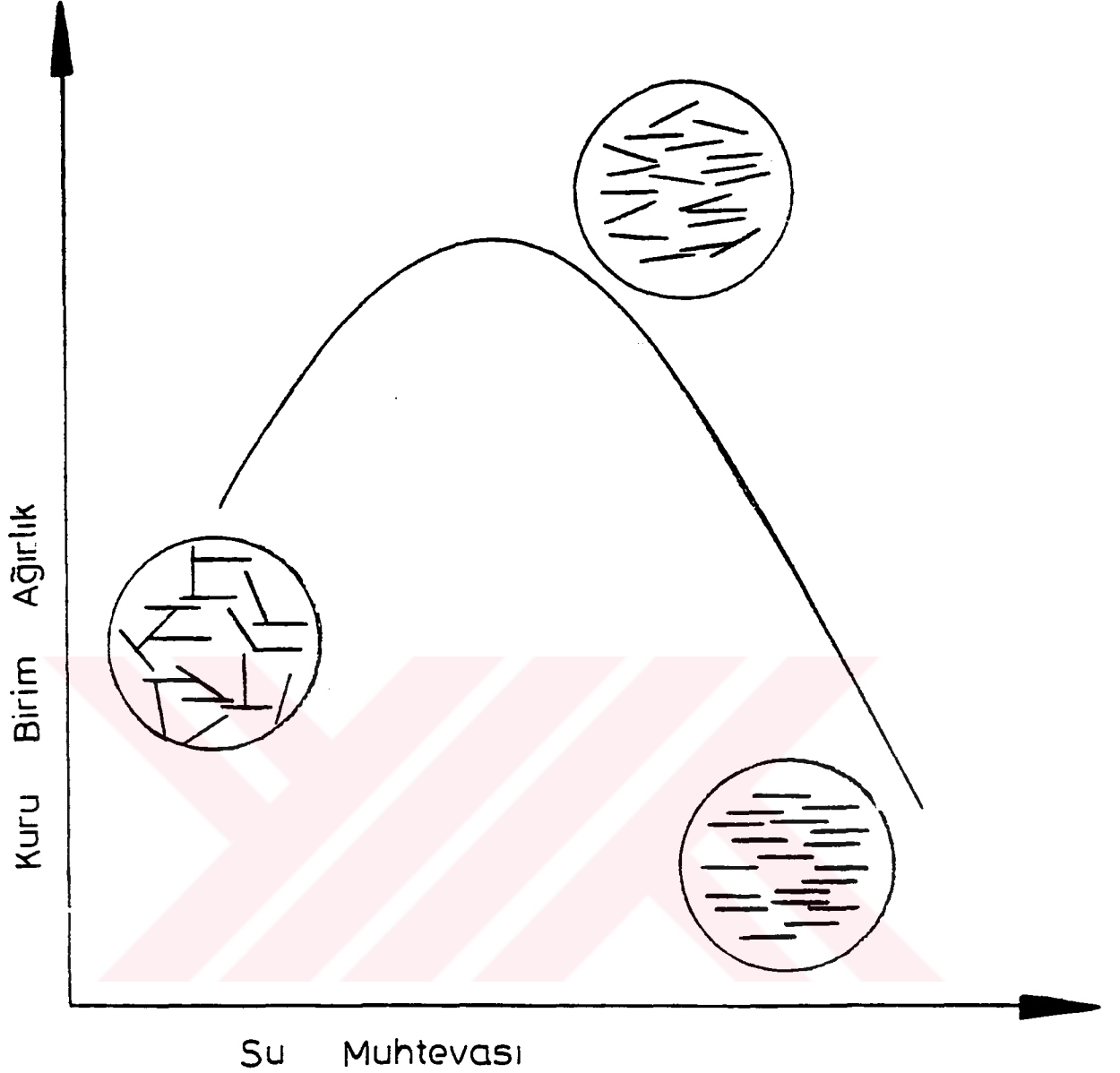
Zeminler genellikle İnşaat Mühendisliği bakımından kullanım için ideal durumda değildir ve bu bakımdan gerek temel zemini olarak gerekse baraj gibi yapıların inşasında dolgu malzemesi olarak kullanılan zemin özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir (Özaydın, 1989). Bu amaçla, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerden biri de kompaksiyondur. Kompaksiyon, zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azalması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan bir mekanik işlemdir. Kompaksiyonun gayesi zemine şu özellikleri kazandırabilmektedir:

1. Sıkışabilirliği minimuma indirmek,
2. Geçirimsizliği azaltmak,
3. Kayma direncini arttırmak,
4. Aşınabilirliği iyileştirmek,
5. Büzülme ve şişme özelliklerini en aza indirmek.

Kohezyonlu zeminlerde danelerin birbirine yaklaşabilmesi ve sıkışmanın sağlanabilmesi ancak uygulanan statik veya dinamik yükler altında birbirlerine göre hareket edebilmeleri ile sağlanabilir. Danelerin birbirlerine göre hareket edebilme yetenekleri ise uygulanan yüklerin şiddeti (kompaksiyon enerjisi) yanında zemin içindeki su miktarına bağlı olarak değişmektedir. Zemin yapısı üzerine kompaksiyonun etkisi Şekil 8.1. ve 8.2.'de görülmektedir.



Şekil: 8.1. Zemin Partiküllerinin Sıralanışı (Head, 1984).



Şekil: 8.2. Kil Daneciklerin Şematik Gösterilmesi (Lambe, 1958).

Kuru bir zemine su eklenmesi durumunda, daneciklerin çevresinde bir su filmi oluşur. Daha çok su eklenmesi film tabakasını kalınlaştırır ve daneciklerin birbiri üzerinde kaymasını kolaylaştırır. Bu genellikle kayganlık olarak tanımlanır. Belli bir noktaya dek eklenen su, zemin boşluklarındaki o ölçüdeki hava ile yer değiştirir, ancak belli bir doygunluk yüzdesinden sonra eklenen su zemin danelerinin doldurulması gereken boşlukları tutar. Büyük ölçüde hava yeri doldurulmadan kalır ve eklenen su danelerin arasını açar ve bu nedenle zemin yoğunluğunda azalma olur (Ertan ve Ülkü, 1978).

Bir zeminin kompaksiyon durumu yani sıkışma durumu onun kuru birim hacim ağırlığı ile ölçülür. Elde olunan kompaksiyon durumu; zeminin cinsine bağlı olup zeminin su muhtevası ile değişir. Zeminin cinsine göre farklı sıkıştırma yöntemleri uygulamak gerekir. Sıkıştırma su muhtevası, zemin özelliklerinde oluşturduğu değişiklikler nedeniyle sıkıştırılmış durumdaki zeminlerin davranışlarında etkilidir. Bir zemin, sabit (belli) bir kompaksiyon enerjisi ile değişik su muhtevalarında sıkıştırıldığında artan su muhtevası ile kuru birim hacim ağırlığı önce artmakta, maksimum bir değere ulaşmakta, sonra da azalmaktadır. Tamamen doymuş bir zeminde kompaksiyon mümkün olmamaktadır. Çünkü bu durumda uygulanan yükler altında, boşluk suyu basıncında artışlar meydana gelecek ve hidrostatik basınç, danelerin birbirlerine yaklaşmasını engelleyecektir. Zeminin en iyi ve en kolay sıkılabileceği su muhtevası optimum su muhtevası olarak tanımlanabilir. Bu su muhtevasında en büyük kuru birim hacim ağırlık elde edilebilir.

Sıkıştırılan killi zeminlerde bir çok mühendislik özelliğine etki eden şeyin sıkıştırma esnasında kullanılan su muhtevası olduğu söylenebilir (Bilgin, 1972). Zeminin sıkıştırıldığı andaki su muhtevası, zemin dokusu üzerinde etkili olmakta ve buna bağlı olarak zeminin fiziksel, mekanik ve hidrolik davranış özelliklerinde değişiklikler meydana gelmektedir.

Genel anlamda zeminin geçirimsizlik katsayısı ile boşluk oranı arasında yaklaşık bir bağıntı bulunduğu bilinir. Optimum altında bir su muhtevasında sıkıştırılan zeminin geçirgenlik katsayısında, bu başlangıç sıkıştırma muhtevası değeri optimum üstündeki bir değere doğru arttırıldıkça kuru birim hacim ağırlığın artmasıyla porozite düşeceğinden, büyük ölçüde azalma olur (Bjerrum, 1957).

Optimumdan çok düşük bir su muhtevasında sıkıştırılmış bir zeminin kayma direnci oldukça artar, ancak ne varki bu yanıltıcıdır. Zamanla ve dolgu su muhtevasının artması ile kayma direncinde büyük ölçüde azalma olur. Zeminlerde toplam gerilmeler cinsinden gerek kohezyon gerekse içsel sürtünme açısı su muhtevasının artması ile azalır. Bu nedenle en büyük kuru birim ağırlık değerine, en büyük c (kohezyon) ve en büyük ϕ (içsel sürtünme açısı) karşı gelmez. Optimumun üstünde bir su muhtevasında sıkıştırılmış bir zeminde ise kohezyon ve içsel sürtünme açısı su muhtevası ile ters orantılı olduğundan, istenen kayma direnci sağlanamaz. Genellikle optimumun kuru tarafında sıkıştırılmış zeminlerde kayma direnci, sıkıştırma enerjisi, birim hacim ağırlık, su muhtevası ve bunların etkileşimine bağımlılık gösterirken optimumun ıslak tarafında yapılan sıkıştırma su muhtevası, direnci etkileyen tek değişken olarak belirtmektedir (Seed ve Chen, 1959).

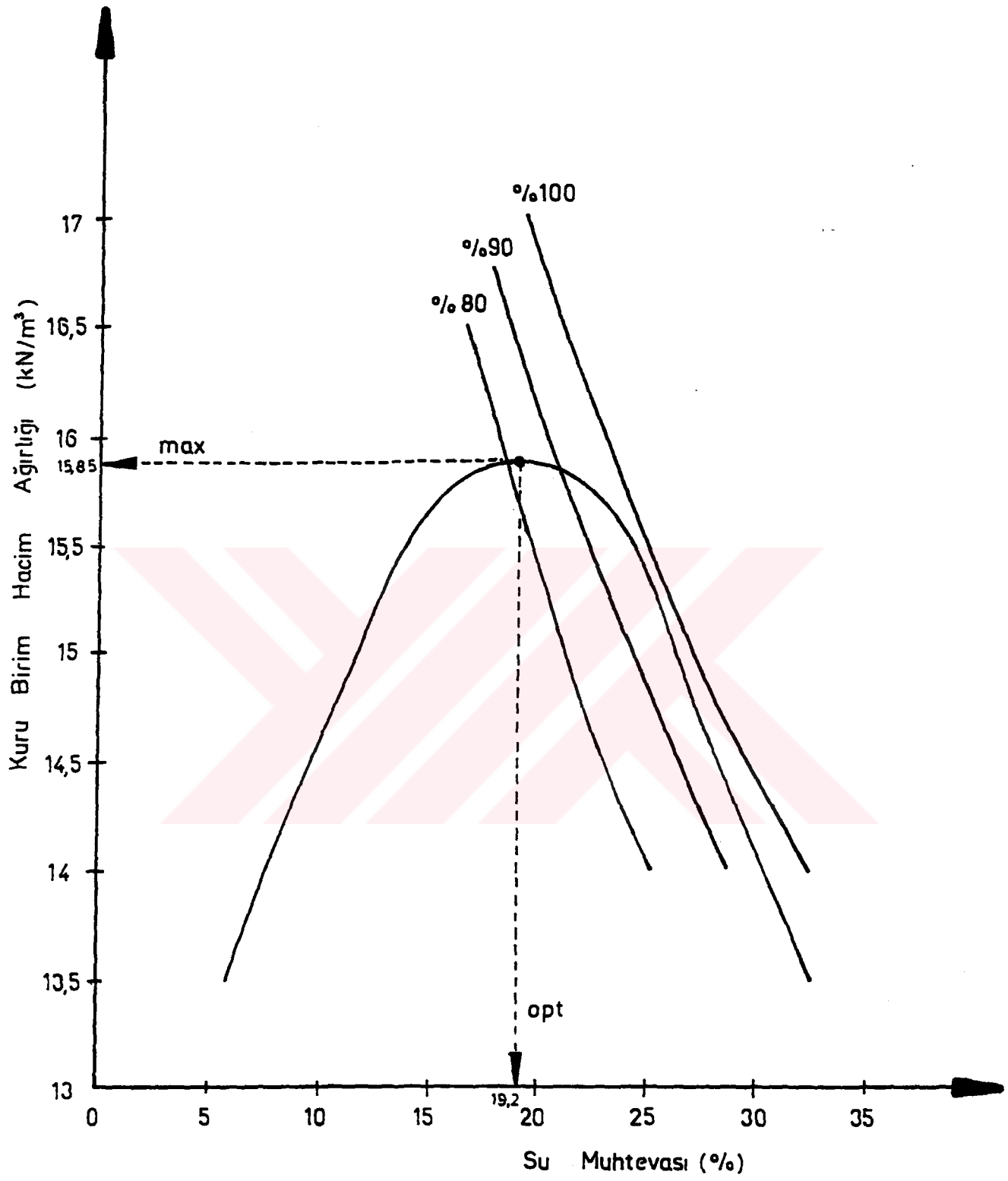
Şişme, büzülme üst yapının büyük zarar görmesini oluşturabilecek bir zemin özelliğidir (Lambe, 1958). Bu özellik öncelikle kil minerallerin türünden kaynaklanmakla birlikte, sıkıştırmanın optimum su muhtevasının kuru veya ıslak tarafında yapılmasından da etkilenmektedir. Optimumun kuru tarafında sıkıştırılan zeminler önemli büzülme göstermemektedir. Buna karşın optimumun ıslak tarafında sıkıştırılan zeminler kuruduklarında önemli büzülmeler göstereceklerdir. Sıkıştırılmış killerde zemin yapısının önemli bir tesiri de şişme basınçlarında görülür. Kuru tarafta sıkıştırılan zeminler fazla miktarda şişme özelliği (kabarma) gösterirler ve aynı kuru birim hacim ağırlıkta ıslak tarafta sıkıştırılmış zeminlere nazaran daha fazla şişerler. Diğer yandan optimumun kuru tarafında sıkıştırılmış bazı zeminler suyla ilk ilişkiye geçişlerinde yapısal göçme gösterdikleri de bilinmektedir.

Dolgu malzemelerinin kompaksiyonu için gerekli optimum su muhtevaları Standart Proktor deneyi ile bulunmuşlardır. Bu deney;

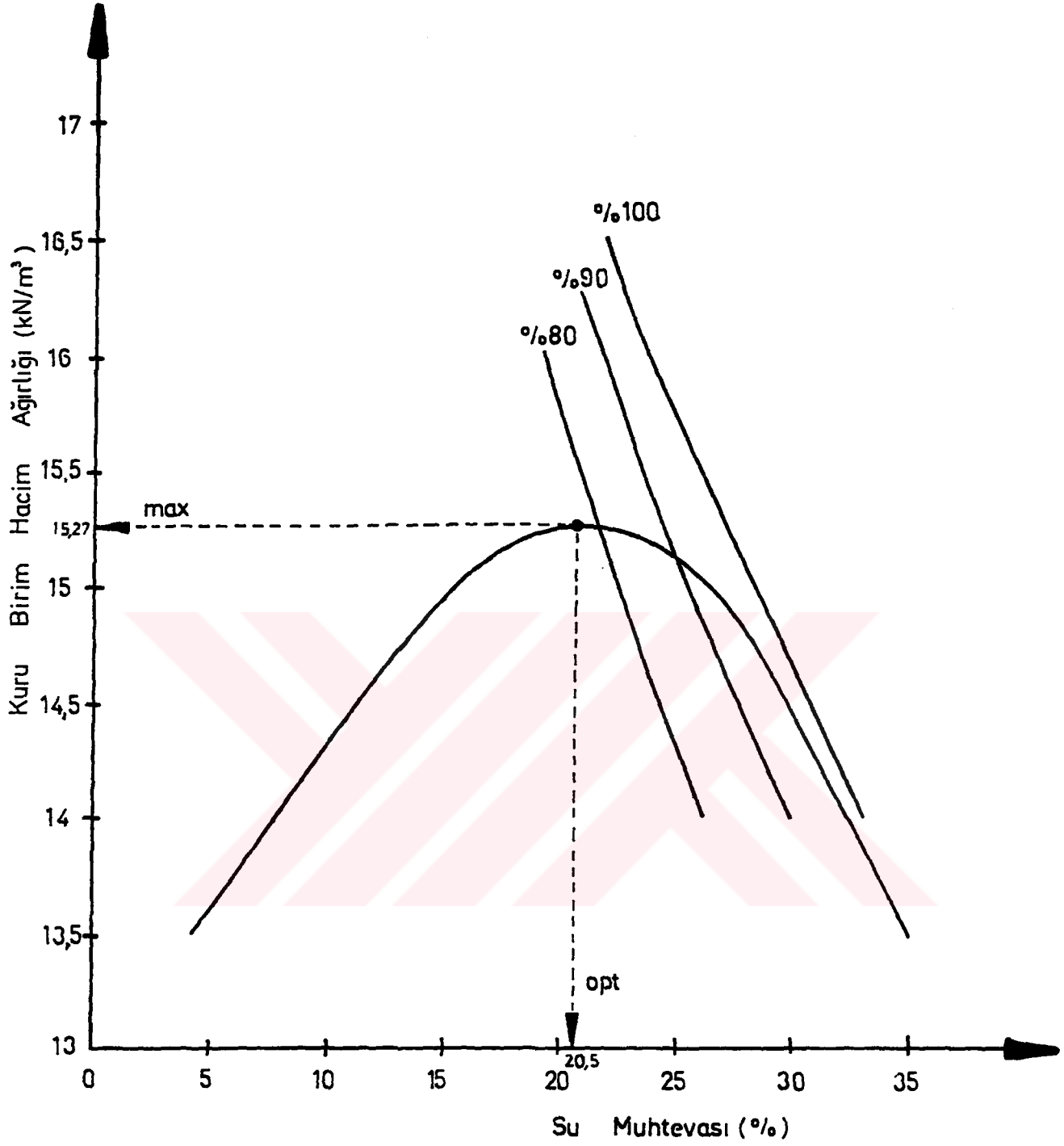
4 no'lu elekten (0.476 cm) geçirilmiş fırında kurutulmuş zemin numuneleri 10.16 cm çapında 11.66 cm yüksekliğinde ve 944 cm³ hacmindeki bir standart silindir içine üç çeşit tabaka halinde, 2.5 kg ağırlığında ve 5.08 cm çaplı dairesel kesitli özel bir tokmağın 30 cm yükseklikten her bir tabakaya 25 defa düşürülmesi ile sıkıştırılmışlardır. Sıkıştırılan zemin numuneleri silindir seviyesine kadar traşlanarak yüzeyleri düzeltilmiştir. Daha sonra numunelerin değişik su muhtevalarındaki kuru birim ağırlık değişimleri tespit edilmiştir. Bu şekilde zeminlerin dolgu malzemeleri su muhtevaları ile kuru birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişki deneysel olarak saptanmış ve sonuçlar Şekil 9.1. ve 9.2'de gösterilmiştir. Eğrilerin tepe noktaları optimum su muhtevalarını ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları belirtilmektedir.

Zeminlerdeki boşlukların hangi oranda su ile dolu olduklarını yansıtan, kayma direnci ve sıkışabilirlik gibi önemli zemin özelliklerine etkiyen doygunluk derecelerinin bilinmesi, zemin özelliklerinin değerlendirilmesinde büyük yararlar sağlamaktadırlar. Doygunluk eğrileri, sıkışma eğrilerinin tepe noktalarında (optimum su muhtevalarında) doygunluk durumunun öğrenilmesine yardımcı olmaktadır.

Şekil 9.1. ve 9.2'de aynı zamanda bu dolgu malzemeleri suya doygunluk eğrileri de gösterilmektedir.



Şekil : 9.1 A Malzemesi Kompaksiyon Deney Sonuçları



Şekil : 9.2 B Malzemesi Kompaksiyon Deney Sonuçları

5.4.4. Kayma Mukavemeti

Zemin tabakaları içinde gerek kendi ağırlıklarından gerekse zemin yüzeyinde uygulanan yüklerden dolayı gerilmeler olduğu bilinmektedir. Zeminin etkisinde kaldığı gerilmeler altında davranışının incelenmesi, toprak dolgu barajların projelendirilmesi ve zeminlerin taşıma gücü tayininde karşılaşılan mühendislik problemlerinin çözümünde kolaylıklar sağlamaktadır.

Çepeçevre sarılmış bir zemin kütlesine bir yük tatbik edilince, zemin daneciklerinin birbirine göre hareket etmeye başlamaları, yani bir kayma düzlemi üzerinde kayma veya kesme meydana gelmesi ile kırılma olacaktır. Bu hareket sonucu plastik konuma ulaşıncaya zemin artık ilave bir yük taşıyamaz ve göçme meydana gelir (Terzaghi ve Peck, 1967).

Toprak barajlarda yapının güvenliği kayma direncine bağlıdır. Zeminlerde göçme meydana gelmesi için olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Bu düzlem her zaman en büyük kayma gerilmesi düzlemi olmayabilmektedir. 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 onun dayanabileceği (karşı durabileceği) en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanmaktadır.

Arazide bir zemin numunesi ele alınacak olursa, bu zemin bir dış basınç ile yüklendiğinde buna karşıt gerilme, zemin danecikleri ve daneler arasındaki boşluklarda yer alan su tarafında karşılanmaktadır.

Zeminlere kayma mukavemetini kazandıran gerilme "efektif gerilme"dir. Bu gerilme, daneden daneye aktarılan ortalama gerilme olarak tanımlanmaktadır. Danecikler arasındaki suda oluşan gerilmeye de "boşluk suyu basıncı" denir. Böylece, zemin danecekleri arasındaki efektif gerilmeler ile birlikte boşluk suyu basıncı tarafından da karşılanan dış gerilmeler "toplam gerilmeleri" oluştururlar. Kayma mukavemeti, yük altında hacim değişimi gibi mühendislik problemlerin efektif gerilmeyle ilgili olduğu gözlemlenmektedir.

Zeminin bir noktasındaki efektif gerilme durumu σ'_1 , σ'_2 , σ'_3 asal efektif gerilmeleri ile tanımlanmaktadır. Zemin mekaniğinde geliştirilen çeşitli kırılma hipotezlerinden Mohr-Coulomb genel kırılma hipotezine göre bir zeminin kayma mukavemeti, kayma düzlemine etkiyen normal gerilme ile orantılı ve zemin danecikleri arasındaki sürtünmeye bağlı bir terim ile yapısal özelliklere ve su muhtevasına bağlı bir kohezyon teriminden meydana gelmektedir. Buna göre zeminin göçme anındaki kayma mukavemeti

$$\tau_f = c + \sigma \operatorname{tg} \emptyset \quad (5.2)$$

bağıntısı ile bulunabilmektedir.

τ_f = Gözönüne alınan düzlemde doğacak kayma mukavemeti veya düzlemin taşıyabileceği maximum kayma gerilmesi.

σ = Kayma düzlemine etkiyen normal gerilme

c = Zeminin kohezyonu (Zemin daneciklerini birbirine yapıştıran bir çekim gücüdür).

\emptyset = İçsel sürtünme açısı (Zemin kitleleri içindeki danelerin birbiri üzerinden kaymasına karşı gösterilen dirençdir).

Denklemdaki (c ve \emptyset) kayma mukavemeti parametreleri adını alır. Mohr-Coulomb denkleminde verilen bu katsayıların değeri deney şartlarına, zeminin doğada etkisinde kaldığı gerilme durumuna ve özellikle drenaj şartlarına göre değişir.

Kayma mukavemeti parametreleri toplam gerilmeler cinsinden ifade edildiğinde c ve \emptyset ile gösterilir. Toplam gerilme, zemin danecikleri ve boşluklardaki su tarafından taşınan gerilmelerin toplamı olduğuna göre (σ') efektif gerilme, (u) boşluk suyu basıncı olmak üzere,

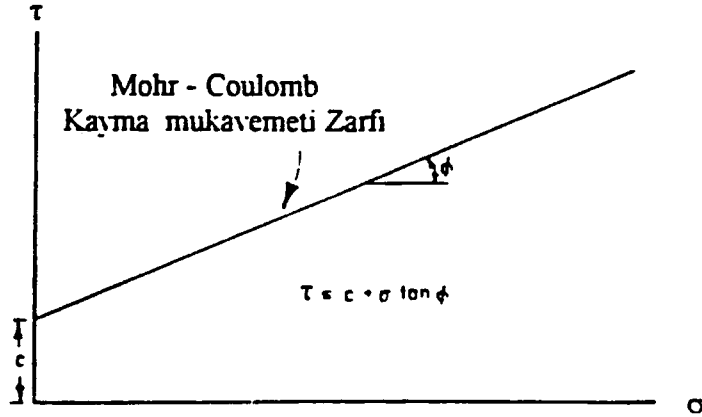
$$\sigma' = \sigma - u \quad (5.3)$$

yazılabilir. Mohr-Coulomb denklemi efektif gerilmeler cinsinden,

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \operatorname{tg} \emptyset' \quad (5.4)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Toplam gerilmelere göre bulunan (c ve \emptyset) ve efektif gerilmelere göre bulunan (c' ve \emptyset') kayma mukavemeti parametreleri, bağlı olduğu gerilme ve drenaj koşulları altında sabit olduğundan Mohr-Coulomb denklemi (σ ve τ) eksen takımında bir doğru gösterir. Bu doğru deney sonuçlarına göre çizilen Mohr dairelerinin ortak teğetidir ve kırılma (göçme) zarfı adını alır (Şekil 10).



Şekil 10. Kayma Mukavemeti Parametreleri

Zeminlerin kayma direnci başlıca, drenaj özellikleri ile ilgilidir. İnce daneli zeminlerde drenaj çok yavaş meydana gelmektedir. Deney hızı, ince daneli zeminler için önemli bir faktördür. Bu nedenle kayma mukavemeti parametreleri, genellikle drenaj şartlarının kontrol edilebileceği deneylerden bulunmaktadır.

5.4.4.1. Kesme Kutusu [Konsolidasyonlu-Drenajsız (CU)]

Zeminlerin kayma direncini incelemek için kullanılan kesme kutusu deneyinde numune üzerine normal gerilme uygulamak ve kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulabilmesi mümkün olabilmektedir. Zemin numunenin ortasından geçen yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır.

Optimum su muhtevalarının %2 ıslak tarafında Standart Proktor aletiyle 3 tabaka halinde sıkıştırılarak hazırlanan deney malzemelerinde (A malzemesi: $\omega_{opt} + \%2 = \%21.2$ ve B malzemesi: $\omega_{opt} + \%2 = \%22.5$) 5.05 x 5.1 x 1.88 cm boyutlu örnek alıcı vasıtasıyla alınan numuneler kare kesitli iki parçadan oluşan (üst kısmı rijit ve yatay hareket ettirebilen alt kısım) kesme kutusu aparatı içinde dren görevi yapan iki poroz taş arasına yerleştirilerek Mohr-Coulomb kayma mukavemet zarfının çizilebilmesi amacıyla değişik düşey sabit yükler altında konsolide edilmeye çalışılmıştır. İlk olarak 95.13 kPa'lık bir gerilme altında konsolide olmaları sağlanarak bir motor tarafından sağlanan 1.27 mm/dak'lık sabit bir hız ile numunelerin ortasından geçen yatay bir düzlem boyunca kesilmişlerdir. Daha sonra aynı işlemler

yapılarak oluşturulan numuneler 190.26 kPa'lık bir gerilme altında konsolide edilip yine motorun kasnağı tarafından verilen 1.27 mm/dak'lık hızla bir düzlem boyunca kesilmişlerdir. Böylece 95.13 kPa ve 190.26 kPa normal gerilmeler altında uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay ve düşey yer değiştirmeler deformasyon saatlarından ölçülerek kesme kuvvetinin yatay yer değiştirmelere göre değişimleri ve yatay değiştirmeler ile hacim değişimleri arasındaki ilişkiler Şekil 11.1. ve 11.2'de verilmiştir.

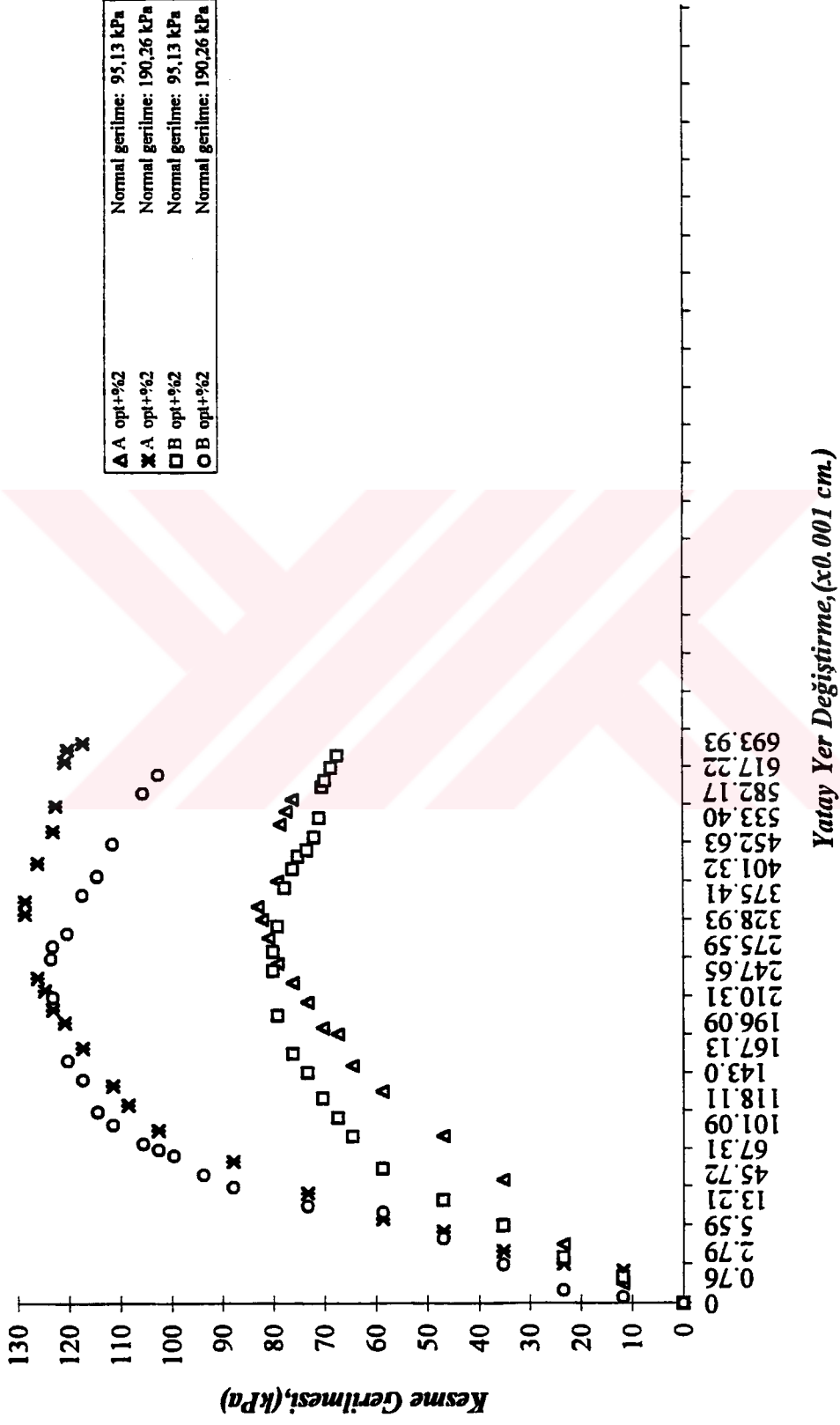
Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmeleri bize malzemelerin kayma dirençlerini vermektedir. Kayma dirençleri, zeminlerde aşırı (izin verilebilir den büyük) şekil değiştirmeye yol açan en büyük kayma gerilmeleridir.

Normal gerilmelerle, bunlara karşılık gelen kayma dirençlerinden malzemelerin mukavemet zarfları çizimleri Şekil 11.3.'de görülmektedir.

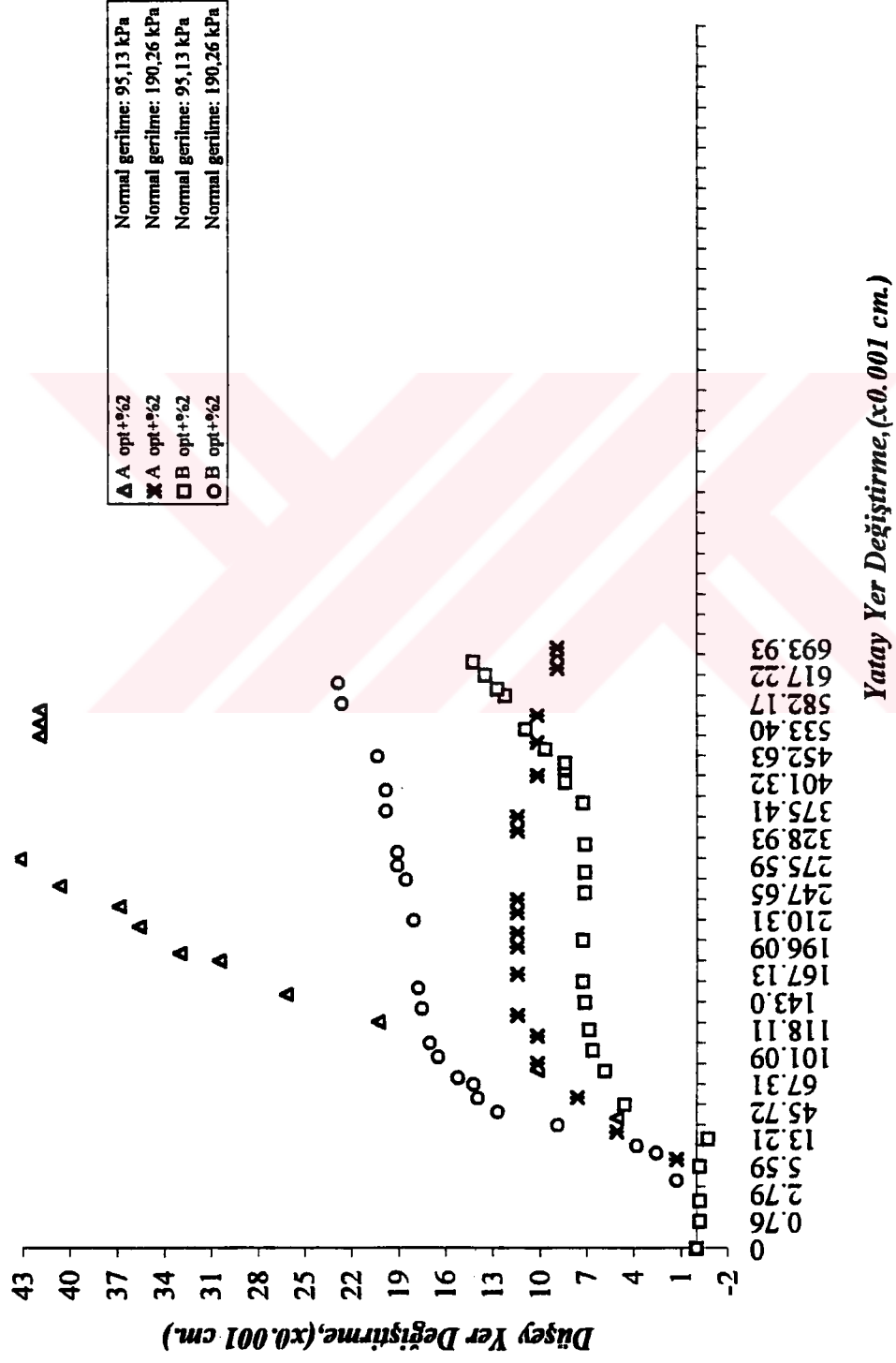
Kesme Kutusu deneyleri sonucunda Tablo 3'deki kayma mukavemeti parametreleri elde edilmiştir.

Tablo:3. Dolgu Malzemelerin Kesme Kutusu Deneyinden Bulunan Kayma Mukavemeti Değerleri

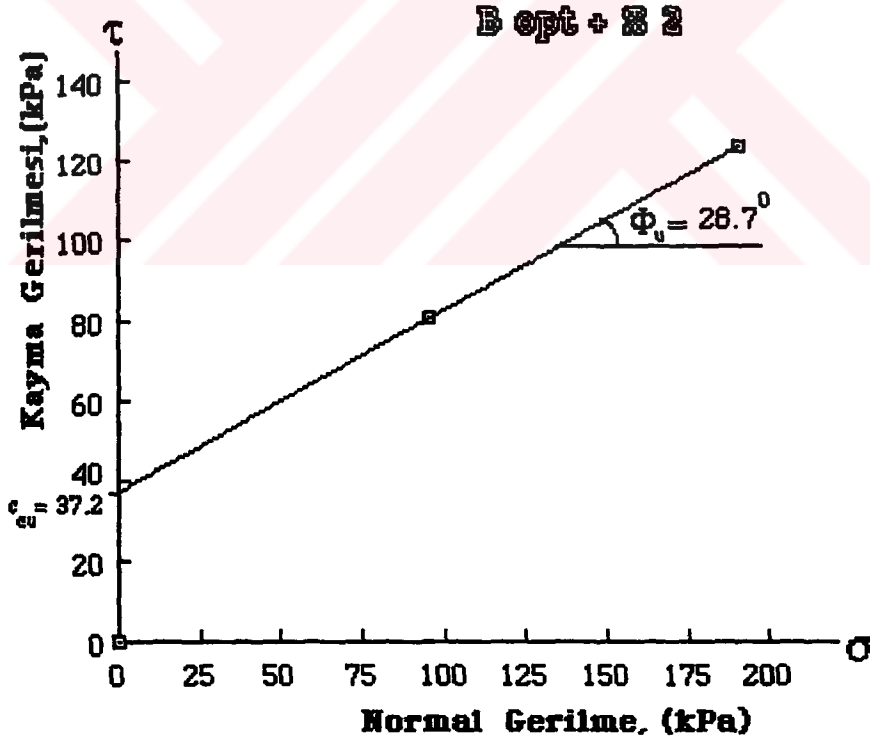
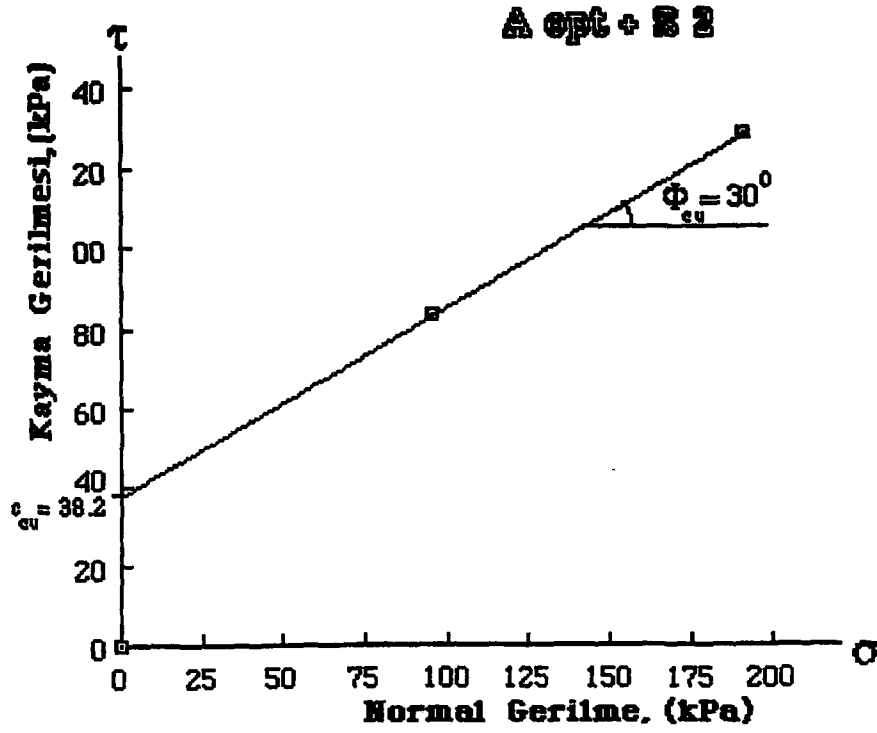
Malzeme	Kohezyon (C_{cu} , kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_{cu} , °)
A $\omega_{opt} + \%2$	38.2	30
B $\omega_{opt} + \%2$	37.2	28.7



Şekil : 11.1 Dolgu Malzemelerinin Kesme Gerilme ve Yatay Yer Değiştirmeleri



Şekil : 11.2 Dolgu Malzemelerin Düşey ve Yatay Yer Değişirmeleri



Şekil: 11.3 Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafındaki Dolgu Malzemelerin Kesme Kutusu (CU) Deneyine Ait Mohr -Coulomb Kırılma Zarfları

5.4.4.2. Serbest Basınç [Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU)]

Kohezyonlu bir zeminin kayma direnci hakkında çok kısa zamanda fikir sahibi olmak isteniyorsa uygulanan bu deneyde zemin numunesi yalnızca eksenel doğrultuda alt ve üstten düşey gerilmeye maruz bırakılmaktadır. Bu basınç gerilmesi en büyük asal gerilme olup zemin numunesine yanal bir basınç uygulanmadığından diğer iki asal gerilme sıfırdır. Numune kırılıncaya kadar basınçla yüklenmekte, diagonal bir düzlem boyunca kayma sureti ile veya yanal şişme ile kırılma oluşmaktadır.

Bu deneyde, dolgu malzemelerinden standart proktor kalıbında üç tabaka halinde optimum, optimumun %2 ıslak ve %2 kuru tarafında 2 tekrarlı olarak hazırlanmış numuneler, pistonlu numune çıkarma aletiyle 3.7 cm çapındaki tüplerden çıkarıldıktan sonra boyları, (boy uzunluğu/çap) >2 olabilmesi için kıl testeresi ve ince keskin bir spatula ile traşlanmaya çalışılmıştır.

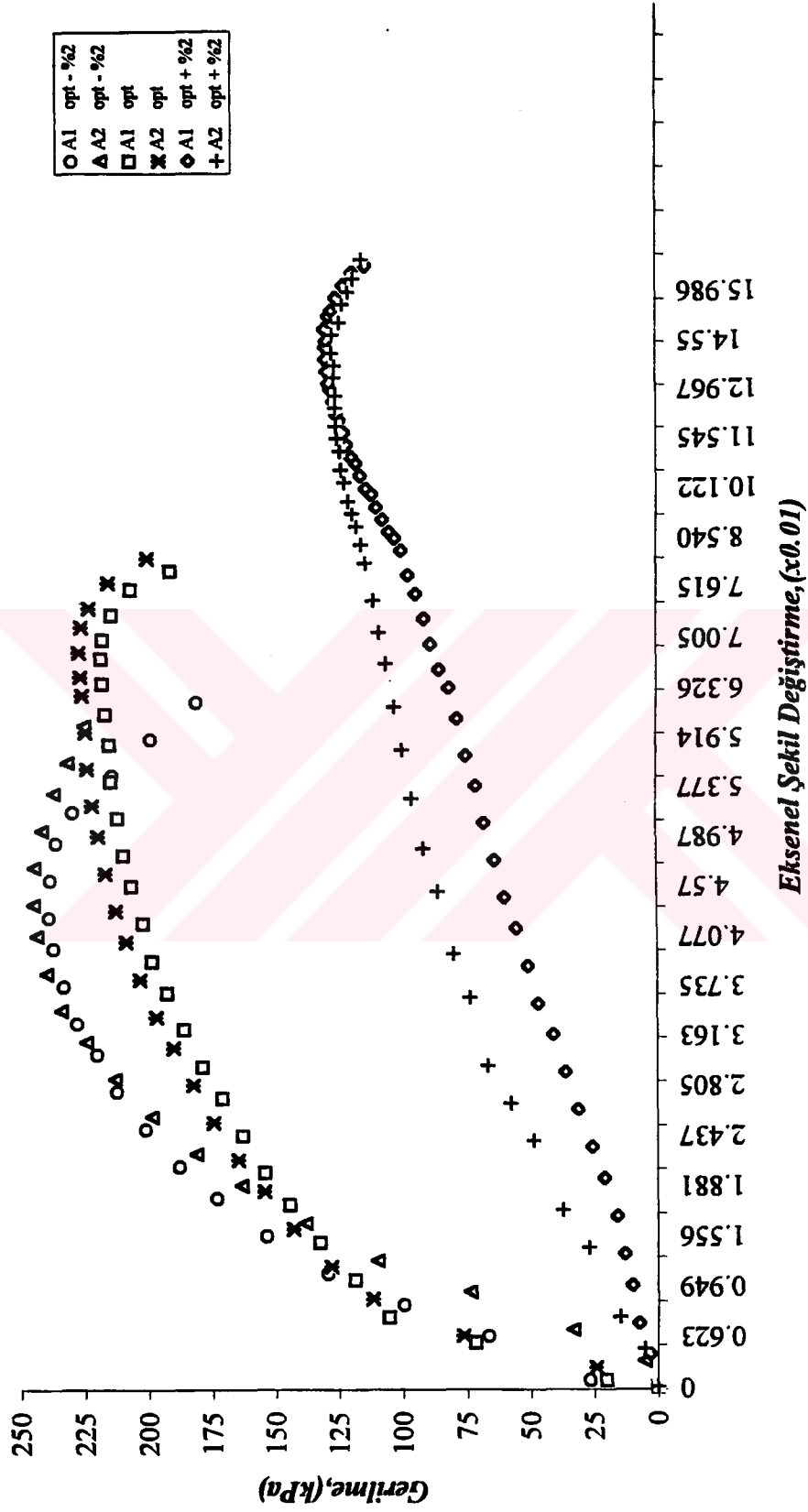
Hazırlanan numuneler, biri sabit diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki yuvarlak plaka arasına yerleştirilerek eksenel yönde düşey olarak yüklemeye tabi tutulmuşlardır. Eksenel yük artışları altında meydana gelen boy kısaltmaları (eksenel şekil değiştirmeleri) bir deformasyon saati ile ölçülmüş olup Şekil 12.1. ve 12.2.'de gösterilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

Deney esnasında yükleme, göreceli olarak hızlıdır ve numuneler çabuk kesildiği için konsolidasyonsuz-drenajsız (UU) deney niteliğini taşımaktadır.

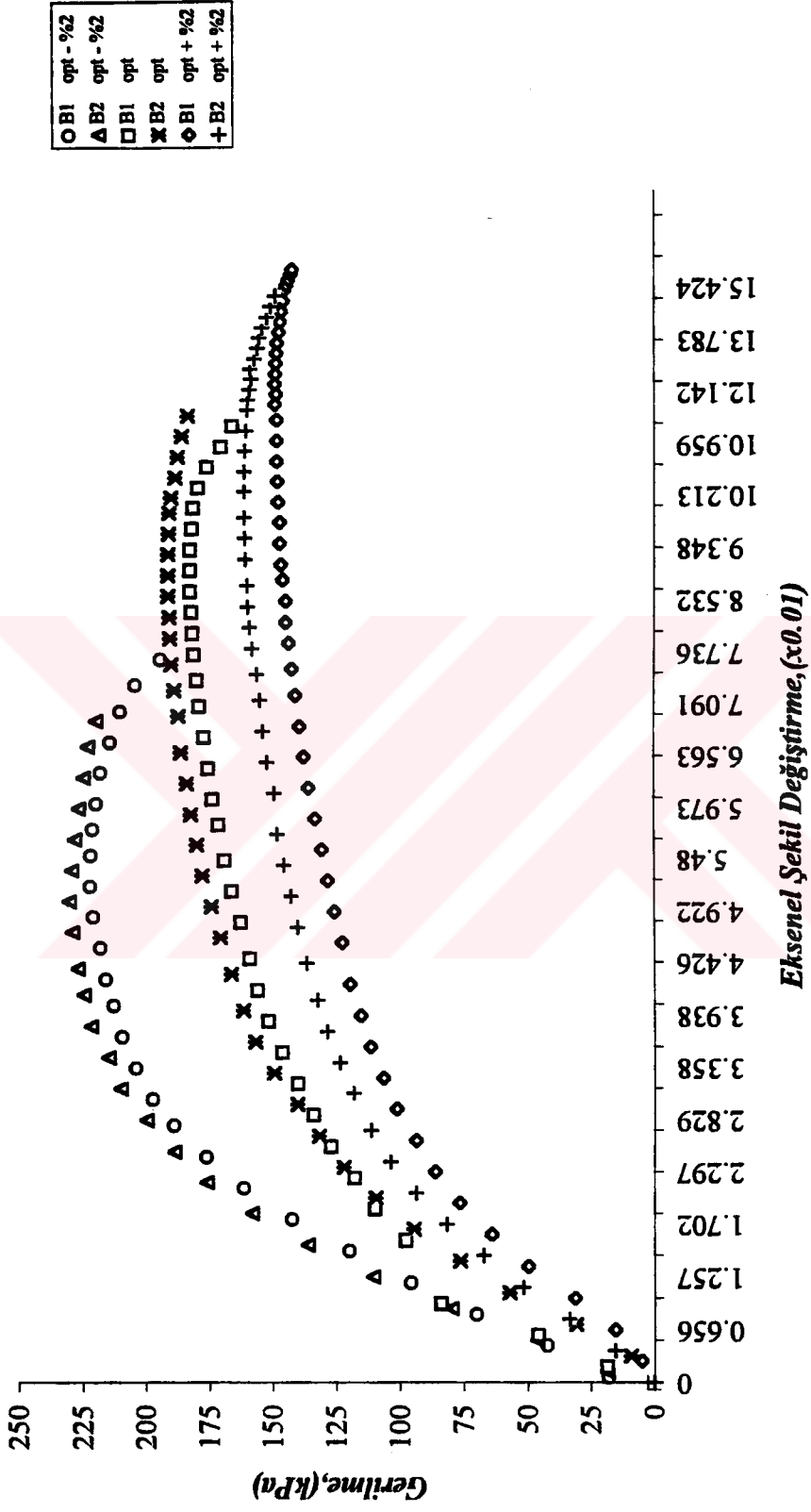
Eğrilerden elde edilen en büyük kayma direnci değerleri dolgu malzemelerin serbest basınç dirençleri olarak Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo: 4. Dolgu Malzemelerin Serbest Basınç Dirençleri

Malzeme	Serbest Basınç Direnci (q_u , kPa)
A $\omega_{opt}-\%2$	241.47
A ω_{opt}	222.19
A $\omega_{opt}+\%2$	128
B $\omega_{opt}-\%2$	225.38
B ω_{opt}	186.77
B $\omega_{opt}+\%2$	154.44



Şekil : 12.1 A Malzemesi Serbest Basıncı Deney Sonuçları



Şekil : 12.2 B Malzemesi Serbest Basınç Deney Sonuçları

5.4.4.3. Üç Eksenli [Konsolidasyonsuz-Drenajsız (UU)]

Üç eksenli Basınç Deneyi hem basınç ve gerilme dağılımlarının hem de drenaj koşullarının çok iyi kontrol edilebilme olanağı bulunan ve en çok kullanılan bir laboratuvar deneyidir. UU deneyde numune, drenajsız koşulda hidrostatik gerilmeler etkisinde kaldıktan sonra, eksenel basınç uygulaması aşamasında drenajsız olarak eksenel gerilme artmasıyla göçmeye ulaşılmaktadır. Suyu doygun killerde drenajsız şartlarda uygulanan hücre basıncında efektif gerilmeler değişmeden kalmakta ve hücre basıncına eşit bir boşluk suyu basıncı artışı oluşmaktadır. Drenajsız durumda hidrostatik basınç altında meydana gelen boşluk suyu basıncı artışlarını zeminin suya doygünlük derecesini ölçmek için kullanmak mümkün olmaktadır.

Üç eksenli basınç deneyinde, eksenel gerilme(σ_a); zemin numunesine her doğrultuda uygulanan hücre basıncına ($\sigma_a = \sigma_3$) ek olarak uygulanmaktadır. En büyük asal gerilme,

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_a \quad (5.5)$$

$$\sigma_a = \sigma_1 - \sigma_3 \quad (5.6)$$

olmaktadır. En büyük asal gerilme farkı ($\sigma_1 - \sigma_3$) aynı zamanda deviatorik gerilme olarak nitelendirilmektedir. Zemin numunesinde, sabit hücre basıncı ($\sigma_c = \sigma_3$) altında gittikçe artan eksenel gerilme seviyeleri, deviatorik gerilme ($\sigma_1 - \sigma_3$)_f değerine ulaşınca göçme meydana gelmektedir. Numune, ya genişleyerek ya da diagonal istikamette çok sayıda düzlemler boyunca kırılabilmektedir.

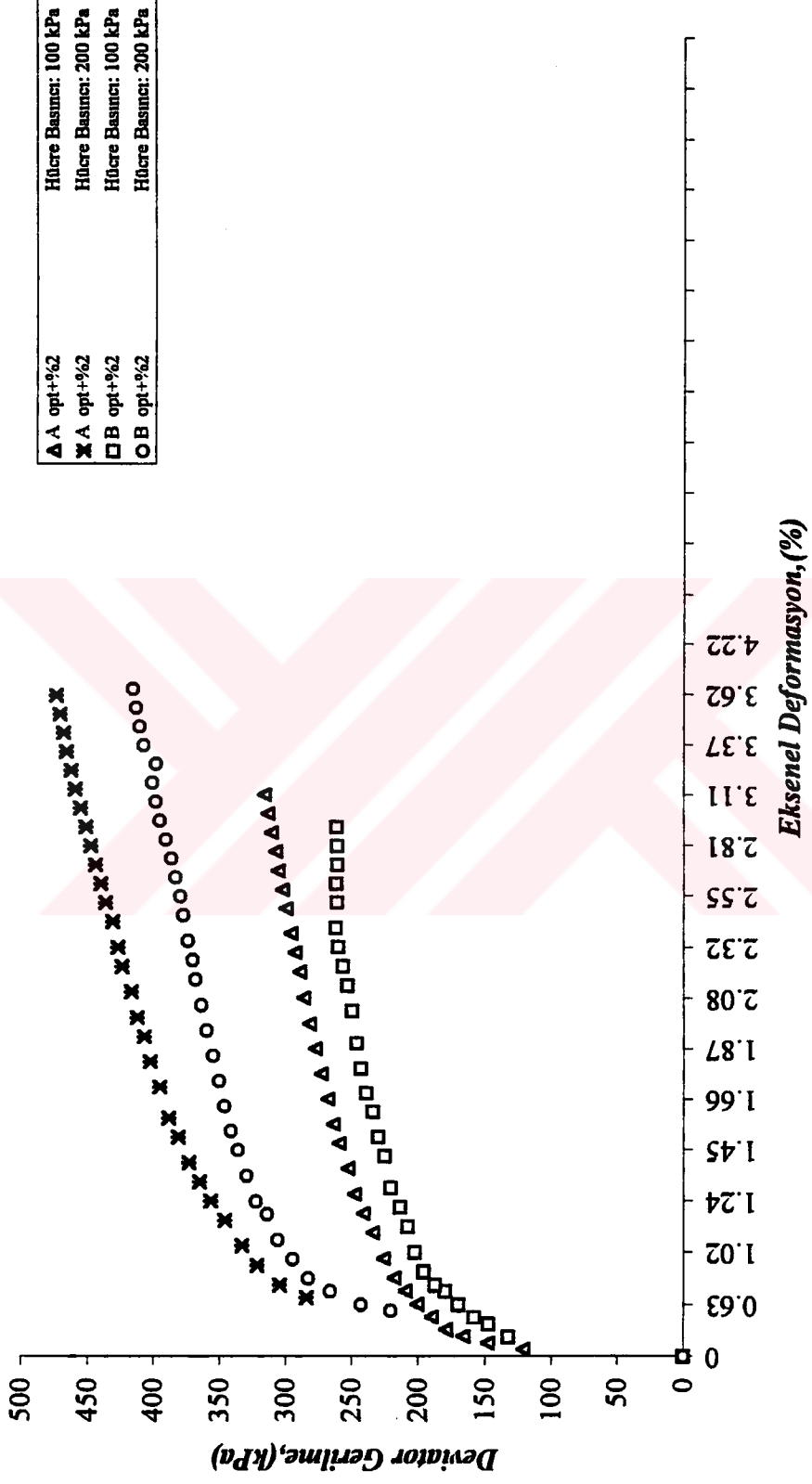
Üç eksenli basınç deneyinde istenen boyutta hazırlanan silindirik numuneler (dolgu malzemeleri) serbest basınç deneyinde olduğu gibi optimumun %2 ıslak tarafında hazırlanmışlardır. Deney numuneleri etrafına ince filtre kağıtları sarılarak bir membran geçirici yardımıyla membran içine (numuneyi hücre içindeki sıvıdan etkilenmesini ve su kaybını önlemek üzere kauçuk kılıf geçirilmesi) alınmıştır. Membran içindeki numune üç eksenli sistemin hücresine alt başlık üzerine ve üst başlığın altına da poroz taş konularak (drenaj koşullarını kontrol etmek için) kaçuk ringlerle membran, alt ve üst başlıklara tutturulmuştur. Numunelerin yerleştirilmesinden sonra pleksiglasdan yapılmış silindirik üç eksenli deney hücre başlığı kapatılmış ve hücre su ile doldurulmuştur. Drenaj suyu vanaları kapatılarak deney sırasında numunelerden su çıkışına izin verilmemiştir. Zemin numunelerinin Mohr gerilme daireleri yardımıyla kırılma zarflarının çizilebilmesi için ilk olarak hücre basıncı 100 kPa altında sabit tutulurken, yükleme çubuğu vasıtasıyla numuneler sabit bir deformasyon hızı ile kırılıncaya (%20 deformasyona) kadar eksenel yüklemeye tabi tutulmuşlardır. Daha sonra deney 200 kPa sabit hücre basıncı altında

tekrarlanmıştır. Deney esnasında eksenel yük ve deformasyonlar transducerler yardımıyla bilgisayara bağlı elektronik bir sistemle ölçülüp kaydedilmiştir. Şekil 13.1'de numunelerin deviator gerilme ile eksenel şekil değişirmesi aralarında ilişki gösterilmiştir. Dolgu malzemelerine ait kırılma anındaki σ_1 eksenel basınç ile σ_3 hücre basınçları belirlenerek Şekil 13.2'de gösterilen Mohr daireleri çizilmiştir. Göçme durumunu gösteren bu gerilme dairelerine ortak teğetlerin çizilmesi ile kırılma zarfları elde edilmişlerdir.

Üç eksenli basınç deneyleri sonucunda belirlenen dolgu malzemelerinin kayma mukavemeti parametreleri, Tablo 5'de gösterilmiştir.

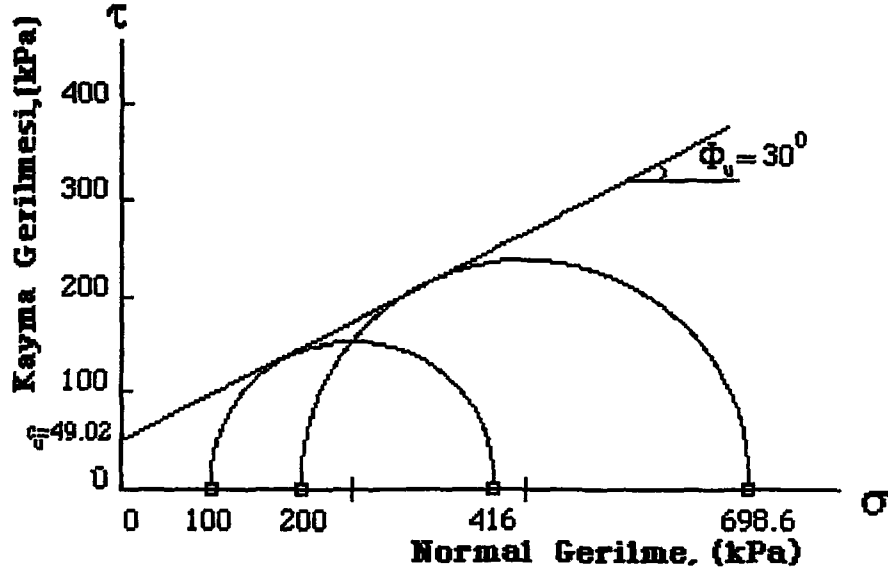
Tablo: 5 Dolgu Malzemelerin Üç Eksenli Basınç (UU) Deneyinden Bulunan Kayma Mukavemeti Değerleri

Malzeme	Kohezyon (C_u , kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ_u , °)
A $\omega_{opt} + \%2$	49.02	30
B $\omega_{opt} + \%2$	38.46	28

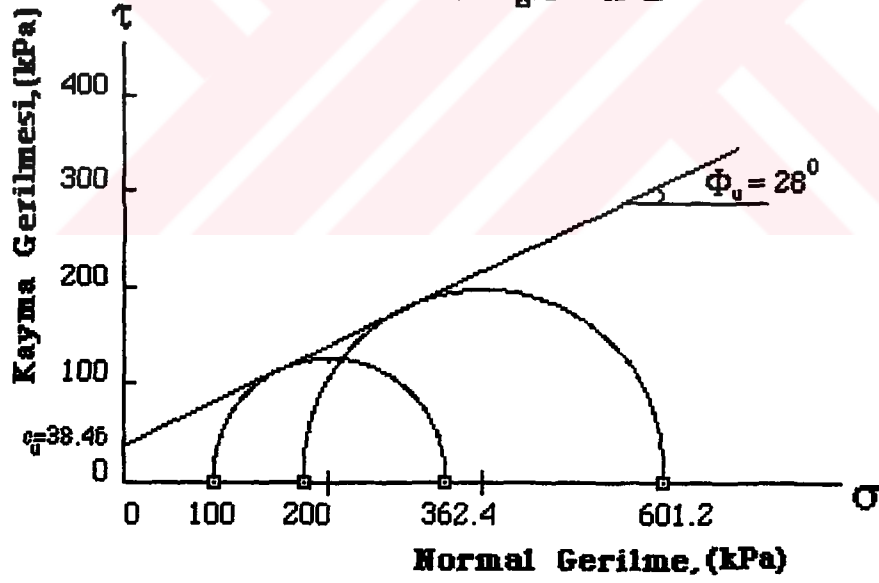


Şekil : 13.1 Dolgu Malzemelerin Üç Eksenli de Eksenli de Eksenel Deformasyon-Deviator Gerilme İlişkisi

A opt + 8 2



B opt + 8 2



Şekil:(13.2) Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafındaki Dolgu Malzemelerinin Üç Eksenli Basınç (UU) Deneyine Ait Mohr Daireleri

5.4.5. Sıkışabilirlik

Baraj gövdesi, üzerinde bulunduğu zeminle teması sağlamakta ve baraja etkiyen üst yapı yüklerini zemine aktarmaktadır. Baraj temel zemini, üst yapının duraylılığına etkili olan ana faktörlerden birini teşkil eder. Dolgu barajlarda baraj dolgu gövdesi teşkilinde kullanılan kohezyonlu zeminlerin inşa esnasında baraj yüksekliği arttıkça sıkışacağı şüphesizdir. İnşaatin bitirilmesinden sonra barajda su tutulması (göl oluşturulması) ile, geçirimsiz bölge (çekirdek) su ile doymun hale geldiğinde gövdede ani oturmalar sebep olabilmektedir. [Baraj dolgu gövdesinin oturduğu zemin de zamanla suya doymun hale geleceğinden, büyük oturmalar olabilmektedir.] Baraj gövdesinin göçme yapmaması için temel zeminin taşıma gücünün, gövdeden aktarılacak toplam yükleri (sabit, hareketli ve deprem kuvvetleri) karşılayacak şekilde olması gerekir. Aksi halde dolgudan gelen düşey yükleri taşıyamadığı takdirde, kısa zamanda göçerek üst yapının tamamen veya kısmen yıkılmasına sebep olur (Golze, 1977). Bu nedenle dolgunun temelini oluşturan temel zeminlerde beklenen, dolgunun inşaat başlangıcından ekonomik ömrün sonuna kadar karşılayacağı her türlü yükleme durumlarında (Rezervuardaki su seviyesinin değişikliğine bağlı olarak baraj temel zeminine intikal eden yükleme biçimi devinimli olmaktadır) duraylı kalmasıdır. Üst yapının kendisinden beklenen fonksiyonu yerine getirebilmesi için baraj gövdesi ve temeli, birleşik bir birim gibi fonksiyon yapacak şekilde tasarlanmalıdır (Tosun, 1993).

Zeminlerin, yüklenme durumlarında şekil değiştirmeye maruz kaldıkları bilinmektedir. Zeminleri elastik deformasyonu yükün tatbikinden hemen sonra meydana gelmektedir. Uygulanan yüklerden veya etkilerden dolayı (dolgu yükü altında) yüklenen zemin tabakalarında ve yapılarında az veya çok bir oturma (çökme, sıkışma, tasman) olur. Oturma, yapıların hasar görmesinde önem taşıyan hususların başında gelir. Oturmaların yapı üzerinde oluşturacağı hasarı önlemek için oturma veya oturma farkları, belli (müsade edilebilir) oturma değerlerini aşmamalıdır (Bjerrum, 1963).

Oturma;

- Ani oturmalar,
- Konsolidasyon oturması,
- Plastik oturmalar,

şeklinde bileşenlerine ayrılabilir. "Ani oturmalar" suya doymun zeminlerde hacim değişmesi (su muhtevası değişmesi) olmadan meydana gelen oturmalarlardır. Yumuşak killerde, zeminin taşıma gücünün aşılması sonucunda "plastik oturmalar" oluşur.

Konsolidasyon bildiğimiz gibi basınç etkisi (dolgu yükü) altında kohezyonlu, suya doymun zeminlerde daneler arasındaki boşluk suyunun hidrolik potansiyel kazanarak zeminden dışarı çıkması ve bu olayı izleyerek zemin danelerinin birbirlerine yaklaşması, boşlukların azalması ve zeminin konsolide olmasıdır.

Suya doymun zeminler ilave bir yüke maruz kaldığı zaman, bu ilave basınç önce su tarafından karşılanır. Çünkü suyun sıkışma kabiliyeti zemine nazaran çok azdır. Yük tesiri ile su, zemin içindeki boşluklardan dışarı çıktıkça, basınç da sudan zemin danelerine aktarılmaya başlar. Dışarıya çıkan suyun hacmi kadar zemin küçülmesi olur ve buna bağlı olarak basınç sudan zemine aktarılır. Eğer zemin "tamamen suya doymunsa", oluşan ilave efektif gerilmeler tamamen ilave boşluk suyu basıncı ile karşılanır. "Kısmen suya doymun" zeminler ise bu gerilmeleri ilave boşluk suyu ve zemin boşluklarındaki hava basıncı ile karşılarlar.

İlave boşluk suyu basıncı tamamen sönmümleninceye veya uygulanan yükün zemin daneleri tarafından taşınabilecek hale gelinceye kadar geçen zaman konsolidasyon süresi olarak tanımlanır.

Konsolidasyon, yük altında zemin dahilindeki suyun atılması söz konusu olduğu için basıncın sudan zemine intikali, boşluk suyunun tahliye edilme hızına, yani zeminin permeabilitesi ve kompressibilitesine bağlı olarak uzun bir süre içinde tamamlanır. Konsolidasyonun yavaş gerçekleştiği sıkıştırılmış ince daneli dolgularda, sıkışabilirlik ve buna bağlı olarak geçirgenliğin çok düşük olması oluşacak oturmaların, boşluk suyu basınçlarının ve oturma-zaman davranışlarının çok büyük farklılıklar göstermesine neden olurken, farklı zonlar arasındaki oturma farklılıkları büyük lokal gerilme yığılmalarına yol açabilmektedir (Çinicioğlu, 1993).

Konsolidasyon hızı hakkında bilgi, oturmaların dolgu üzerinde oluşturacağı hasarı önlemek amacıyla önem kazanmaktadır (Kumbasar, 1984). Zemindeki konsolidasyonun meydana geliş hızı aşağıdaki değişkenlere bağlıdır:

- Sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı boyunca efektif basınç dağılımı,
- Drenaj yolunun uzunluğu,
- Suyun, zemin tabakasının bir veya her iki yüzünden kaçabilmesi,
- Zeminin hacimsal sıkışma katsayısı,
- Zeminin permeabilite katsayısı.

Kohezyonlu zeminlerde oturmalar ödometre deneylerinde ölçülen zemin parametreleri ile hesaplanmaktadır (kohezyonlu zeminlerde ödometre deney sonuçlarından elde edilecek oturmaların daha gerçekçi olduğu bilinmektedir).

Uygulanan ödometre deneylerinden zeminlerin;

m_v = hacimsel sıkışma katsayısı,

C_v = konsolidasyon katsayısı,

E_s = $1/m_v$: deformasyon modülü,

C_c = sıkışma indisi,

C_s = kabarma indisi,

$P_{ön}$ = ön konsolidasyon basıncı.

parametreleri elde edilmektedir. Bu parametrelerin derinlikle olan değişimi dikkate alınarak ve dolgu altındaki düşey gerinme artışları lineer elastik teoriden hesaplanarak oturma miktarları klasik yöntemlerle belirlenmektedir (Tosun, 1993).

Hamzadere Dolgu barajının inşasında dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminlerin [baraj dolgu gövdesinin] değişik su muhtevaları ve farklı basınçların (yük uygulanması nedeniyle oluşan) sonrasında meydana gelecek oturmaların incelenmesi ve inşaatın çeşitli aşamalarında ne kadar oturma yapacaklarının saptanması amacıyla standart ödometre (bir boyutlu konsolidasyon) deneyleri yapılmıştır.

Bu deneyde numuneler (dolgu malzemeleri) optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında, optimum su muhtevasında ve optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafında Standart Proktor kabında sıkıştırılarak hazırlanmıştır. Daha sonra özel olarak yapılmış ödometre ringlerine numuneler çok yavaş ve dikkatlice alınmıştır. İçlerinde numune bulunan ringler, ödometre aletinde iki poroz taş arasına yerleştirilmiş ve rijit bir halka içinde (yanal genişlemesi engellenmiş) eksenel yönde yükleme uygulandıktan sonra, hazneye su verilmiştir. Deney sırasında numunelerin suya doygunluğunun sağlanması için, konsolidasyon hücresindeki suyun en az numunelerin üst yüzeylerinde olmasına dikkat edilmiştir. Ödometre konsolidasyon basınçları (0.25-0.5-1.0-2.0-4.0-8.0 kg/cm²) olarak seçilmiş ve numunelere sırasıyla bu basınç kademelerinde (üzerindeki yük arttırılarak) yükleme yapılmış ve numunelerin konsolidasyonu tamamlanması sağlanınca yine kademeli olarak (düşey yük azaltılarak) boşaltılmıştır. Yük uygulamasından sonra meydana gelen eksenel yöndeki deformasyonlar okuma saati vasıtası ile zamana bağlı olarak kaydedilmiştir. Aletten sökülen numuneler etüvlerde kurutularak deney sonu su muhtevaları belirlenmiştir.

Deneyler sonucunda zamana bağlı ölçümlerden yarı logaritmik grafik üzerine deplasman-zaman ilişkisi işlenerek 0.25-8 kg/cm² basınç aralığında, her basınç aşaması için %50 konsolidasyona karşılık gelen zaman (t_{50}) Casagrande yöntemine göre saptandıktan sonra konsolidasyon katsayısı (C_v);

$$C_v = \frac{T_v \cdot H_d^2}{t_{50}} \quad (5.7)$$

bağıntısından hesaplanmıştır. Burada T_v , %50 konsolidasyon yüzdesine karşılık gelen zaman faktörüdür.

Konsolidasyon numunelerinde her bir düşey yük kademesi için kademedeki kalınlık değişmesi (ΔH), kademedeki boşluk oranı değişmesi (Δe), her kademe sonundaki boşluk oranı (e), birim boy kısalması ($\Delta H / H_o$), sıkışma katsayısı (a_v) ve hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) hesaplanarak tablo edilmiştir. Elde olunan deformasyonlar ve boşluk oranlarından yararlanılarak gerilme seviyelerine bağlı olarak boşluk oranı-yük (e -logP) diyagramları çizilmiştir. Eğriler üzerinde lineer kısımlar kullanılarak, sıkışma indisleri (C_c) ve kabarma indisleri (C_s) bulunmuştur.

Konsolidasyon hesaplamalarında kullanılan değerler aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla bulunabilmektedir:

$$V_s = W_s / G_s \quad (5.8)$$

ile ifade edilirse

$$H_s = V_s / A \quad (5.9)$$

eşitliğinden

$$H_v = H_o - H_s \quad (5.10)$$

değerleri yerine konulursa

$$e_o = H_v / H_s \quad (5.11)$$

olarak elde edilmiştir. Sonuçta

$$\Delta e / (1 + e_o) = \Delta H / H_o \quad (5.12)$$

çıkar. Buradan

$$\Delta e = (1 + e_o) \Delta H / H_o \quad (5.13)$$

bulunur.

Toplam 6 adet ödometre deneyinde elde edilen veriler değerlendirilerek belirlenen konsolidasyon deney sonuçları sırasıyla Tablo 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 ve 6.6'da toplu halde gösterilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak konsolidasyon oturmasının hesaplanması açısından büyük önem taşıyan e -log P eğrileri Şekil 14.1, 14.2 ve 14.3'de çizilmiştir.

Tablo: 6.1. Optimumun %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademesi ΔP (kg/cm ²)	ΔH (cm)	t ₅₀ (dak)	Δe = 0.761 ΔH	e = e ₀ - Δe	a _v = Δe / ΔP	m _v = a _v / (1 + e) (cm ² /kg)	C _v (cm ² /dak)	ΔH / H ₀ (x10 ⁻³)	E _s = 1 / m _v (kg/cm ²)
0					e ₀ = 0.521					
0.22										
0.45										
0.90	0.45-0.90	0.015	21	-0.011	0.510	0.025	0.016	0.009	7.4	62.5
2.03	0.90-2.03	0.034	5.2	-0.026	0.484	0.023	0.015	0.036	24.4	66.67
4.07	2.03-4.07	0.059	3.4	-0.045	0.439	0.022	0.015	0.053	53.98	66.67
8.03	4.07-8.03	0.091	4.8	-0.069	0.370	0.018	0.012	0.035	99.57	83.33
4.07	8.03-4.07	0.009		+0.007	0.377	0.002	0.001			
2.03	4.07-2.03	0.013		+0.010	0.387	0.005	0.003			
1.13	2.03-1.13	0.012		+0.010	0.396	0.011	0.007			
0.45	1.13-0.45	0.029		+0.022	0.418	0.032	0.021			

G_s = 2.59

W₀ = 150gr

ω₀ = %17.2

ω_{son} = %22.77

H₀ = 2cm

A = 44.06cm²

Tablo: 6.2. Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Denev Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademesi ΔP (kg/cm ²)	ΔH (cm)	t_{50} (dak)	$\Delta e = 0.733 \Delta H$	$e = e_0 - \Delta e$	$a_v = \Delta e / \Delta P$	$m_v = a_v / 1 + e$ (cm ² /kg)	C_v (cm ² /dak)	$\Delta H / H_0$ (x10 ⁻³)	$E_s = 1 / m_v$ (kg/cm ²)
0					$e_0 = 0.466$					
0.25										
0.5										
1	0.5-1	0.007	36	-0.005	0.461	0.010	0.007	0.005	3.43	142.86
2	1-2	0.014	24	-0.011	0.451	0.011	0.007	0.008	10.67	142.86
4	2-4	0.030	17	-0.022	0.429	0.011	0.007	0.011	25.63	142.86
8	4-8	0.039	6.8	-0.028	0.401	0.007	0.005	0.027	44.96	200
4	8-4	0.006		+0.004	0.405	0.001	0.001			
2	4-2	0.012		+0.008	0.414	0.004	0.003			
1	2-1	0.013		+0.009	0.423	0.009	0.006			
0.5	1-0.5	0.010		+0.007	0.431	0.015	0.010			

$G_s = 2.59$

$W_0 = 67.95\text{gr}$

$\omega_0 = \%19.2$

$\omega_{son} = \%22.37$

$H_0 = 2\text{cm}$

$A = 19.24\text{cm}^2$

Tablo: 6.3. Optimum %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış A Malzemesi Konsolidasyon Deneyi Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademesi ΔP (kg/cm ²)	ΔH (cm)	t ₅₀ (dak)	Δe = 0.683 ΔH	e = e ₀ - Δe	a _v = Δe / ΔP	m _v = a _v / (1 + e) (cm ² /kg)	C _v (cm ² /dak)	ΔH / H ₀ (x10 ⁻³)	E _s = 1 / m _v (kg/cm ²)
0					e ₀ = 0.605					
0.25										
1	0.25-1	0.028	15.4	-0.019	0.586	0.025	0.016	0.017	12	62.5
2	1-2	0.037	12	-0.025	0.560	0.025	0.016	0.022	27	62.5
4	2-4	0.049	11.5	-0.033	0.527	0.017	0.010	0.022	48	100
10	4-10	0.084	8.4	-0.057	0.470	0.010	0.006	0.028	84	166.67
4	10-4	0.012		+0.008	0.478	0.001	0.001			
2	4-2	0.015		+0.010	0.488	0.005	0.003			
1	2-1	0.016		+0.011	0.499	0.011	0.007			
0.25	1-0.25	0.034		+0.023	0.522	0.031	0.019			

$$G_s = 2.59$$

$$W_o = 106.35 \text{ gr}$$

$$\omega_o = \%23.2$$

$$\omega_{son} = \%23.04$$

$$H_o = 2.35 \text{ cm}$$

$$A = 28.04 \text{ cm}^2$$

Tablo: 6.4. Optimum %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Deney Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademeleri ΔP (kg/cm ²)	ΔH (cm)	t_{50} (dak)	$\Delta e = 0.820 H$	$e = e_0 - \Delta e$	$a_v = \Delta e / \Delta P$	$m_v = a_v / (1 + e)$ (cm ² /kg)	C_v (cm ² /dak)	$\Delta H / H_0$ (x10 ⁻³)	$E_s = 1 / m_v$ (kg/cm ²)
0					$e_0 = 0.640$					
0.25										
0.5										
1										
2	1-2	0.012	1	-0.010	0.630	0.010	0.006	0.194	5.99	166.67
4	2-4	0.021	6.2	-0.017	0.613	0.009	0.005	0.031	16.58	200
8	4-8	0.057	15.4	-0.047	0.566	0.012	0.007	0.012	45.19	142.86
4	8-4	0.009		+0.008	0.574	0.002	0.001			
2	4-2	0.016		+0.013	0.587	0.007	0.004			
1	2-1	0.017		+0.014	0.601	0.014	0.008			
0.5	1-0.5	0.019		+0.015	0.616	0.031	0.019			

$G_s = 2.68$

$W_o = 66\text{gr}$

$\omega_o = \%20.5$

$\omega_{son} = \%24.62$

$H_o = 2\text{cm}$

$A = 19.24\text{cm}^2$

Tablo: 6.5. Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Denev Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademesi ΔP (kg/cm ²)	ΔH (cm)	t_{50} (dak)	$\Delta e = 0.791 \Delta H$	$e = e_0 - \Delta e$	$a_v = \Delta e / \Delta P$	$m_v = a_v / (1 + e)$ (cm ² /kg)	C_v (cm ² /dak)	$\Delta H / H_0$ (x10 ⁻³)	$E_s = 1 / m_v$ (kg/cm ²)
0					$e_0 = 0.582$					
0.25										
0.5										
1	0.5-1	0.015	25	-0.012	0.570	0.024	0.015	0.008	7.49	66.67
2	1-2	0.029	40	-0.023	0.547	0.023	0.014	0.005	21.91	71.43
4	2-4	0.043	30	-0.034	0.513	0.017	0.011	0.006	43.5	90.91
8	4-8	0.072	70	-0.057	0.456	0.014	0.009	0.002	79.44	111.11
4	8-4	0.010		+0.008	0.464	0.002	0.001			
2	4-2	0.017		+0.013	0.477	0.007	0.004			
1	2-1	0.019		+0.015	0.493	0.015	0.010			

$G_s = 2.68$

$W_0 = 65.2\text{gr}$

$\omega_0 = \%18.5$

$\omega_{son} = \%24.39$

$H_0 = 2.0\text{cm}$

$A = 19.24\text{cm}^2$

Tablo: 6.6. Optimum %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış B Malzemesi Konsolidasyon Denei Sonuçları

Basınç P (kg/cm ²)	Basınç Kademesi ΔP (kg/cm ²)	H (cm)	t ₅₀ (dak)	Δe = 0.861 ΔH	e = e ₀ -Δe	a _v = Δe /ΔP	m _v = a _v /1+e (cm ² /kg)	C _v (cm ² /dak)	ΔH /H ₀ (x10 ⁻³)	E _s = 1 / m _v (kg/cm ²)
0					e ₀ = 0.722					
0.25										
0.5										
1	0.5-1	0.015	37	-0.013	0.709	0.027	0.015	0.005	7.75	66.67
2	1-2	0.038	35	-0.032	0.677	0.032	0.019	0.005	26.68	52.63
4	2-4	0.064	41	-0.055	0.622	0.028	0.016	0.004	58.57	62.5
8	4-8	0.087	74	-0.075	0.547	0.019	0.011	0.002	102.01	90.91
4	8-4	0.013		+0.011	0.558	0.003	0.002			
2	4-2	0.019		+0.017	0.575	0.008	0.005			
1	2-1	0.021		+0.018	0.593	0.018	0.010			

G_s = 2.68

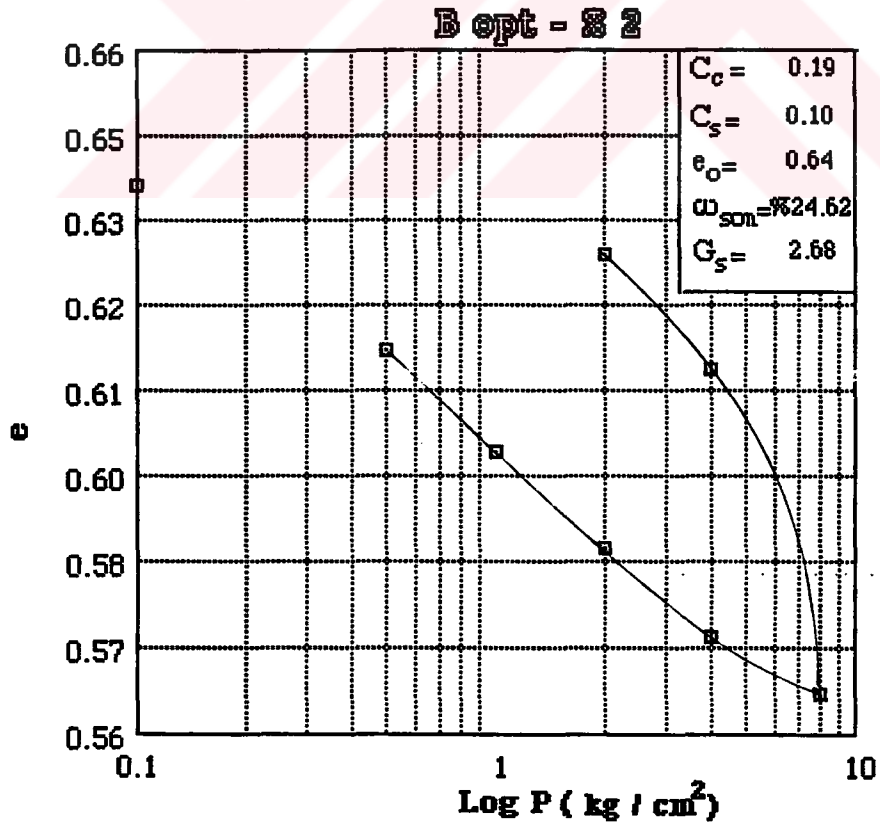
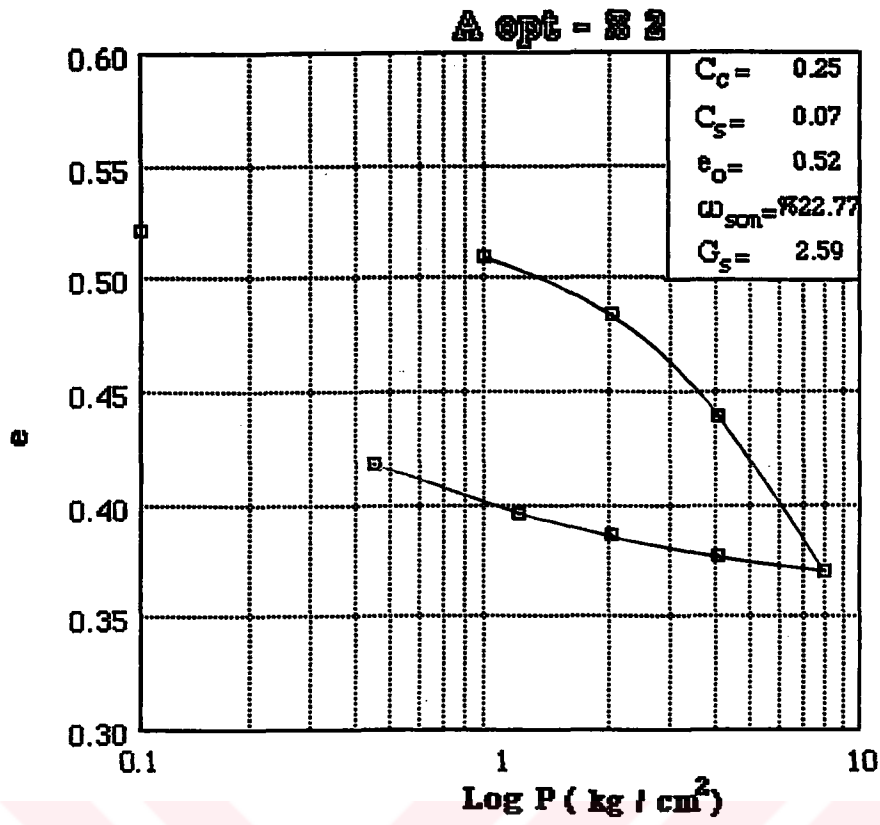
W₀ = 137.1

ω₀ = %22.5

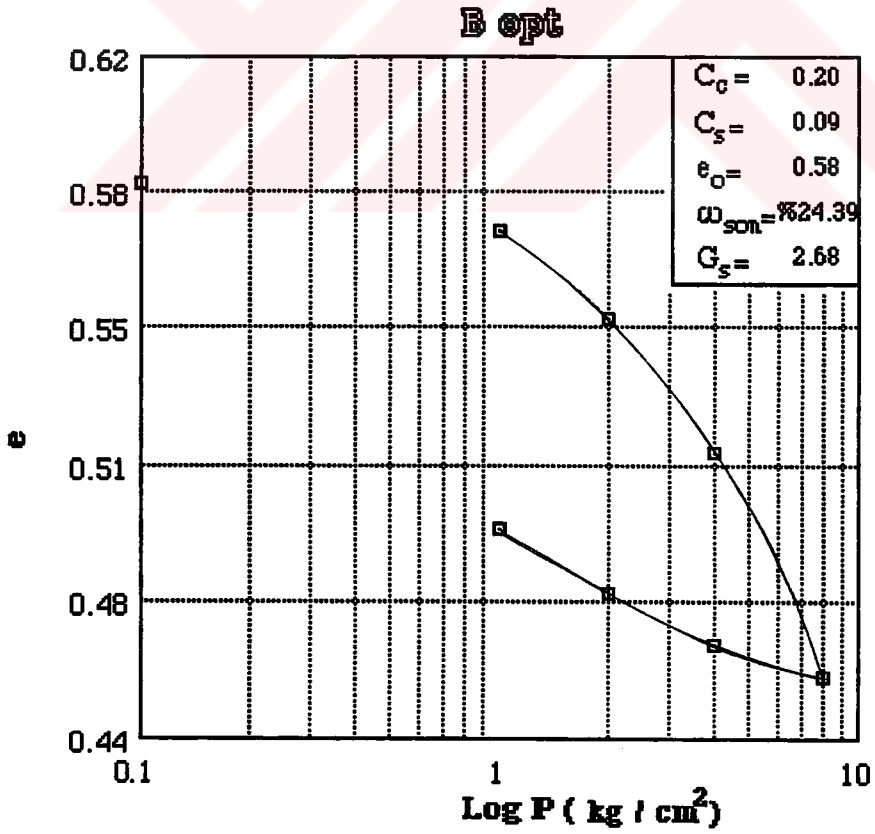
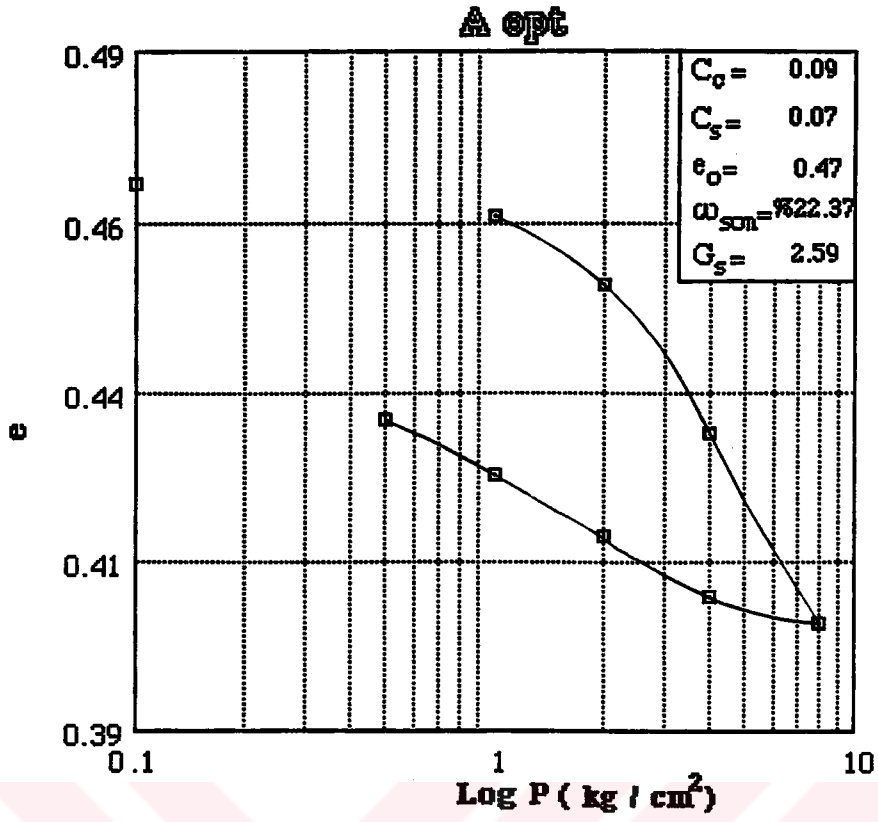
ω_{son} = %26.62

H₀ = 2cm

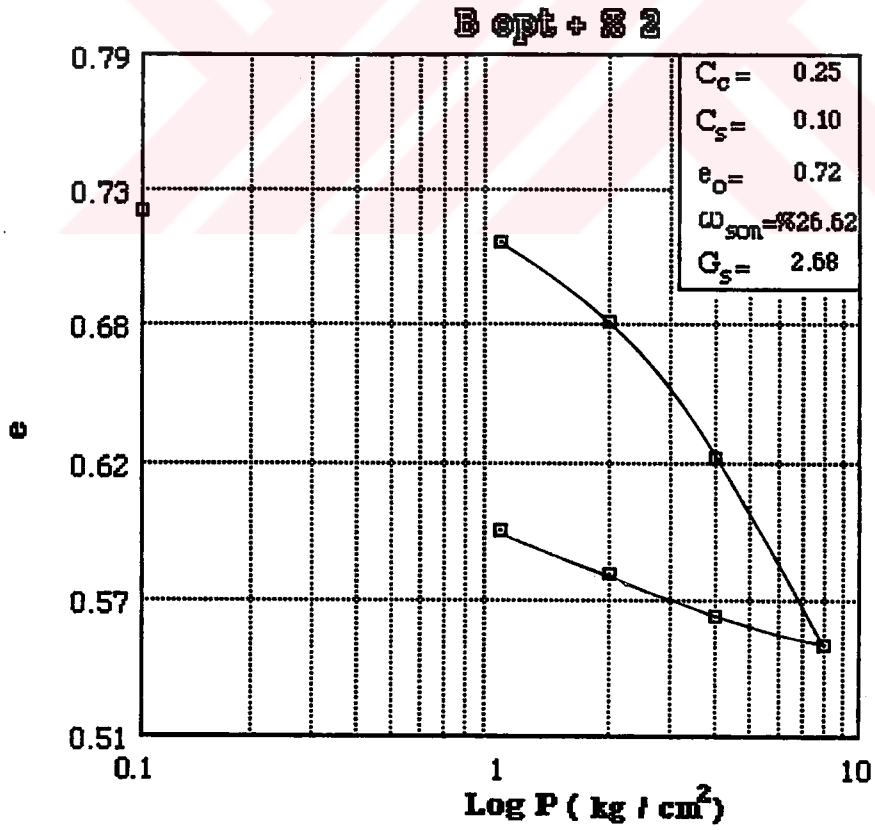
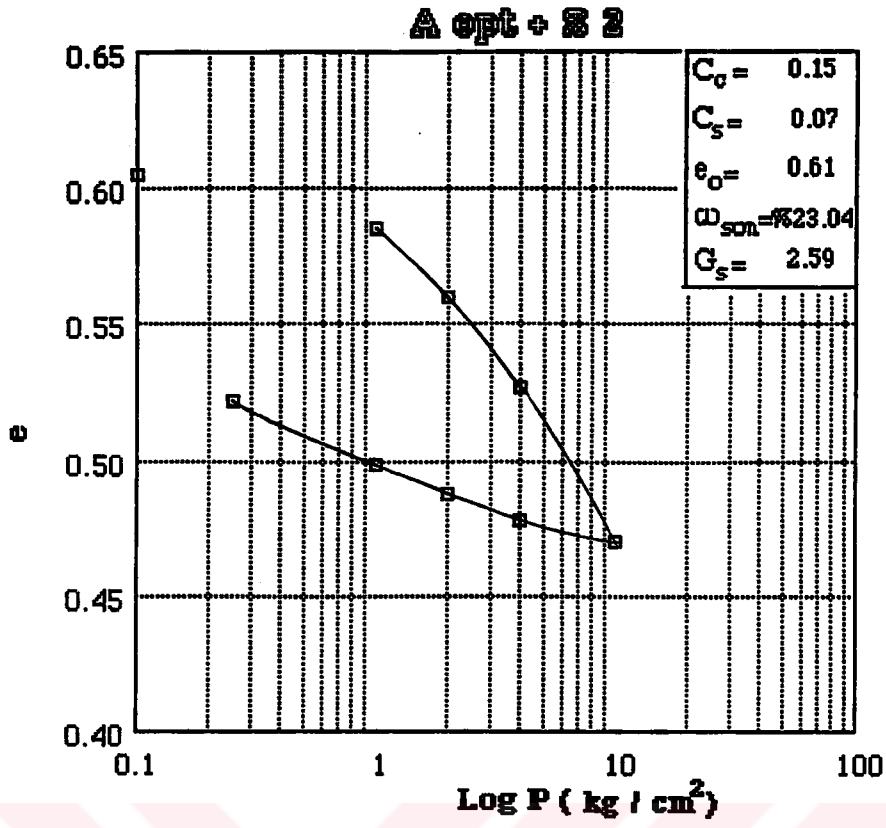
A = 44.06cm²



Şekil:(14.1) Optimum Su Muhtevasının %2 Kuru Tarafında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e - Log P eğrileri



Şekil:(14.2) Optimum Su Muhtevasında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e - Log P eğrileri



Şekil:(14.3) Optimum Su Muhtevasının %2 Islak Tarafında Sıkıştırılmış Dolgu Malzemelerin e - Log P eğrileri

5.4.5.1. Şişme Parametreleri

Baraj gölünde (rezervuarında) su birikmeye başlamasından sonra, baraj gövdesinde sıkıştırılan suya doymun olmayan yüksek plastisiteli siltli ve killi zeminler [baraj dolgu gövdesinin oturduğu kısmen suya doymun veya yoğunlukları düşük bünyeye sahip kohezyonlu zeminler] zamanla suya doymun hale geleceğinden, artan su muhtevası ile hacimsel genişleme yaparlar ve buna karşı gelen şişme basınçları ortaya çıkabilir. Üzerine baraj dolgusu inşa edilmiş bu tür zeminlerde, dolgu altındaki bazı noktalar kilin şişme özelliğinden kaynaklanan büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalabilirler. Su etkisi ile şişme ve kabarmaların meydana gelmesi, baraj gölünden suların kaçmasına neden olur. Bazı hallerde, bir çok faktörlerin bir araya gelmesiyle, dolgu barajlardan bazıları kullanılmaz hale gelir veya büyük zararlar meydana getirerek yıkılırlar (Floyd, 1987).

Zeminlerin şişme miktarının ve şişme potansiyelinin önceden belirlenmesi ile; gerekli önlemlerin alınması ve inşa edilen su yapılarında (sulama ve enerji tesislerinde) olabilecek zararların minimuma indirilmesi mümkün olmaktadır (Tosun, 1992).

Şişme potansiyeli ve şişme basıncı (şişme parametreleri), zeminlerdeki şişebilirliğin dolayısıyla arazide oluşacak muhtemel kabarma miktarlarının belirlenmesinde kullanılır. Şişme potansiyeli, zeminlerin 6.9 kPa yük altında hacimlerindeki düşey doğrultudaki değişimi (yüzde şişme değeri) ve şişme basıncı da şişme olmasına izin vermeyecek şekilde yük arttırılarak şişmenin oluşmadığı durumda ulaşılan basınç (Komornik ve David,1969) veya şişmeye izin verildikten sonra numunenin başlangıç halindeki durumuna (boşluk oranı, yükseklik) dönebilmesi için gerekli basınç olarak tanımlanmaktadır (Wong, 1980).

Killi zeminlerde şişme özelliklerin belirlenmesinde karşılaşılan en büyük zorluk şişmeyi etkileyen bir çok değişkenin varlığıdır.

Şişme davranışlarını ve şişme parametrelerini etkileyen başlıca faktörler:

- Zemin cinsi (kil yüzdesi ve kilin mineralojik yapısı),
- Kuru birim hacim ağırlığı ve dane yerleşimi,
- Su muhtevası ve doymunluk derecesi,
- Permeabilite (Şişme süresi permeabilitenin bir fonksiyonudur),
- Şişen zemin tabakasının kalınlığı ve derinliği
- Arazideki gerilme şartları,
- Dış yükler,
- Su muhtevası değişiminin kaynakları (iklim, yeraltı su seviyesinin derinliği

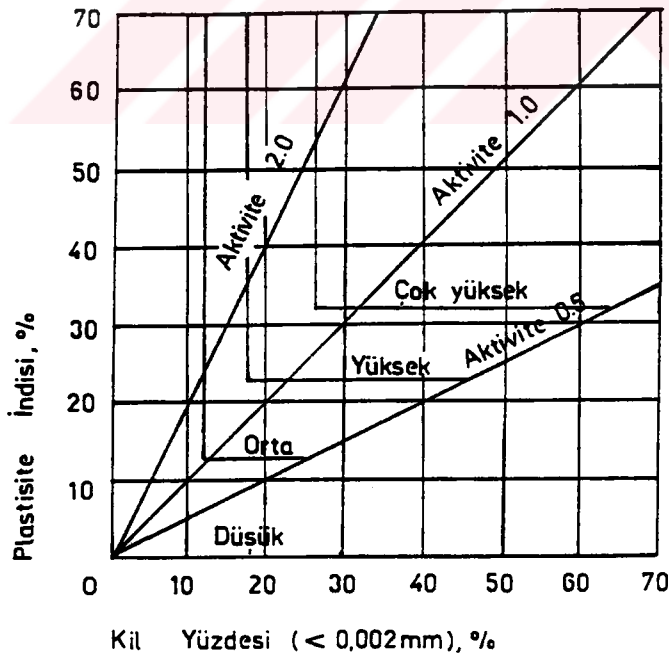
ve değişimi, drenaj kaçakları, bitki örtüsü) şeklinde sıralanabilir

Zeminin orijin ve jeolojik oluşumu yanında, Atterberg Limitler şişen zeminlerin belirlenmesinde kullanılabilir. Bazı kil mineral tipleri için çeşitli katyonlar ile likit limit ve plastik limit değerleri Tablo 7'de verilmektedir.

Tablo: 7. Çeşitli Katyonlar İçin Kil Minerallerin Atterberg Limitleri (Bentley,1991).

Kil Minerali	Hakim Katyon					
	Ca ⁺⁺		Na ⁺⁺		K ⁺	
	PL	LL	PL	LL	PL	LL
Montmorillonit	65-79	123-177	86-97	280-700	104	161
İllit	36-42	69-100	34-41	61-75	38	81
Kaolinit	26-36	34-73	26-28	29-52	7	35

Zeminlerin su kapsamındaki değişikliğe bağlı olarak şişme özelliği, kil mineralin türü ve miktarı tarafından kontrol edildiğinden ve bu da plastik limit değerlerini etkilediğinden, Dönüştürülmüş Van Der Merve Kartı'nda Plastite İndisi (PI) ile Kil Yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 15'de gösterilmektedir.



Şekil: 15. Van Der Merve Abağı (Seed vd., 1962).

Killi zeminlerin serbest şişme ve şişme basıncını tahmin etmek üzere zeminlerin indeks özelliklerine bağlı olarak şişme sınıfları Tablo 8'de tanımlanmaktadır.

Tablo: 8. Şişme Parametrelerinin Zeminlerin İndeks Özellikleriyle İlişkisi (Bentley,1991).

Plastisite Indisi	Serbest Şişme (%)	Şişme Basıncı (kN/m ²)	Şişme Potansiyeli
0-15	0-1.5	50 >	Düşük
10-15	1.5-5	150-250	Orta
20-55	5-25	250-1000	Yüksek
35≤	25 <	1000 <	Çok Yüksek

Zeminlerin şişme potansiyelinin orta veya yüksek sınıfa girmesi halinde özel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Özel yöntemler aşağıdaki uygulamaları içermektedir (Yıldırım, 1995).

Dolgu temellerinin şişen kısımların kazılıp uzaklaştırılarak yerlerine stabil malzeme (şişmeyen nitelikte sıkıştırılmış dolgu) yerleştirilerek yapıların kabarma nedeniyle hasar görmeleri önlenir.

Şişme potansiyeli yüksek zeminlerin optimum su kapsamının yaş tarafta % 3-4 fazlasında sıkıştırılan temel zeminleri, az şişme gösterir ve bu uygulama şişme basıncını büyük ölçüde azalttığından istenilen bir durumdur.

Ön İslatma veya Göllendirme, temel zeminde fissürlü bir yapı yoksa uzun sürede etkin hale gelebilir. Plastik limit değerinin % 2-3 fazlasına kadar ön ıslatmanın önemli bir iyileştirme sağladığı bilinmektedir. Aşırı ıslatmanın ise derindeki kuru zemine sızması sonucu şişmeyi artırıcı bir etken olacağı belirtilmektedir.

Farklı kabarmaların uzun sürede etkisi, zemindeki su kapsamı değişimi kontrol altına alınarak yalıtım tedbirleri ile azaltılabilir.

Kireç ve çimento ile stabilizasyon, şişme özellikli zeminin iyileştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Plastisite indeksinin düşmesi, permeabilite ve kayma mukavemetinin yükselip şişmenin azalması, %2-8 kireç veya çimento eklenmesiyle sağlanabilir.

Elektro-Osmoz Metodu, şişen zeminlerin stabilizasyonunu öncelikle ortamın suyunu alarak ve iyon değişikliğine yol açarak sağlamaktadır.

Üst yapı yüklerinin şişme potansiyeli yüksek kesimlerden geçerek şişme potansiyeli olmayan derinliklere aktarılmasında genişletilmiş tabanlı kazık veya ayak temel şeklinde düzenlenmiş derin temeller kullanılarak yapıyı şişme hareketlerinin etkilerinden korunabilir.

Killi zeminlerin şişme davranışlarını incelemek için en uygun ve başarılı yöntem direkt ölçümlerdir.

Alınan örnekler üzerinde laboratuarda standart yöntemlerle yapılan çeşitli mühendislik deneyleri ile baraj davranımına tesir edecek önemli mühendislik parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Dolgu malzemelerinin şişme basınçlarını ve serbest şişmelerini tespit etmek için tek eksenli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır.

Optimum su muhtevasında (A ve B malzemeleri), optimum su muhtevasının kuru tarafında (B malzemesi) ve optimum su muhtevasının ıslak tarafında (B malzemesi) hazırlanan numuneler ödometre aletine yerleştirilmişlerdir.

Serbest şişme deneyinde, zemin numuneleri ($B \omega_{opt} - \%2$, $B \omega_{opt}$ ve $B \omega_{opt} + \%2$) 6.9 kPa düşey yük altında konsolidasyon hücresi su ile doldurularak yanal yönde tutulu olarak serbestçe şişmeye bırakılmışlardır. Zemin numunelerinde meydana gelen boy değişimlerinin başlangıç boya oranları serbest şişme değerleri olarak belirlenmiştir.

Şişme basıncı deneyinde, zemin numuneleri ($A \omega_{opt}$ ve $B \omega_{opt}$) ödometre aletine yerleştirilmesinden sonra hazneye su verilerek eşdeğer yük artırımları ile numunelerin kabarmalarına (şişmelerine) izin verilmeyerek, başlangıç hacimlerinde (ne şişmenin ne de sıkışmanın olmadığı durumda) muhafaza edildiği basınç olarak tespit edilmişlerdir.

Hamzadere Barajı gövde dolgusunda kullanılacak zemin numuneleri (B malzemesi) üzerinde X-ray difraktometresi ile yapılan mineralojik analizde kil tipleri belirlenmiştir. Şekil 16 'da bu kil mineraline ait X-ray difraktogramı verilmektedir.

B dolgu malzemesinin X-ray incelemelerine dayanılarak, feldspat ve kuvars minerallerinin yanında smektit tipi kil mineralinden oluştuğu görülmektedir. Jeokimyasal olaylar sonucu dane ve gözenek kaplayıcı özellikte meydana gelen smektit tipi kil minerali; tabakalı yapıları, iyon alışverişlerine yatkınlıkları, sulara hassasiyetleri ve şişme özelliklerinden ötürü sorun yaratabilmektedirler. Ancak bu kil tipine, X-ray difraktogramının belli bir aralığında çok küçük pikler halinde rastlanılmıştır. Karakteristik feldspat ve kuvars piklerinden de anlaşılacağı gibi B dolgu malzemesi esas itibarı ile feldspat ve kuvars minerallerinden oluşmaktadır.

Hamzadere Barajı temel zemini endeks özellikleriyle dolgu malzemelerinin belirlenen geoteknik parametreleri değerlendirme sonuçları Tablo 9.1, 9.2, 9.3 ve 9.4'de özetlenmiştir.



Tablo: 9.1. Hamzadere Barajının Temel Zeminini ve Dolgu Malzemelerinin Endeks Özellikleri

Malzeme	Doğal Su Muhtevası ($\omega_n, \%$)	Optimum Su Muhtevası ($\omega_{opt}, \%$)	Likit Limit		Plastik Limit ($\omega_p, \%$)	Plastisite İndisi ($I_p, \%$)	Rötre Limiti ($\omega_R, \%$)	Lineer Rötre (L_R)	Özgül Ağırlık ($G_s, \%$)	200 no'lu elek altı (%)	Zemin Tanımlaması
			Düşen Koni ($\omega_{L1}, \%$)	Casagrande ($\omega_{L2}, \%$)							
Temel Zeminini	53.4			75	30.2	45.4			2.80	97.9	CH
A	9.03	19.2	48	48.5	31.4	17.2	17.1	14.68	2.59	84.36	ML
B	17.51	20.5	57	58	32	32	10.5	15.04	2.68	77.6	CH

Tablo: 9.2. Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerinin Fiziksel Özellikleri

Malzeme	Permeabilite k (cm/sn)	Doygunluk S (%)	Serbest Basınç q_u (kPa)	Kesme Kutusu (CU)		Üç Eksenli (UU)	
				C_{cu} (kPa)	ϕ_{cu} (°)	C_u (kPa)	ϕ_u (°)
A $\omega_{opt}^{-\%62}$			241.47				
A ω_{opt}	3.67×10^{-7}	80	222.19				
A $\omega_{opt}^{+\%62}$			128	38.2	30	49.02	30
B $\omega_{opt}^{-\%62}$			225.38				
B ω_{opt}	3.76×10^{-8}	82.5	186.77				
B $\omega_{opt}^{+\%62}$			154.44	37.2	28.7	38.46	28

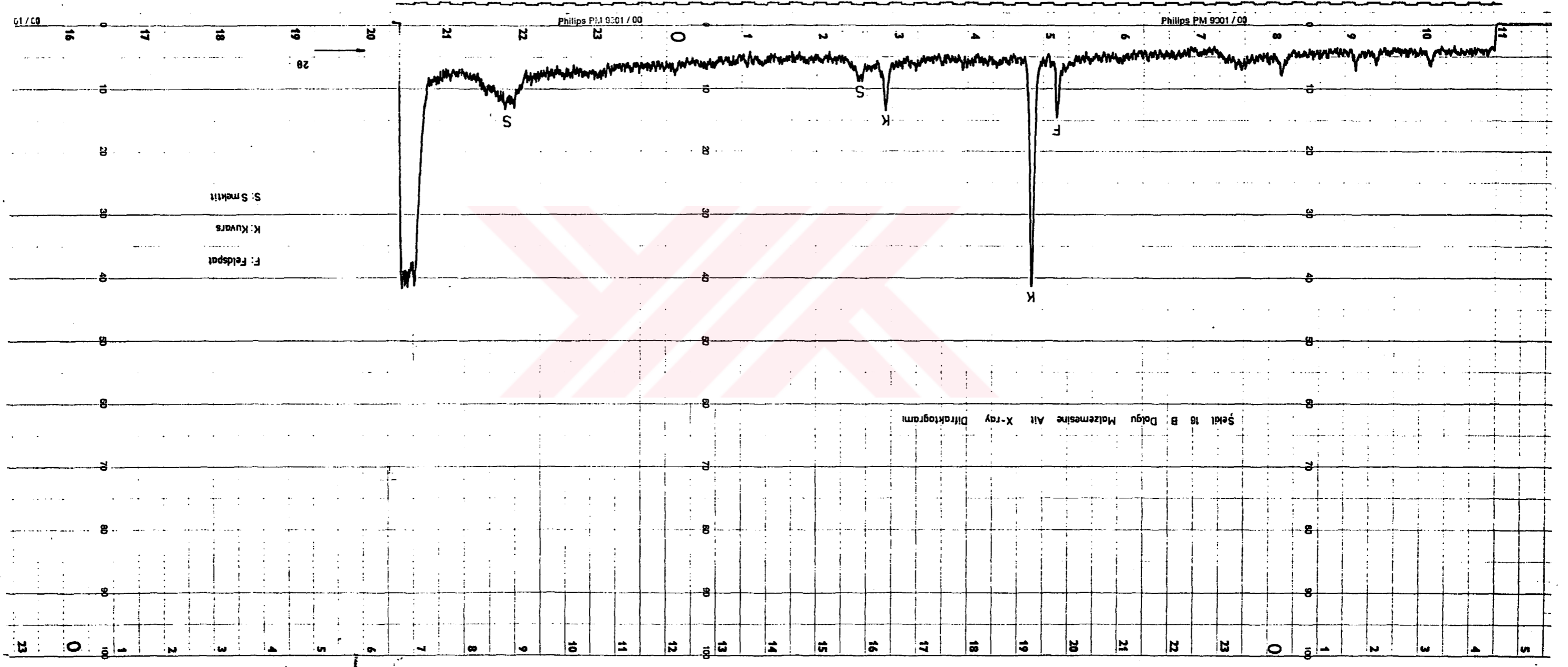
Tablo : 9.3. Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerinin Konsolidasyon Özellikleri

Malzeme	Şişme Parametreleri		Sıkışma İndisi (C _c)	Şişme İndisi (C _s)	Başlangıç Boşluk Oranı (e ₀)	Deney Sonu Su Muhtevası (ω _{son} , %)
	Serbest Şişme (%)	Şişme Basıncı (kN/m ²)				
A ω _{opt} -%2			0.25	0.07	0.52	22.77
A ω _{opt}		77.87	0.09	0.07	0.47	22.37
A ω _{opt} +%2			0.15	0.07	0.61	23.04
B ω _{opt} -%2	1.92		0.19	0.10	0.64	24.62
B ω _{opt}	1.20	80.91	0.20	0.09	0.58	24.39
B ω _{opt} +%2	0.21		0.25	0.10	0.72	26.62

Tablo : 9.4.Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerin Maximum Kayma Gerilmesi Değerleri

Malzeme	Serbest Basınc	Maximum Kayma Gerilmesi (τ _{max} kPa)		
		Konsolidasyon Basıncı: 95.13 kPa	Kesme Kutusu Konsolidasyon Basıncı: 190.26 kPa	Üç Eksenli Hücre Basıncı: 200 kPa
A ω _{opt} -%2	241.47			
A ω _{opt}	222.19			
A ω _{opt} +%2	128	82.95	128.41	216.4
B ω _{opt} -%2	225.38			
B ω _{opt}	186.77			
B ω _{opt} +%2	154.44	80.02	123.42	163.3

Şekil : 16 B Dolgu Malzemesine Ait X-ray Difraktogramı



6. SONUÇLAR

Yapılan bu araştırmayla, dolgu barajı yapımlarında zemin etüdlerinin önemi gösterilmek istenmiştir. Bu çalışma, arazi ve laboratuvar araştırmalarını kapsayan iki kısımdan oluşmaktadır. İlk kısımda, arazi araştırmalarının değerlendirilmesi sonucunda, Hamzadere Baraj yerinde yaklaşık 20 m. kalınlığında taşıma gücü zayıf, alüvyon zemin tespit edilmiştir. Barajın emniyeti açısından bu alüvyonun tamamen kaldırılarak gövde dolgusunun temel kayası üzerine oturtulması gerekmektedir. İkinci kısımda gövde teşkilinde kullanılacak killi A ve B malzeme sahalarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde yapılan çeşitli deneyler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir:

A dolgu malzemesi; yaygın, üniformluk katsayısı (C_u)=10.56 ve derecelenme katsayısı (C_c)=0.82, daha fazla ince taneli ve düşük plastisiteli, Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasında düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler (ML) grubu zeminlere,

B dolgu malzemesi; yaygın, üniformluk katsayısı (C_u)=90 ve derecelenme katsayısı (C_c)=3.025, ince taneli ve yüksek plastisiteli, Birleştirilmiş zemin sınıflandırılmasında yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler (CH) grubu zeminlere girmektedir.

A malzemesi %8.9 ve B malzemesi %11.67 oranında 200 no'lu elek altından oluşmaktadır.

Casagrande ve Konik Penetrometre yöntemleri ile tayin edilen likit limit değerleri karşılaştırıldığında benzer sonuçlar vermektedir. Ancak Casagrande aleti ile bulunan likit limit değerleri, Konik Penetrometre ile bulunan değerlerden A malzemesi için %1.03 ve B malzemesi için %1.72 daha büyüktür.

Yapılan kompaksiyon deneyleri neticesinde A malzemesinin optimum su muhtevasına (ω_{opt} =%19.2; γ_{kmax} =15.85 kN/m³) karşılık gelen doygunluk derecesi %82.5 ve B malzemesinin optimum su muhtevasına (ω_{opt} =%20.5, γ_{kmax} =15.27 kN/m³) doygunluk derecesi %80 bulunmuştur. Ne A malzemesinin ne de B malzemesinin ω - γ_k kompaksiyon eğrisi hiçbir zaman %100 doygunluk eğrisini kesmemektedir. Bunun anlamı ise; dolgu malzemelerin sıkıştırılarak, kuramsal olarak, boşluklarda bulunan su ve hava karışımında, havanın tümüyle dışarı atılmasının mümkün olmadığıdır.

Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan malzemelerin geçirkenlilikleri üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda, A malzemesinin permeabilite katsayısı

$k_A=3.67 \times 10^{-7}$ cm/sn ve B malzemesinin permeabilite katsayısı $k_B=3.76 \times 10^{-8}$ cm/sn düzeylerinde bulunmuştur. Bulunan katsayılar kullanılarak A malzemesinin geçirimsizliğinin çok düşük olduğu ve B malzemesinin ise pratik olarak geçirimsiz olduğu söylenebilir. Permeabilite katsayılarının gözönüne alınmasıyla A malzemesinin mansap ve B malzemesinin de memba kısmına yerleştirilmesiyle baraj gövde dolgusunun permeabilite değerinin düşük olması elde edilebilecektir.

Serbest basınç deney sonuçlarından yola çıkılarak sıkıştırma su muhtevasının; optimum, optimumun ıslak ve kuru tarafında uygulanmasıyla malzemelerin su muhtevaları artıkça, serbest basınç mukavemet değerleri azalmakta ve eksenel şekil değiştirme artmaktadır. Kompaksiyon eğrilerinin kuru tarafında sıkıştırılan numuneler, ıslak tarafda sıkıştırılan numunelerden daha yüksek drenajsız kayma mukavemeti değerlerine sahip olmaktadır. Buradan da görüleceği gibi malzemelerin serbest basınç mukavemetleri (veya kayma mukavemetleri) kompaksiyon su muhtevaları ile doğrudan doğruya ilgilidir.

Serbest basınç deneyleri neticesinde, farklı su muhtevalarında kompakte edilmiş baraj dolgu malzemelerinden A malzemesi, B malzemesine kıyasla daha fazla mukavet özelliklere sahip oldukları gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden de görülmektedir. Bunun sebepleri ise malzemelerin kuru birim hacim ağırlıkları ve su muhtevalarına bağlı olarak onların yapılarındaki davranımlarının farklı olmasıdır.

Üç eksenli (UU) deneyler sonucunda (yetersiz olmakla birlikte) gerilme-birim deformasyon eğrilerinde, her iki numunede göçme meydana geldikten sonra bile uygulanan yükü taşımaya devam ettikleri ve eğrilerin biçimlerinin birbirlerinden farklı oldukları görülmektedir. A malzemesi numunelere ait kırılma anındaki kayma mukavemeti parametre değerleri B malzemesi numunelere nazaran daha büyük olmaktadır. Bu durum A malzemesinde, numunelerin daha sağlam ve sert bir yapı kazanmaları nedeniyle kesme kuvvetlerine karşı gösterilen dirençlerin artmasından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri de bize bu sonuçları onaylar niteliktedir.

Kesme deneylerine ait sonuçlar incelendiğinde her iki malzemedeki tatbik edilen yük artışı ile orantılı olarak kesme kuvveti değerlerinin arttığı görülmektedir. Yükün artışı devam ettikçe, numuneler düşey yönde daha iyi yerleşerek daha sıkı ve sağlam bir yapı kazanmışlar ve dolayısı ile kesme kuvvetlerine karşı gösterilen dirençleri artmıştır. Malzemelerin kesme gerilmeleri ile eksenel yer değişimleri arasındaki ilişkiler benzeşim göstermekle birlikte kırılma anındaki kayma gerilmeleri değerleri B malzemesine nazaran A malzemesinde daha büyük olmaktadır. Bunun sebepleri ise

dolgu malzemelerinin içinde yer alan kil daneceklerinin minerolojik yapısına, yerleşimine ve dane boyutuna bağlayabiliriz. Yine bu malzemelere ait yatay ve düşey yer değiştirmeler ele alındığında malzemelerin sıkışmaya yönelik bir hacim değişimi yapmakta oldukları, şişme ve sıkışma eğilimlerinin farklı olduğu görülmektedir.

Boşluk oranı gerilme eğrilerinden de görülebileceği gibi numunelerin farklı sıkıştırma su muhtevalarında hazırlanmış olmalarının dolgu malzemelerinin davranışları üzerinde etkisi olmaktadır.

Ödometre deneyleri sonrasında, A malzemesinde en büyük oturma optimum su muhtevasında %2 kuru tarafında sıkıştırılmış numunede %0.025 iken optimum su muhtevasında ve optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafında hazırlanmış numunelerde %0.001 dolayındadır. B malzemesinde en büyük oturma ise optimum %2 ıslak tarafında sıkıştırılmış numunede %0.03 olup, optimumda sıkıştırılmış numunede gözlenen oturma %0.02 ve optimumun %2 kurusunda sıkıştırılmış numunede %0.01 civarındadır.

Numunelerin konsolidasyon süresinde belirleyici unsur olan ve konsolidasyon deney sonuçlarından elde edilen düşey konsolidasyon katsayıları (C_v); A malzemesinde 0.005-0.053 cm^2/dak aralığı izlenirken B malzemesi için 0.002-0.194 cm^2/dak arasında değişmektedir.

Ödometre deney sonu su muhtevalarına göre malzemeler az da olsa bir miktar farklılık göstermektedirler.

Her iki malzemeye ilişkin optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafında sıkıştırılmış numunelerdeki boşluk oranı (e) değerlerinin, optimum su muhtevasında sıkıştırılmış numunelerdeki boşluk oranı değerlerinden, optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında sıkıştırılan numunelerdeki boşluk oranlarına göre belirgin bir şekilde yüksek oldukları görülmektedir.

Optimum su muhtevasında, Optimum %2 kuru tarafında ve Optimum %2 ıslak tarafında hazırlanan numunelerde başlangıç boşluk oranları (e_0) değerleri arasındaki fark A malzemesi numunelerde B malzemesi numunelere nazaran daha az olmaktadır.

A malzemesi numunelerin konsolidasyonu tamamlama (boşluk suyu basınçlarının sönmelenmesi) için gereken süre yaklaşık 1440 dakika (24 saat) yeterli iken B malzemesi numunelerde daha geniş bir zaman aralığında (1500 ile 3100 dakika) konsolidasyonun hala devam ettiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak B malzemesinin düşük geçirimsizliği ve yüksek plastisiteli kil olmasıyla birlikte malzeme

içindeki kilin yapısından dolayı doygun duruma geçmesinin uzun sürmesi olduğu düşünülebilir.

Diğer yandan baraj gövdesinde kullanılacak dolgu malzemelerinin ıslanmayla çökebilen türden malzemelerden olmadığı bunun aksine, A malzemesinin optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında hazırlanan numunesinde gerilme seviyesinin 0.90 kg/cm^2 altında ve B malzemesinin optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında hazırlanmış numunede gerilme seviyesinin 2 kg/cm^2 'den daha az olması durumunda şişme olayına yol açtığı görülmüştür.

A ve B malzemelerinin konsolidasyon özellikleri incelendiğinde aralarında anlamlı sayılabilecek fark bulunduğu açıkça görülmektedir. Böylelikle numunelerin konsolidasyon miktarları ve meydana geliş hızları malzemeleri oluşturan daneler ve dane grupları arasındaki gerilme iletişimine bağlı olduğu gibi malzemelerin permeabilitesine ve kompressibilitesine de bağlı olduğu ortaya çıkmaktadır.

Van Der Merve Abağı'na göre A malzemesi düşük ve B malzemesi de orta "şişme kategorileri" içinde yer almaktadır. Serbest şişme ve şişme basıncı deney sonuçlarına göre A malzemesinin şişme basıncı değeri 0.795 kg/cm^2 (77.97 kN/m^2) ve B malzemesinin şişme basıncı 0.825 kg/cm^2 (80.91 kN/m^2) olarak, B malzemesinin serbest şişme değerleri ise optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında %1.92 iken optimum su muhtevasında %1.2 ve optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafında %0.21'dir. Bu sonuçlara göre A ve B malzemesi orta "şişme potansiyeline" sahip olmaktadır.

X-ray difraktometresi neticesinde B malzemesinde şişme açısından tehlikeli smektit (montmorillonit) tipi kil mineraline belli bir aralık içinde rastlanılmıştır. İncelenen kil numunesinin esas itibarı ile kuvars ve feldspat minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir. Bu nedenle B malzemesinin, barajda dolgu malzemesi olarak kullanılması halinde özel işlem gerektiren önemli sorunlarla karşılaşmayacaktır.

KAYNAKLAR

- AKSU, T. F., (1994). D.S.İ. XI. Bölge Müdürlüğü Hamzadere ve Koyuntepe Barajları "Deprem Risk Analizi" Raporu; D.S.İ. Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara
- BENTLEY, P.S., (1991). "Correlations of Soil Properties" Pentech Press, London, UK.
- BİLGİN, M., (1972). "Sıkıştırılmış Killi Zeminlerin Mühendislik Özellikleri ve Dolgu Barajlarda Oturmalar" KTÜ Doktora Tezi, Trabzon.
- BJERRUM, L. and HUDER, J., (1957). "Measurement of the Permeability of Compacted Clays" Proc. Fourth. İnt. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engrg., London, UK, 1: 6-10.
- BJERRUM, L., (1963). Allowable Settlements of Structures. Proc. European Conf. Soil Mech. Found. Engrg. 2: 135-137.
- BOWLES, J.E., (1978). "Engineering Properties of Soil and Their Measurement" 2nd Ed, McGraw-Hill Book Co., New York.
- CASAGRANDE, A., (1948). "Classification and İdentification of Soils" Trans. ASCE, 113: 901-932.
- ÇİNİCİOĞLU, F., (1993). "Dolgu Altındaki Yumuşak Zeminde Düşey Drenlerin Etkisinin Analizi"D.S.İ: Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Sempozyumu, İzmir.
- DAĞDELEN, Y., (1962). "AR/TPAO/239 no'lu Sahanın Terk Raporu" (Relinquishment Report, Enez-Gelibolu License). TPAO (Turkish Oil Co.) Report, Turkish Petrol Adm. Archives, Ankara.
- D.M.İ. Gen. Müd., (1994). "Ortalama ve Ekstrem Kıymetler Meteroloji Bülteni, Başbakanlık Basımevi, Ankara.
- DOUST, H. ve ARIKAN, Y., (1974). "The Geology of the Thrace Basin (Trakya Havzası'nın Jeolojisi)"Türkiye II. Petrol Kongresi Tebliğleri: 119-136.
- D.S.İ. Gen. Müd. (1993). Aşağı İpsala Projesi-Hamzadere ve Koyuntepe Baraj Yerleri Temel Zemini Değerlendirme Raporu, D.S.İ. Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 855, Ankara.
- ERTAN, S. ve ÜLKÜ, S., (1978). Zemin Özellikleri ve Deneyleri D.S.İ. Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 871, Ankara.
- FLOYD, R., (1987). "Design of Small Dams" U.S. Bureau of Reclamation, Denver.
- GOLZE, R.R., (1977). "Handbook of Dam Engineering" Von Nostrand Reinhold Company, London.

- GÖKÇEN, S.L., (1976). "Keşan Bölgesinde Eosen-Oligosen Sedimentasyonu"
Güneybatı Türkiye Trakyası: Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg.
69: 1-10.
- GÖKÇEN, S.L., (1971). "Keşan Bölgesi Türbiditlerinde Siklik Sedimentasyonu" HÜ
Fen ve Müh. Bil. Der. 1, 1: 26-40.
- GÖKÇEN, S.L., (1972). "Keşan Bölgesi Kumtaşlarının Yapısal, Dokusal Özellikleri
ve Bölgenin Sedimanter Fasiyesler" HÜ Fen ve Müh. Bil. Der. 2,1:
50-65.
- HEAD, K.H., (1984). "Manual of Soil Laboratory Testing" Pentech Press Ltd,
London; Plymouth.
- İLHAN, E., (1964). "Korudağ, Gelibolu ve Yarımadası ve Çanakkale Yakasında
Yapılmış Olan Jeolojik Etüdlere Hakkında Rapor" TPAO Rapor
No:331.
- KELLOG, H.E., (1973). "Geology and Petroleum Prospects Gulf of Saros and
Vicinity Southwestern Thrace, Turkey" Ashland Oil of Turkey, Inc.
Türkiye Petrol İşleri Genel Müd. Arşivi.
- KOMORNIK, A. and DAVID, D., (1969). "Prediction of Swelling Potential of Clays"
Proc. ASCE, JSMFD vol:95, SM.1.
- KUMBASAR, V. ve KİP, F., (1984). "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği",
Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- LAMBE, T.W., (1958). "The Engineering Behavior of Compacted Clay" Trans.
ASCE, 84 (2): 1655-1-35.
- LAMBE, T.W., (1958). "The Structure of Compacted Clay" Trans. ASCE, 84
(2):1-35.
- LEBKUCHNER, R.F., (1974). "Orta Trakya Oligosen'in Jeolojisi" Maden Tetkik ve
Arama Enst. Derg. 83: 1-29, Ankara.
- NOVAK, P., MOFFAT, A.B., NALLURI, C. and NARAYON, R., (1990).
"Hydraulic Structures, London.
- ÖNEM, Y., (1974). "Gelibolu ve Çanakkale Dolaylarının Jeolojisi" TPAO Rapor No:
877.
- ÖNGÖREN, M. K., SIRMAN, M., (1985). "Aşağı İpsala Projesi Koyuntepe-
Hamzadere Barajları Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu", D.S.İ.
Genel Müd., D.S.İ. Kod No: 0102.

- ÖZAYDIN,K.,(1989). "Zemin Mekaniği" Ders Kitabı. Meva Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul.
- SALTIK, O. ve SAKA, K., (1972). "Saroz Körfezi, Gelibolu Yarımadası, İmroz, Bozcaada ve Çanakkale Sahil Şeridi Jeoloji İncelemesi" TPAO Rapor No: 716.
- SEED, H.B. and CHEN, C.K., (1959). "Structure and Strength Characteristics of Compacted Clays" Trans. ASCE, 85: 87-128.
- SEED, H.B., WOODWARD, J. and LUDGEN, R., (1962). "Swelling Potential for Compacted Clays" .Trans. ASCE, 88: 53-87.
- SÜMENGİN, M., TERLEMEZ, İ., ŞENTÜRK, K., KARAKÖSE, C., ERKAN, E., ÜNAY, E., GÜRBÜZ, M. ve ATALAY, Z., (1987). Gelibolu Yarımadası ve Güneybatı Trakya Tersiyer Havzasının Stratigrafisi, Sedimentolojisi ve Tektoniği, M.T.A., Derl. No:8128.
- ŞATIR, F., (1970). "Trakya Sedimanter Baseni Yeraltı Jeoloji ve Petrol Olanakları" KTÜ Yerbilimleri Fak. Jeoloji Bölümü Çalışmaları,TPAO Rapor No: 506.
- ŞENOL, M., (1980). "Keşan (Edirne) ve Marmara Ereğlisi (Tekirdağ) Yörelerinde Oligosen Yaşlı Birimlerin Çökel Ortamları ve Linyit Oluşumları" Türkiye Jeoloji Kurul. Bült. 23/2: 133-140.
- TERNEK, Z., (1949). "Geological Study of Region Keşan-Korudağ" İstanbul, İUFF Doktora Tezi.
- TERZAGHİ, K. and PECK, R.B., (1967). "Soil Mechanic in Engineering Practice", John Wiley, London.
- TOSUN, H., (1992). "Hafif Su Yapıları Açısından Şişen Killerin Önemi ve Bir Uygulama" Mühendislik Jeolojisi Türk Milli Komitesi Bülteni 5: 94-190.
- TOSUN, H., (1993). "Temel Zemin Oturma Analizi" D.S.İ. Genel Müdürlüğü Yayınları, Yayın No: 7-818, Ankara.
- WASTİ, Y., ÖZKAN, Y. ve YÜKSEL, S., (1994). "Labarotuvan Koni Penetrometre Deneyle İle Drenajsız Kayma Dayanımı Tayini" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- WONG,S.L.,(1980). "Properties of Expansive Soil and Foundation Design".Chinese Academy of Building Research.

- WROHT, C.P. and WOOD, D.M., (1978). "The Correlation of Index Properties With Some Basic Engineering Properties of Soils" Canadian Geotechnical Journal, 15: 137-145.
- YILDIRIM, S., (1995). "Sorunlu Zeminlerde Temel İnşaatı" İnşaat Mühendisleri Odası, Seminer Notları, İstanbul.

