

65976

T.C.
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK ANABİLİM DALI

TOKAT- GÜZELCE SULAMA BARAJI, GÖVDESİ KİL ÇEKİRDEK
DOLGUSUYLA, KAPAMA SEDDESİ HOMOJEN DOLGUSUNUN VE REZERVUAR
ALANI ZEMİNLERİNİN MİNERALojİK YAPILARININ MÜHENDİSLİK
DAVRANIŞLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bahattin ÖZTOPRAK

DOKTORA TEZİ

TOKAT-1997

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

**TOKAT- GÜZELCE SULAMA BARAJI, GÖVDESİ KİL ÇEKİRDEK
DOLGUSUYLA, KAPAMA SEDDESİ HOMOJEN DOLGUSUNUN VE REZERVUAR
ALANI ZEMİNLERİNİN MİNERALojİK YAPILARININ MÜHENDİSLİK
DAVRANIŞLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Bahattin ÖZTOPRAK

DOKTORA TEZİ

TOPRAK ANABİLİM DALI




TOKAT-1997

TOKAT
GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TOKAT- GÜZELCE SULAMA BARAJI, GÖVDESİ KİL ÇEKİRDEK
DOLGUSUYLA, KAPAMA SEDDESİ HOMOJEN DOLGUSUNUN VE REZERVUAR
ALANI ZEMİNLERİNİN MİNEROLOJİK YAPILARININ MÜHENDİSLİK
DAVRANIŞLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bahattin ÖZTOPRAK
DOKTORA TEZİ
TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu tez, 29/07/ 1997 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı	Adı Soyadı	İmza
Başkan :	Doç. Dr. Alper DURAK	
Üye :	Doç Dr. Mahmut YÜKSEL	
Üye :	Doç.Dr.Metin ARSLAN	

ONAY :

Bu tez, 04/07/1997 tarih ve 15/02 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen jüri üyelerince kabul edilmiştir.

01.07.1997
Enstitü Müdürü v.
Yrd.Doç.Dr. Mustafa CEYLAN


ÖZET

TOKAT- GÜZELCE SULAMA BARAJI, GÖVDESİ KİL ÇEKİRDEK DOLGUSUYLA, KAPAMA SEDDESİ HOMOJEN DOLGUSUNUN VE REZERVUAR ALANI ZEMİNLERİNİN MİNEROLOJİK YAPILARININ MÜHENDİSLİK DAVRANIŞLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bahattin ÖZTOPRAK

**Gaziosmanpaşa Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim Dalı**

Doktor Tezi

1997, 136 Sayfa

Danışman : Doç.Dr.Alper DURAK



Jüri : Doç.Dr.Alper DURAK

Jüri : Doç.Dr. Mahmut YÜKSEL



Jüri : Doç.Dr. Metin ARSLAN

Bu çalışmada, Güzelce Barajı kil çekirdek ve kapama seddesi dolgusunda kullanılacak materyaller ile, rezervuar alanı materyallerinin minerolojik yapılarının mühendislik davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Geçirimsiz materyal sahalarından 10 adet bozulmuş, rezervuar alanından 10 adet bozulmuş, 10 adet'de bozulmamış örnekler alınmıştır.

Minerolojik analizler x- ışını difraksiyon tekniği, minerolojik ve yapısal özellikleri analizi ise elektron mikroskop tekniği ile yapılmıştır. Materyaller üzerinde DSI'nin yaptığı rutin deney ve analizlere ilave olarak, B_L , I_C , I_L organik madde, toplam çözünmüş tuz, elektriksel iletkenlik, pH, KDK, değişebilir katyonlar SAR, ESP, sodyum yüzdesi, dispersibilite, tekstür, deney ve analizleri yapılmıştır.

Minerolojik analizler sonucunda hakim kil mineralleri sırasıyla montmorillonit, kaolinit ve klorit olarak bulunmuştur. Birleştirilmiş zemin sınıfları SC, SC-CL, CL, SM, GC, tekstürü SL, SCL, LS, L, CL'dir. Kil fraksiyonunun düşük olmasına rağmen materyallerin; orta plastik özellik göstermesini, aktivitenin yüksek çıkmasını, şişme potansiyelinin düşük ve orta değerlerde olmasını hakim kil minerali olan montmorillonit etkilemiştir. Zemin bileşimi, materyallerin fiziksel ve mühendislik özelliklerine önemli ölçüde etki etmiştir.

Materyaller kil çekirdek ve kapama seddesi dolgusunda güvenle kullanılabilir. Rezervuar alanı yeri; geçirimsizlik, yeterli toprak, yeterli su seviyesi derinliği ve yüzey eğimi açısından uygundur.

Anahtar Kelimeler: Mineroloji, sınıflandırma, kompaksiyon, permeabilite, kayma, konsolidasyon, şişme, aktivite, dispersibilite.

ABSTRACT

THE RESEARCH OF THE EFFECTS OF MINERALOGICAL STRUCTURES OF TOKAT GUZELCE WATERING DAM CLAY CORE EMBANKMENT, CLOSING EMBANKMENT AND RESERVOIR AREA SOILS ON ENGINEERING BEHAVIOURS**Bahattin ÖZTOPRAK****Gaziosmanpaşa University
Graduate School of Naturel and Applied Science
Department of Soil Science****Ph.D. Thesis
1997,136 page**

Supervisor : Assoc. Prof.Dr.Alper DURAK
Jüry : Assoc. Prof.Dr.Alper DURAK
Jüry : Assoc. Prof.Dr. Mahmut YÜKSEL
Jüry : Assoc. Prof. Dr. Metin ARSLAN



In this study the effects of mineralogical structures of materials which will be used in the Güzelce Dam clay core and closing embankment and of reservoir area on engineering behaviours were reasearched. For this purpose ten disturbed samples from impermeable region, ten disturbed and ten undisturbed samples from reserviour region were extracted.

Mineralogical analyses were carried out by means of x-ray diffraction technique; mineralogical and structural properties analyses were carried out by means of electron microscope technique. In addition to usual tests and analyses carried out by DSI; RL, I_c, I_L, in organic material, total dissolved salt, electrical conductivity, pH, CEC, exchangeable cation, SAR, ESP, sodium percentage, dispersibility, texture tests and analyses were carried out.

From the results of the mineralogical analyses, it has been observed that dominant clay minerals are montmorillonite, kaolinite and chlorite respectively. Unified soil classes are SC, SC-CL, CL, SM,GC, texture SL, SCL, LS, L, CL. In spite of the low fraction of clay, the montmorillonite which is the dominant clay mineral effects the medium plastic properties of materials, height of activity and being low and medium valves of swelling potential. Soil composition significantly effects on physical and engineering properties of the materials.

The materials can be used safely in clay core and closing embankment. The reserviour area is appropriate in terms of permeability, sufficient soil, sufficient water level, depth and surface slope.

Key Words: Mineralogy, classification, compaction, permeability, shear strength, consolidation, swelling, activity, dispersibility.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan, yönlendiren tez danışmanım sayın Doç.Dr.Alper DURAK'a teşekkür ederim.

Deney ve analiz çalışmalarında yardımcı olan; DSİ TAKK dairesi başkan yardımcısı sayın Doç.Dr.Hasan TOSUN'a, Zemin Mekaniği Laboratuvarı personeline, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Zemin Mekaniği Laboratuvarı Şefi sayın Osman Nuri ERSUDAŞ'a, Zemin Mekaniği Laboratuvarı personeline, DSİ VIII. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol Şube Müdürü sayın Erdal ALANYA'ya, Zemin Mekaniği Laboratuvarı personeline, MTA Genel Müdürlüğü Mineraloji Araştırmalar Koordinatörlüğü'nden sayın Dr.Selahattin KADIR'e, GOÜ Tokat Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü Araştırma Görevlisi sayın Hakan YILDIZ'a teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
ÇİZELGELER LİSTESİ	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ	1
1.1. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri	2
1.1.1. Permeabilite Özellikleri	2
1.1.2. Konsolidasyon Özellikleri	3
1.1.3. Kompaksiyon Özellikleri	3
1.1.4. Kayma Dayanımı Özellikleri	4
1.2. Zeminlerin Mühendislik Davranışlarıyla Zemin Özellikleri Arasındaki İlişkiler	5
1.2.1. Dane Şekil ve Büyüklükleri	5
1.2.2. Zeminin Yapısı	5
1.2.3. Kıvam ve Kıvam Limitleri	5
1.2.4. Mineralojik Özellikler	6
1.2.5. Katyon Değişim Kapasitesi	6
1.3. Zemin Çeşitlerinin Mühendislik Özellikleri	7
1.3.1. Daneli Zeminler	7
1.3.2. Kohezyonlu Zeminler	7
1.3.3. Organik Zeminler	7
2. LİTARATÜR ÖZETİ	9
2.1. Kıvam Limitleri ve Bazı Zemin Özellikleri Arasındaki İlişkiler Üzerine Yapılan Araştırmalar	9
2.2. Kohezyon ve Adhezyon Üzerine Yapılan Araştırmalar	11
2.3. Kil Mineralleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	12
2.4. Zemin Yapısını Saptama Yöntemleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	14
2.5. Organik Madde Üzerine Yapılan Araştırmalar	15
2.6. Katyon Değişim Özelliği Üzerine Yapılan Araştırmalar	16
2.7. Boşluk Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	17
2.8. Geçirgenlik Üzerine Yapılan Araştırmalar	17
2.9. Dayanım Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar	19

	<u>Sayfa No</u>
2.10.Sıkışma ve Sıkışabilme Üzerine Yapılan Araştırmalar	19
2.11.Şişme Üzerine Yapılan Araştırmalar	21
2.12.Dispersif Özellikler Üzerine Yapılan Araştırmalar	27
2.13.Zeminlerin Mühendislik ve Mineralojik Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar ...	29
2.14.Bölgedeki Önceki Çalışmalar	32
3.MATERYAL VE YÖNTEM	33
3.1 Materyal	33
3.1.1. Araştırma Alanının Konumu	33
3.1.2. Araştırma Alanının İklimi	33
3.1.3. Araştırma Alanı Hidrolojisi	36
3.1.4. Araştırma Alanı Mühendislik Jeolojisi	36
3.1.5. Materyal Sahaları.....	38
3.1.6. Güzelce Barajı Proje Özellikleri	41
3.2. Yöntemler	42
3.2.1. İndeks Özelliklerini Tayin Yöntemleri	42
3.2.1.1. Dane Büyüklüğü Dağılımı	42
3.2.1.2. Özgü Ağırlık	42
3.2.1.3. Doğal ve Kuru Birim Hacim Ağırlık.....	42
3.2.1.4. Porozite	42
3.2.1.5. Boşluk Oranı	43
3.2.1.6. Doğal Su İçeriği	43
3.2.1.7. Doygunluk Yüzdesi	43
3.2.1.8. Kıvam Limitleri	43
3.2.1.9. Sıvılık İndeksi	43
3.2.1.10.Kıvam İndisi	44
3.2.2. Materyallerin Sınıflandırılması	44
3.2.3. Mineralojik Bileşimleri ve Zemin Yapısını Belirleme Yöntemleri	44
3.2.3.1. X- Işını Difraksiyonu	44
3.2.3.2. Elektron Mikroskop Yöntemi (SEM)	44
3.2.3.3. Kimyasal Element Tayini	44
3.2.4. Mühendislik Özellikleri Belirleme Yöntemleri	44
3.2.4.1. Kompaksiyon	44
3.2.4.2. Permeabilite	45
3.2.4.3. Kayma Dayanımı	45
3.2.4.4. Konsolidasyon	45

	<u>Sayfa No</u>
3.2.5. Şişme ve Dispersiyon Özelliklerinin Belirlenmesi	45
3.2.5.1. Şişme Potansiyeli.....	45
3.2.5.1.1. Şişme Yüzdesi	45
3.2.5.1.2. Aktivite	46
3.2.5.2. Dispersif Özellikler	46
3.2.5.2.1. Çifte Hidrometre Deneyi	46
3.2.5.2.2. İğne Deliği (Pinhole) Deneyi.....	47
3.2.5.2.3. Dağılma Deneyi	47
3.2.5.2.4. Kimyasal Deneyler	47
3.2.5.2.4.1. Katyon Değişim Kapasitesi (CEC)	47
3.2.5.2.4.2. Değişebilir Katyonlar	47
3.2.5.2.4.3. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP)	47
3.2.5.2.4.4. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)	47
3.2.5.2.4.5. Sodyum Yüzdesi	48
3.2.6. Kimyasal Özellikleri Belirleme Yöntemleri	48
3.2.6.1. Organik Madde	48
3.2.6.2. Sebest Karbonat ($Ca CO_3$)	48
3.2.6.3. Toprak Reaksiyonu (pH)	48
3.2.6.4. Çözülmüş Tuz	48
3.2.6.5. Elektriksel Geçirgenlik	48
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. Baraj Gövdesi Kil Çekirdek Dolgusu	49
4.1.1. Materyallerin Sınıflandırma Özellikleri	49
4.1.2. Materyallerin Mineralojik Özellikleri	56
4.1.3. Materyallerin Yapısal Özellikleri.....	65
4.1.4. Materyallerin Kimyasal Özellikleri.....	67
4.1.5. Materyallerin Bileşim ve Yapıya Bağlı Mühendislik Özellikleri	68
4.1.6. Araştırma Alanı Materyallerinin Kil Fraksiyonu ve Mineralojisinin Mühendislik Davranışlarına Etkisi.....	84
4.2. Kapama Seddesi	85
4.3. Göl Alanı (Rezervuar) Zeminleri	86
4.3.1. Materyallerin Sınıflandırma Özellikleri	86
4.3.2. Materyallerin Mineralojik Özellikleri	93
4.3.3. Materyallerin Kimyasal Özellikleri	93
4.3.4. Materyallerin Bileşim ve Yapıya Bağlı Fiziksel Özellikleri	97
4.3.5. Materyallerin Mühendislik Özellikleri	99

4.3.6. Rezervuar Alanı Materyallerinin Kil Fraksiyonu ve Minerolojisinin Mühendislik Davranışlara Etkisi	101
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	102
5.1. Kil Çekirdek Dolgusu	102
5.2. Kapama Seddesi	103
5.3. Rezervuar Alanı Zeminleri	104
KAYNAKLAR	106
EKLER	
Ek 1. Baraj Gövdesi Yerleşim Planı	115
Ek 2. Baraj Gövdesi En Kesiti, Boy Kesiti ve Oturma Payı Ayarlaması	116
Ek 3. Kapama Seddesi Yerleşim Planı	117
Ek 4. Kapama Seddesi En ve Boy Kesiti	118
Ek 5. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması	119
Ek 6. Uygun Granülometri Eğrileri	120
Ek 7. Kıvam Limitleriyle Kompaksiyon Arasındaki Bağını	121
Ek 8. Zeminlerin Ortalama Mühendislik Özellikleri	122
Ek 9. Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasındaki Zemin Gruplarının Mühendislik Özellikleri ...	123
Ek 10. Sıkıştırılmış Dolgular İçin Materyallerin Karakteristikleri	124
Ek 11. Gölet Gövde Malzemesinin Özellikleri	126
Ek 12. Sıkışmış Materyallerin Özellikleri	127
Ek 13. Kaba Daneli Toprakların Seddelerde ve Temelerde Kullanılma Karakteristikleri..	128
Ek 14. İnce Daneli Toprakların Seddelerde ve Temelerde Kullanılma Karakteristikleri ...	129
Ek 15. Stabil Temel Üzerine Oturan Homojen Toprak Dolgu Küçük Barajlar İçin Tavsiye Edilen Şevler	130
Ek 16. Çifte Hidrometri ve Dağılma Deneyi Sonuçlarına Göre Nitel Dispersibilite Sınıfları.....	131
Ek 17. İğne Deliği Deney Sonuçlarına Göre Dispersibilite Sınıflaması	132
Ek 18. Toprak Derecelendirmeleri ve Mühendislik Kullanımları İçin Özellikler	133
Ek 19. İğnedeliği Deneyleri ve Doğada Gözlenmiş Erozyon Olayları Bilgi Birikiminden Esinlenerek Önerilen Dispersibilite ve Boşluk Suyundaki Çözünmüş Tuzlar Arasındaki İlişki	134
Ek 20. Boşluk Suyundaki Çözünmüş Tuzların Analizinden Dispersiyon Potansiyelinin Belirlenmesi	135
ÖZGEÇMİŞ	136

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa No</u>
3.1. Araştırma alanının coğrafi konumu	34
3.2. Araştırma alanının konumu	35
3.3. Tokat bölgesi toprak-su diyağramı	35
3.4. Güzelce barajı ve çevresi genel jeoloji haritası	36
3.5. Baraj yeri jeoloji haritası	37
3.6. Baraj gövdesi jeolojik boy kesiti (mansaptan)	37
3.7. Rezervuar alanı jeoloji haritası	39
3.8. Materyal sahaları haritası	40
4.1. A sahası materyallerinin dane büyüklüğü dağılımı eğrileri	52
4.2. B sahası materyallerinin dane büyüklüğü dağılımı eğrileri.....	53
4.3. A ve B sahası materyallerinin plastisite kartı üzerindeki dağılımları	54
4.4. A ve B sahası materyallerinin sıvılık indeksi kartı üzerindeki dağılımları.....	55
4.5. A ve B sahası materyallerinin üçgen sınıflama abağı üzerindeki dağılımları.....	56
4.6. B ₁ , B ₂ ve B ₃ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal).....	57
4.7. B ₄ , B ₅ ve A ₁ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal).....	58
4.8. A ₂ , A ₃ , A ₄ ve A ₅ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal).....	59
4.9. A ₂ ve A ₄ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (etilen glikollü).....	60
4.10. B ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi.....	61
4.11. A ₅ nolu örneğin elektron fotomikrografisi	62
4.12. B ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi	62
4.13. A ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi.....	63
4.14. A ₁ nolu örneğin elektron fotomikrografisi.....	63
4.15. B ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi.....	64
4.16. B ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi.....	64
4.17. A ₃ nolu örneğin EDAX nokta kimyasal analiz grafisi	65
4.18. B ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi	66
4.19. A ₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi	66
4.20. A ₄ nolu örneğe ait tipik proctor eğrisi	69
4.21. A ₂ nolu örneğe ait kayma dayanımı.....	71
4.22. B ₅ nolu örneğe ait kayma dayanımı	71
4.23. A ₁ nolu örneğe ait tipik basınç-boşluk oranı eğrisi	74
4.24. B ₄ nolu örneğe ait tipik basınç-boşluk oranı eğrisi	74
4.25. A ₁ nolu örneğe ait log zaman-deformasyon eğrisi	75

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa No</u>
4.26. B ₄ nolu örneğe ait log zaman-deformasyon eğrisi	76
4.27. A ve B materyal sahaları örneklerinin aktivite abağı üzerindeki dağılımları	77
4.28. A ve B materyal sahaları örneklerinin şişme abağı üzerindeki dağılımları.....	78
4.29. A ₄ nolu örneğin çifte hidrometri deneyi ile elde edilen dane dağılımı eğrisi.....	80
4.30. B ₃ nolu örneğin çifte hidrometri deneyi ile elde edilen dane dağılımı eğrisi.....	80
4.31. A, sahası materyallerin iğne deliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	81
4.32. B sahası materyallerin iğne deliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi.....	82
4.33. A ve B materyal sahası örneklerinin toplam çözünmüş tuzlar ile sodyum yüzdesi değerlerinden dispersibilitenin tayini.....	83
4.34. A rezervuar alanı materyallerinin dane dağılımı eğrileri.....	89
4.35. B rezervuar alanı materyallerinin dane dağılımı eğrileri.....	90
4.36. Rezervuar alanı materyallerinin plastisite kartı üzerindeki dağılımları.....	91
4.37. Rezervuar alanı materyallerinin sıvılık indeksi kartı üzerindeki dağılımları.....	91
4.38. Rezervuar alanı materyallerinin üçgen sınıflama abağı üzerindeki dağılımları	92
4.39. AR ₁ , AR ₂ ve AR ₃ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal).....	94
4.40. AR ₄ , AR ₅ ve AR ₆ nolu örneklerin x-ışını difraktogramları (normal).....	95
4.41. B rezervuar alanı materyallerinin x- ışını difraktogramları (normal)	96
4.42. Rezervuar alanı materyallerinin likit limit-kuru yoğunluk ilişkisi.....	97
4.43. Rezervuar alanı materyallerinin aktivite abağı üzerindeki dağılımları.....	98
4.44. Rezervuar alanı materyallerinin şişme abağı üzerindeki dağılımları.....	99

ÇİZELGELER LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa No</u>
4.1. Kil çekirdek-kapama seddesi materyallerinin fiziksel, mineralojik, kimyasal ve mühendislik özellikleri	50
4.2. A ve B materyallerinin hacimsel sıkışma katsayıları	72
4.3. A ve B materyallerinin konsolidasyon katsayıları	73
4.4. Rezervuar alanı materyallerinin fiziksel, mineralojik, kimyasal ve mühendislik özellikleri	87

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ**Simgeler**

A°	Angstrom
BL	Büzülme limiti
C	Kohezyon
C_c	Sıkışma indisi
C_v	Konsolidasyon katsayısı
e	Boşluk oranı
e_{min}	Boşluk oranı (max. sıklıkta)
I_c	Konsitans (kıvam) indisi
I_L	Likidide indisi
LL	Likit limit
K	Kaolin
k	Permeabilite katsayısı
KL	Klorit
H	Derinlik
M	Montmorillonit
M_v	Hacimsel sıkışma katsayısı
n	Porozite
n_{min}	Porozite (max. sıklıkta)
PI	Plastisite indisi
PL	Plastik limit
S	Doğunluk yüzdesi
W	Doğal su içeriği
W_{opt}	Optimum su içeriği
\emptyset	İçsel sürtünme açısı
γ_k	Kuru birim ağırlık
γ_n	Doğal birim ağırlık
γ_s	Özgül ağırlık
γ_{max}	Maksimum kuru birim ağırlık

Kısaltmalar

AASHO	Amerika Devlet Yolları Kurumu
ASTM	Amerikan Standart Muayene Test Birliği
CL	Düşük plastisiteli kil
CH	Yüksek plastisiteli kil
DMI	Devlet Meteoroloji İşleri
DSI	Devlet Su İşleri
DD	Dispersif değil
EC	Elektiriksel iletkenlik (25 ^o µs/cm)
ESP	Değişebilir sodyum yüzdeleri
FAO	Dünya Gıda Teşkilatı
GC	Killi çakıl
KDK	Katyon değişim kapasitesi (CEC)
L	Tın
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTA	Maden Tetkik Arama Enstitüsü
SAR	Sodyum adsorpsiyon oranı
SEM	Tarayıcı elektron mikroskop
SC	Killi kum
SCL	Kumlu killi tın
SCS	Amerikan Zemin Koruma Servisi
SL	Kumlu tın
SM	Siltli kum
SP	Kötü derecelenmiş kum
SPT	Standart penetrasyon deneyi
TDS	Toplam çözünmüş tuz
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
USBR	ABD Baraj Araştırma Örgütü

1. GİRİŞ

Suyun canlılar için yaşamsal önemi dünyanın varoluş dönemleri ile başlamaktadır. İnsanlığın su kaynaklarından yararlanması ise toprağın tarım amaçlı kullanımı ile başlamıştır. Topraktan ürün almak, verimi artırmak için suyun birinci gereksinim olduğu da ilk düşünülen konulardan biridir. Sonraki dönemlerde, tarımsal gelişme ve teknolojik çağa giriş aşırı enerji gereksinimi gündeme getirmiştir. Yeryüzünde enerjiye dönüştürülebilecek, içilebilir ve ucuz enerji kaynağı olan sudan yararlanma baraj yapımı düşüncesinin temelini oluşturmuştur (Baykal, 1988).

Barajlar; akarsuların yaptığı taşkınları önlemek, enerji elde etmek, içme-kullanma ve sulama suyu elde etmek için akarsular üzerine çeşitli tipde inşaa edilen su tutucu ve depolayıcı yapılardır(Kızılkaya ve Yegül, 1978). Yüksekliği 15.-m den büyük, gövde hacmi 500.000.-m³ den fazla ve rezervuar hacmi 5.000.000.- m³ den çok olan su biriktirme yapılarına baraj, bu değerlerden küçük olan su biriktirme yapılarına gölet (küçük toprak baraj) denmektedir(Sungur, 1993).

Günümüzde kullanılan baraj tipleri; ağırlık barajı, kemer ağırlık barajı, kemer baraj, payandalı baraj, toprak dolgu baraj ve kaya dolgu baraj olarak söylenebilir. Baraj tipi seçimine birçok faktörler etki etmektedir. Bu faktörler; baraj yeri topoğrafyası, temel ve jeolojik koşullar, malzeme temini, ulaşım, derivasyon şartları, dolu savak kapasitesi ve yeri, yeraltı ve yerüstü sularının durumu, hazne işletme durumu, iklim ve inşaat süresi, deprem durumu, heyelan, makina parkı, doğa ile uyum ve ülkenin ekonomik durumu olarak sayılabilir(Erkek ve Ağıralloğlu, 1986).

Toprak barajlar kendi içinde; homojen, zonlu ve diyaframlı tip diye 3'e ayrılırlar. Homojen tip toprak barajlarda, baraj gövdesinde tek tip malzeme kullanılır. Zonlu tipde, ortası geçirimsiz kil çekirdek olan düşey zonlar bulunur. Diyaframlı tip toprak barajlarda ise, sızdırmazlık gövdenin ortasına veya menba tarafına konan betonarme perde ile sağlanır(Kızılkaya ve Yegül, 1978). Dolgu barajların bu güne kadar en yaygın olanı toprak barajlar olmuştur. Toprak barajların gelişmesiyle birlikte, kargir baraj ve beton baraj yapımında azalmalar başlamış, bunların yerini özellikle ekonomi, denge ve uyumluluk üstünlükleriyle toprak barajlar almıştır(Gizbilli, 1992). Toprak barajlar; malzemesinin ucuz ve kolay temin edilmesinden, kolay işlenmesinden, her türlü temel üzerine inşaa edilebilmesinden, deformasyon- sarsıntı ve düzensiz oturmalarından az etkilenmesinden, aşırı yüklemeye karşı daha emniyetli olmasından ve benzeri nedenlerle günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar(Erkek ve Ağıralloğlu, 1986). Silindire sıkıştırılmış bir dolguda stabilitenin güven altına alınması için en güvenilir tedbir; zonlu dolgu veya farklı derecede yoğunluk ve permeabiliteli malzemelerin baraja serilmesidir. Doğal olarak bu inşaat yöntemi, ariyet malzemelerinin birleşim ve granülometrisinin uygun olmasını gerektirir. Stabilitenin tesisine ek olarak zonlu inşaat, daha dik şev eğimlerinin kullanılmasına fırsat verdiği ve bunun

sonucu olarak dolgu malzemesinin toplam hacmini azalttığından ekonomik bir avantaja sahiptir. Zonlu inşaatın diğer tiplerde olmayan malzemenin geniş bir şekilde kullanım avantajı da vardır. Zonlama uygulaması, dolgu barajı elverişli inşaat malzemesinin karakter ve granülometri değişim sıralamasına bağlı olarak üç veya daha fazla kesimlere böler. Daha az stabiliteli geçirimsiz veya su geçirmez çekirdeği sarmak ve desteklemek üzere nisbeten serbest drenajlı malzemeler dış zonlarda kullanılır(Gizbilli, 1992).

Herhangi bir zeminin fazlarının birbirleriyle ilişkisi sonucu karşılıklı etkileri, bunların birleşimleri, bu zeminin mühendislik özelliklerini, başka bir deyişle davranışını büyük ölçüde etkiler. İnce daneli zeminlerin mühendislik özelliklerini kontrol eden başlıca faktörler; kil ve kil olmayan minerallerin birleşimi, organik maddeler, değişebilir iyonlar, çözülebilir tuzlar ve yapı olarak tanımlanabilir. Zemin içerisinde belli bir kil mineralinin çok az miktarda bulunması bile onun fiziksel özellikleri üzerinde büyük etki yapar. Bu fiziksel özellikler; sıvı faz ile birlikte plastiklik, şişme, büzülme, basınç dayanımını ve permeabilite davranışını belirler(Can, 1983). Toprak barajlarda kullanılan çekirdek malzemesinin karakteristikleri; barajın maliyet, şekil, inşaa süresi ve stabilite üzerinde en önemli rolü oynayan etkenlerdir(Alpan, 1973). Bu nedenledir ki, toprak barajlarda kullanılan çekirdek malzemesinin; indeks, sınıflandırma, mühendislik, minerolojik ve kimyasal özelliklerinin çok iyi belirlenmesi gerekir.

1. 1. Zeminlerin Mühendislik Özellikleri

1. 1. 1. Permeabilite Özellikleri

Toprak kütlesi içindeki boşluklar suyun geçebileceği yolları meydana getirirler. Bu yollar değişik büyüklüklerde olup aynı zamanda birbirleriyle irtibatı sağlar. Bununla beraber geniş bir akım ağı ele alındığında kontrol edilebilir koşullar altında tayin edilen akım hızı toprağın özelliğini temsil edebilir. Suyun hareketine sızma, ölçümüne permeabilite (geçirimsizlik),birimine de permeabilite katsayısı denir (Özal,1967). Permeabilite katsayısı, birim alanda, birim hidrolik eğimde meydana gelen sızma debisi şeklinde tanımlanır. Permeabilite katsayılarına göre, özellikle su tutucu yapıların inşaatında kullanılacak zeminler üç ana guruba ayrılır. Permeabilite katsayısı(k) 10^{-2} cm/sn'den büyük zeminler geçirimli, 10^{-2} - 10^{-6} cm/sn olanlar yarı geçirimli, 10^{-6} cm/sn'den küçük olanlar geçirimsiz olarak adlandırılmaktadır (Peck et al, 1974). Pemeabilite değerlerine etki eden faktörler; toprak daneciklerinin dizilişi ve gözeneklerinin durumu, zemin suyunun vizkozitesi ve kimyasal yapısı, zemin ıslığı, toprak gözeneklerindeki hava, boşluk oranı, zeminin yoğrulması, toprağın yapısı, tabakaları ve daha önemlisi zeminin sıkıştırılması (kompaksiyonu) dır (Mertdoğan, 1982).

1. 1. 2 Konsolidasyon Özellikleri

Çeşitli bina ve yapıların altlarındaki zeminlerde, toprak dolgularda oluşan yüklerden dolayı kırılma olayları dışında deformasyonlar meydana gelir (Can, 1983). Bu deformasyonlar; elastik, plastik, kompresif veya bunların karışımı olur (Bilgiç, 1987). Elastik deformasyon, porozitenin ufak değişmesiyle beraber yatay genişlemeye neden olur ve yükün kalkmasıyla eski halini alır. Plastik deformasyon, basınç etkisi altındaki zeminin yatay doğrultudaki akımından doğar. Yükün kaldırılmasıyla ihmal edilebilir bir geriye dönüş olur. Kompresit deformasyon, basınç altında su ve havanın çıkması ile, boşluk hacminin azalması, danelerin birbirine yaklaşması sonucunda meydana gelir (Kumbasar ve Kıp, 1984). Toprak uygulanan yükün şeklini alır, geriye dönüş olmaz. Toprağın bu özelliğine kompresibilite (sıkıştırılabilirlik) denir (Munsuz, 1985). Daneli zeminlerdeki bu deformasyonlara sıkışma denir. Killi zeminlerde durum daha farklı olup, sıkışma zamana bağlı olduğundan birincisinden ayırt etmek için bu tip deformasyonlara konsolidasyon veya katılma denir (Can, 1983). Zemindeki toplam gerilmenin artması (yük tatbiki) veya boşluk suyu basıncının azalması sonucunda efektif gerilmenin artmasıyla meydana gelen, boşluk suyunun aşırı boşluk suyu basıncı sönene kadar drenajı ile oluşan tedrici bir hacim azalmasına konsolidasyon denir (Wasti, 1985). Uygulanan yük ile zemin dayanımı aşılmamış ise, oluşan deformasyonlar zeminin sıkışması ile orantılı olacaktır. Eğer toprak dayanımı aşılmış ise, sıkışmanın yanında büyük kayma ve göçme deformasyonları meydana gelecektir (Munsuz, 1985). Daneli zeminlerde, zemin geçirgen olduğundan yükün tatbiki ile boşluklarındaki sular kolaylıkla uzaklaşır ve sıkışma çabuk olur. Yük kaldırıldığında zemin eski haline dönemez, sıkışma kalıcıdır. Zaten daneli zeminlerin sıkışması da önemsizdir (Bilgiç, 1987). Killi zeminlerde, çok ince kil daneleri arasındaki boşlukları dolduran su ve hava, yükün tatbikinde sonra boşluklardan hemen çıkamadığı için, sıkışma olayı daneli zeminlere göre çok daha uzun bir zaman içinde oluşur (Can, 1983; Wasti, 1985).

1. 1. 3 Kompaksiyon Özellikleri

Kompaksiyon (sıkıştırma) zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan mekanik işlemlere verilen isim olarak tanımlanabilir (Özaydın, 1989). Bir başka deyişle kompaksiyon; zeminin, tabaka tabaka serilerek, silindirme, vibrasyon (titreşim) uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denilir. Bu işlemlerle, zemin daneleri daha az boşluklu yerleşerek, zeminin boşluk oranı azalır (Uzuner, 1992).

Zemin danelerinin birbirlerine göre hareket edebilme yetenekleri, uygulanan yüklerin şiddeti (kompaksiyon enerjisi) yanında zemin içindeki su miktarına bağlı olarak değişir. Zeminin su içeriği yükseldikçe, boşluklardaki havanın bir kısmı hapsedilmekte ve dışarı çıkma fırsatı

bulamamaktadır. Bunun sonucu olarak sıkışan bu hava hacimlerinde basınç artışı meydana gelerek kompaksiyon zorlaşmaktadır. Zeminin bütün boşlukları suyla dolu olması durumunda (suya doygun) ise, uygulanan yükler altında boşluk suyunda basınç artışları meydana gelmekte ve bu hidrostatik basınç danelerin sıkışmasına (kompaksiyona) engel olmaktadır. Aynı zamanda zemindeki yüksek su içeriği, daneler arasındaki sürtünmeyi (yağlanma etkisi) ve kapiler gerilmeyi azaltır, daneler arası elektirikselsel itme kuvvetini ortaya çıkartır. Zemindeki düşük su içeriği ise, daneler arası sürtünmeyi, kapiler gerilmeyi artırmakta, elektirikselsel kuvvetlerin net etkisini çekim kuvvetlerine dönüştürmektedir. Görüldüğü üzere, zemin içindeki su miktarının kompaksiyon üzerindeki iki etkisi birbiri ile çelişkilidir. Şöyle ki, su miktarı arttıkça danelerin birbirine göre hareketi kolaylaşmakta, buna karşılık birbirine yaklaşması zorlaşmaktadır. Böylece, her iki etkinin bir arada düşünülmesi ile, en iyi sıkışmanın ancak zemin içinde en uygun su miktarı (ne çok az, nede çok fazla) durumunda sağlanabileceği sonucuna varılmaktadır. Zeminin belli bir kompaksiyon enerjisi altında en iyi, en kolay sıkışabileceği bu su içeriğine optimum su içeriği denir (Özaydın, 1989).

Kompaksiyon; zeminin cins ve fiziksel özelliklerine, su içeriğine, sıkıştırma enerjisine ve sıkıştırmada kullanılan araçlar gibi değişkenlere bağlıdır. Kompaksiyonla genel olarak, zeminin taşıma gücü (kayma dayanımı) artırılır, permeabilitesi azaltılır, zemine kararlı bir yapı kazandırılır. Böylece zeminin su alarak hacim değişikliklerine uğraması ile zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır (Uzuner, 1992).

1. 1. 4 Kayma Dayanımı özellikleri

Genel olarak göçme, belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu meydana çıkmaktadır. Zeminin kayma dayanımı, göçmeye meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesidir (Özaydın, 1989). Zeminlerdeki bu kayma dayanımı, daneler arası kilitlemeden (içsel sürtünme) doğan dayanımdan, daneleri beraberce bir arada tutmaya çalışan kuvvetten (kohezyon) doğan dayanımdan veya ikisinin aynı anda oluşturduğu dayanımdan meydana gelir (Kumbasar ve Kıp, 1984). Toprağın bu dayanımına; kesme direnci, kesme mukavemeti veya makaslama dayanımı denir. Kesme dayanımı toprağı; doğal tepeler, yamaçlar, karayolu - demiryolu, dolgu ve kazı şevleri, her türlü sedde ve toprak baraj şevleri üzerinde dengede tutabildiği bir özelliktir (Demirbaş, 1988). Zeminler için, göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini göz önüne alan birçok hipotez geliştirilmiştir. Bunlar içinde en basit olanı ve uygulamada yaygın olarak kullanılanı Mohr - Coulomb göçme kriteri olmaktadır. Mohr gerilme dairesi ile, Mohr - Coulomb göçme zarfı aynı şekil üzerinde gösterilirse, uygulanan yüklerin yol açtığı gerilme durumunun göçmeye yol açıp açmayacağını açık olarak görmek mümkün olmaktadır (Özaydın, 1989). Kırılma zarfı deneysel olarak, kayma düzlemi üzerinde kırılma anındaki normal ve kayma gerilmelerinin ölçülmesiyle (kesme kutusu) veya kırılma

anındaki asal gerilmelerin ölçülmesi ile (üç eksenli basınç) Mohr gerilme dairelerinin müşterek teğeti çizilerek elde edilir (Wasti, 1985). Toprak malzeme, kayma dayanımının değişken olmasından dolayı birçok yapı malzemesinden farklıdır. Aynı özellikteki toprakta; derinliğin değişmesi, strüktür bozulması, yeraltı su seviyesi, kapilarite doygunluğu, su içeriği, sızma gibi faktörler kayma dayanımını değiştirebilir (Dönmezer, 1974).

1. 2 Zeminlerin Mühendislik Davranışlarıyla Zemin Özellikleri Arasındaki İlişkiler

1. 2. 1 Dane Şekil ve Büyüklükleri

Çok kaba fraksiyon olan çakıl daneleri; köşeli, kırık köşeli, yuvarlak köşeli veya düz şekillidir. Genellikle kuvars mineralinden oluşan kaba fraksiyonda (kum), köşeli, kırık köşeli ve yuvarlak şekiller hakimdir. İnce ve çok ince fraksiyonda ise; genellikle tek mineralden oluşan, köşeli, iğne ve levha şekilli daneler hakimdir. Toprak genellikle ince fraksiyonun etkisi altındadır (Munsuz, 1985). Dane şekli ve büyüklüğü zeminlerde maksimum sıklık, sıkışma özelliği, kayma dayanımı gibi mühendislik özelliklerini çeşitli oranlarda etkiler. Levha şekilli daneler topluluğu eşit çapta yuvarlak veya köşeli daneler topluluğundan daha fazla sıkışma özelliğine sahiptirler. Yuvarlak iri daneli zeminler, köşeli iri daneli zeminlere göre daha düşük kayma dayanımı gösterirler (Can, 1983).

1. 2. 2 - Zeminin Yapısı

Toprağın mühendislik özellikleri, toprağı oluşturan danelerin mineral bileşimine büyük ölçüde bağlıdır. Bu durum kaba daneli zeminler için önemli değildir. Dane büyüklüğü azaldıkça, daneleri bir arada tutan daneler arası çekim kuvveti gittikçe artar. Bu danelerin, çeşitli fiziksel, kimyasal faktörler ile çeşitli kuvvetlerin etkisi sonucu bir araya gelerek belirli kümeler ve dizilişler oluşturmaya yapı (strüktür) denir. Strüktür kohezif toprakların davranışını etkileyen en önemli faktördür (Munsuz, 1985). Bir zeminin; büzülme, şişme, çökme ve sıkışma gibi zemin özellikleri, zeminin cinsi, yapısı ve dokusundan büyük ölçüde etkilenmektedir. Kayma dayanımı; dane, dane büyüklüğü ve şekli ile, onları bir arada tutan kuvvetlere bağlıdır. Kohezif zeminlerin; sıkışabilirlik, kayma dayanımı, permeabilite ve hassasiyet özellikleri makro yapısal özellikler şeklinde tanımlanabilir (Can, 1983).

1. 2. 3 Kıvam ve Kıvam Limitleri

Kıvam, zeminin akmaya karşı gösterdiği dayanımdır, zeminin sertlik - yumuşaklık durumunu belirtir (Uzuner, 1992). Killi bir zeminin kıvamı yalnızca su içeriği artırılarak, çok katı bir kıvamdan viskoz bir sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değiştirilebilir. Kıvama bağlı olarak zeminin; dayanımı, sıkışması, taşıma gücü, şişme vb. mühendislik özelliklerinde farklılıklar meydana gelir

(Özaydın, 1989). Bununla beraber aynı su içeriğinde olan bazı killeri farklı kıvamda olabilir. Ayrıca su içeriğindeki küçük bir değişiklik bazı killerin kıvamını az etkilediği halde, bazılarını da kıvam değiştirecek kadar etkiler (Can, 1983). İnce daneli zeminlerde; sıvı, plastik, yarı katı ve katı olmak üzere dört kıvam durumu belirlenmiştir (Atterberg, 1911). Bu kıvam durumunu birbirinden ayıran değerlere Aterberg (Likit Limit, Plastik Limit, Büzülme Limiti) limitleri denmektedir (Uzuner, 1992). Kıvam limitleri, zemin mekaniğinde kilin su içeriğine bağlı olarak fiziki durumunda meydana gelen değişiklikleri ifade eder ve kohezyonlu zeminlerin özelliklerinin belirlenmesinde son derece önemlidir (Lee et al., 1983).

1. 2. 4 Minerolojik Özellikler

Kil mineralleri genellikle levhalı yapıda olduklarından, kristal yapılarına göre gruplandırılırlar ve aynı grup içindeki mineraller genellikle aynı mühendislik özelliklere sahiptirler. En çok rastlanan kil minerali grupları; montmorillonit, kaolin, klorit, allofan, mika benzeri ve zincir yapılı kil mineralleridir (Can, 1983; Durak ve ark., 1996). Zemin içerisinde belli bir kil mineralinin çok az miktarda bulunması bile onun fiziksel özellikleri üzerinde büyük etki yapar. Bu özellikler sıvı faz ile birlikte; plastiklik, şişme, büzülme, permeabilite ve basınç dayanımını belirler. Montmorillonit ve halloysit gibi bazı mineraller buldukları zeminin özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Montmorillonit bir zeminin fazla miktarda genişlemesine, halloysit ise çok düşük birim hacim ağırlıkta olmasına neden olabilir (Munsuz, 1985). Genellikle bir zemindeki kil minerali arttıkça; plastiklik, şişme, büzülme ve sıkışabilmenin artmasına karşın permeabilite ve içsel sürtünme açısı azalır (Can, 1983). Permeabilite ve kayma dayanımı; montmorillonit, illit ve kaolinit sıralamasına göre artar. Kil minerallerinin permeabilitesi yaklaşık 1×10^{-5} cm/sn.den azdır. Doymun kil minarellerinin sıkışabilme özelliği ise kaolinit, illit ve montmorillonit sırasına göre artmaktadır (Can, 1983).

Kil minarellerinin aktivite değerleri arasında da büyük farklılıklar olmaktadır (Mitchell, 1976). Killi zeminlerin jeoteknik özelliklerinin, minerolojik bileşimleri ile, özellikle kil mineralojisi ile yakından ilişkili olduğu bilinmektedir (Yılmaz ve Karacan, 1995).

1. 2. 5 Katyon Değişim Kapasitesi

Katyon değişim kapasitesi zeminin fiziksel özellikleri üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Küçülen dane boyutlarına bağlı olarak artan yüzey alanı, materyalin değişebilir iyonları adsorbe etme özelliğinin ve dolayısıyla katyon değişim kapasitesinin artmasına neden olur (Can, 1983; Kılıç ve ark., 1991). Genel olarak kil minerallerindeki değişebilir katyonlar; Ca^{++} , Mg^{++} , H^+ , K^+ , NH_4^+ ve Na^+ dur. En fazla montmorillonit kil mineralinin özelliğini etkileyen bu katyonlar, kil mineralinin mühendislik özelliklerini az veya çok etkilemektedir (Munsuz, 1985). Zeminlerdeki KDK ; iyonik

bileşim ve baz doygunluk büyüklüğü, organik madde ve kil kapsamı, pH ve toprak orjini ile ilgilidir (Kılıç ve ark., 1991).

1.3 Zemin Çeşitlerinin Mühendislik Özellikleri

1.3.1 Danell (Granül) Zeminler

Kum, çakıl karışımı zeminlerdir. Bünyelerinde ince daneler yok ise geçirimlidirler, sıkıştırılmaları kolaydır, yüksek kayma dayanımına sahiptirler, rutubetten fazla etkilenmezler, dona dayanıklıdır. Bu zeminler sedde en kesitlerinde, baraj ve göletlerin zonlu tip kesitlerinde stabiliteyi sağlamak için kullanılırlar (Özal, 1967 ; Sungur, 1978).

1.3.2 Kohezyonlu Zeminler

Bünyelerinde çok ince daneler (kil ve koloidal) bulunduran zeminlere kohezyonlu zeminler denmektedir. Bu zeminler; kil, silt, killi silt ve iri dane ile karışık kil ve siltlerden meydana gelmişlerdir (Can, 1983 ; Munsuz, 1985). Siltler, plastik olmayan ince danelerdir. Su içerdiklerinde stabiliteyi kaybolur, doymuş hale geldiklerinde akıcı kıvam alırlar, oldukça geçirimsiz, sıkıştırılmaları güç, ciddi don tesiri gösterebilen zeminlerdir (Demirbaş, 1988). Killer ise, plastik olan ince danelerden meydana gelir. Pratik olarak geçirimsiz, sıkışabilir olmalarına rağmen sıkıştırılmaları ve direne edilebilmeleri zordur. Su içeriğinin değişmesi ile hacimlerinde artma ve azalma görülür (Özal, 1967 ; Ertan ve Ülkü, 1978). Zeminde çok az oranda bulunabilecek kohezyonlu malzeme zeminin özelliğini tamamen değiştirebilir. İyi derecelenmiş iri daneli zeminde % 10 kadar ince daneli zeminin bulunması o zemini geçirimsiz ve don tesirine hassas hale getirebilir. Fazla oranda kil ve silt içeren zeminlerin, mühendislik özellikleri su içeriklerine bağlı olarak büyük değişimler gösterir, hatta su içerikleri sabit kaldığı halde uğradıkları jeolojik olayların tesiri altında çok farklı karakter gösterebilirler (Özal, 1967 ; Wasti, 1985). Bu zeminlerin, kayma dayanımları, stabiliteyi düşüktür. Sıkışabilir özellikte olmalarına karşın sıkıştırılmaları zordur, aynı zamanda geçirimsizdirler. Şişme - büzülme eğilimi yüksek olduğu gibi mevsimlik deformasyonlar olabilir. Su içeriği mühendislik özelliğini büyük ölçüde etkiler (Wasti, 1985).

1.3.3 Organik Zeminler

Zemin mekaniğinde, zeminlerin mühendislik özelliklerini etkileyecek kadar organik madde içeren zeminlere organik zemin denir. Bazen zemindeki organik madde yüzdesi çok düşüğe olsa

(% 2'ye kadar) zeminin mühendislik özelliğini etkilemektedir. Organik madde içeriği yüksek zeminlerde; düşük kayma dayanımı, değişken ve yüksek sıkışabilme ve yüksek oturma gibi istenmeyen özellikler vardır. Dolgularda gövdenin oturmasına ve su kaçmasına neden olur. Bu özelliklerden dolayı mühendislik açısından organik madde istenmez (Tuncer ve Birand, 1978 ; Can, 1983).

Bu çalışmanın amacı ; yapılacak olan Tokat Güzelce sulama barajının gövde çekirdek dolgusunda, kapama seddesi homojen dolgusunda kullanılacak (DSİ tarafından belirlenen) geçirimsiz malzemelerin indeks, mühendislik, minerolojik özellikleri ile, baraj rezervuar alanı tabanındaki zeminlerin indeks, permeabilite ve minerolojik özelliklerini belirleyerek, minerolojik özelliklerin mühendislik davranışlara olan etkisini araştırmaktır.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

2. 1. Kıvam Limitleri ve Bazı Zemin Özellikleri Arasındaki İlişkiler Üzerine Yapılan Araştırmalar

Atterberg (1911), zemin kıvam limitleri olan plastik limit (PL), likit limit (LL) ve plastik indeks (PI) değerlerini ilk defa killerin plastikliğini araştırmak için deneysel olarak saptamıştır.

Wilson (1917)'a göre plastiklik, materyalin basınç altında kırılıp dağılmadan şekil değiştirebilme özelliğidir.

Mellor (1922)'a göre plastiklik, şekil değiştirmek üzere tatbik edilen basınca rağmen, çatlamadan istenilen şekle çevrilebilme özelliğidir.

Sowers (1965); Terzaghi and Peck (1967); Durak ve ark.(1996), kıvam limitlerinin, killerin plastikliğinin kantitatif olarak değerlendirilmesinde ve zeminlerin mühendislik yönünden sınıflandırma sistemlerinde kullanılabileceğini bildirmektedirler. Ayrıca, bu limitler ile killerin birçok mühendislik özellikleri arasında ilişkiler bulunduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılara göre, zeminin kil miktarı arttıkça, LL büyük ve PL küçük ölçüde artması ile PI de bir miktar artmaktadır. % 15'den düşük değerlerde kil kapsamı gösteren zeminler plastik özellik göstermemektedirler.

Jumikis (1966), Likidide (sıvılık) indisini zeminlerin kıvam yönünden sınıflandırılmasında kullanılabilecek önemli bir parametre olduğunu bildirerek, likidide indisi 0-0,25 arası olan zeminlerin kıvamının sert, 0,25 - 0,50 arası orta - yumuşak, 0,75 - 1,00 arası yumuşak, 1,00'den büyük olanların kıvamında likit olduğunu bildirmiştir.

Terzaghi and Peck (1967), kıvam limitlerini, zeminin kıvam durumları (kurudan ıslağa doğru katı - plastik - akışkan) arasındaki sınırları belirleyen su miktarı olarak tanımlamışlardır.

Warkentin (1972), killi zeminleri karakterize etmek için ölçü olarak likit limitlerin kullanılmasını önermiş, likit limit değerlerinin killi zeminlerle, allofan veya amorf materyale sahip zeminlerin yüzey alanları ile çok yakından ilgili olduğunu bildirmiştir.

Warkentin (1974), killi zeminlerin indeks özelliklerinin belirlenmesi için plastikliğin kullanılmasını önermiştir.

Mitchell (1976)'e göre likit limit, danelerin sıvılaşmadan bünyesine alabileceği suyun göstergesi olduğundan zeminin sıkışabilirliği hakkındada fikir verir. Likit limit yükseldikçe zeminin sıkışabilirliği artar. İçinde organik madde bulunan ve volkanik kökenli veya aktif katyonlu killerin likit limiti yüksektir. Kurutma sonucu organik madde içeren killerin likit limiti düşer; bu hususta ortaya çıkan oran, organik madde miktarı hakkında bilgi verir. Bazı kil minerallerinin Atterberg limitleri; montmorillonitin LL'si 100 - 900, PL'si 50 - 100, BL'si 8,5 - 15, illitin LL'si 60 - 120, PL'si 35 - 60, BL'si 60 - 17, kaolinitin LL'si 30 - 110, PL'si 25 - 40, BL'si 29, kloritin LL'si 44 - 47, PL'si 36 - 40, allofan LL'si 200 - 250, PL'si 130 - 140 arasındadır.

Demirbaş (1978)'a göre, toprağın içindeki kil miktarı düşük oranda da olsa toprağın özelliğine hakim olma eğilimindedir. Toprağın özelliğine hakim olacak kil yüzdesi, kuru ağırlık olarak toplam toprağın % 20'si olmaktadır.

Tuncer ve Birand (1978), yumuşak killi zeminlerin jeoteknik özelliklerini saptamak amacı ile yapmış oldukları deneylerle aşağıdaki sonuçları elde etmişlerdir:

- Genellikle organik madde yüzdesi arttıkça killi zeminlerin likit limitleri, plastisite ve sıkışma indisleride artmakta, doğal birim ağırlıkları ise düşmektedir. Bu da zemin kompozisyonunun zemin davranışını etkilemek yönünden önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.
- Yumuşak killi zeminlerde kayma dayanımının likidide indisi ile sıkı bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. Şöyle ki; likidide indisi arttıkça dayanım azalmakta ve $I_L = 0,6$ dan sonra kayma dayanımı hemen hemen sabit değere ulaşmaktadır.
- Sıkışma indisinin ilk boşluk oranı ile olan ampirik ilişkisi yumuşak killi zeminlerde geçerliliğini korumaktadır. Buna karşın, likit limitle sıkışma indisi arasındaki ampirik ilişki ancak zeminin likit limiti % 100'ün altında ise geçerli olmaktadır.

Sowers (1979), plastisite indisinden hareket ederek, zeminlerin plastiklik ve kuru dayanım özelliklerini belirlemiştir. Araştırmacıya göre; plastisite indisi % 0-3 arası olan zeminlerin kuru dayanımını çok düşük (plastik değil), 3-15 arası olanlarının düşük (düşük plastik), 15-30 arası olanlarının orta (orta plastiklik), 31'den büyük olanların ise kuru dayanımının da yüksek (yüksek plastik) olduğunu ifade etmiştir.

Lambe and Whitman (1979), yüzey ve kenarlarda elektrikselsel yük taşıyan kil zerreleri, miknatis gibi pozitif ve negatif yüklü su molekülleri ile sıkı bir ilişkiye girdiklerini, zemindeki suyun artması ile bitişik partiküllerin birbirlerine olan tesirlerinin azalacağını, zeminlerin çoğunun likit gibi davranacağını bildirmişlerdir. Ayrıca suyun azlığının ve çokluğunun kıvamın katıdan akışkana kadar değişmeye neden olacağı görüşüne varmışlardır.

Sayın (1981)'a göre büzülme, zerre iriliğinin azalmasıyla ve plastiklik indeksinin yükselmesi ile artar. Dolayısıyla plastikliği etkileyen bütün faktörler (kil tipi, organik madde, değişebilir katyonların tabiatı) büzülmeyi de etkiler. Özellikle genişleyebilir kil tiplerinde değişebilir katyonların plastiklik indeksi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Lee et al. (1983), kıvam limitleri zemin mekaniğinde kilin su içeriğine bağlı olarak fiziki durumda meydana gelen değişiklikleri ifade ettiklerini ve kohezyonlu zeminlerin özelliklerinin belirlenmesinde önemli olduğunu bildirmişlerdir.

Keskin (1991), killerin kıvam limitlerine; sıcaklık değişiminin, deney suyu değişiminde bekleme süresinin, suyun polaritesinin, suyun katyon ve anyonlarının, No:40 ve No: 200 elek arası ince kum atıl malzemenin karışım yüzdelerinin etkilerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda; killi zemin içerisindeki iri dane miktarı arttıkça kıvam limitlerinin düştüğü, zeminin akıcılık kazandığı, daneler arası bağ kuvvetinin azaldığı, zemin suyu ısı arttıkça da kıvam limitleri değerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca suyun polaritesini sağlayan katyon ve anyon miktarı arttıkça killerin kıvam limitlerinin düştüğünü ifade etmiştir.

2.2 Kohezyon ve Adhezyon Üzerine Yapılan Araştırmalar

Atterberg (1912), zeminlerin kohezif özelliklerinin % nem içeriği ile değiştiklerini ilk araştıranlar arasındadır.

Haines (1925), ideal bir zeminde mevcut teorik kohezyonun anlamını, daneler arasındaki su zarının oluşturduğu yüzey gerilim kuvvetleri esasına dayanarak açıklamıştır.

Nichols (1929), balçık haline gelmeyen zeminlerdeki kohezyon değişimini incelemiştir. Gevşek ve kuru bir ortamda kohezyonun mevcut olmadığını kanıtlamıştır. Zemin daneleri etrafında su zarı oluşurken kohezyonun hızla maksimuma yükseldiğini ve % nem içeriğinin artışı (su zarının kalınlaşması) sonucunda, kohezyonun azalmakta olduğunu belirtmiştir. Araştırmacıya göre, zeminin yabancı bir maddeye (örneğin çeliğe) yapışması (adhezyon) su zarları vasıtasıyla meydana gelir. Bu yapışma kuvveti, yabancı madde yüzeyindeki çekici kuvvetlere ve zarları dolduran su miktarına bağlıdır. Araştırmacı, adhezyon gücünün toprağın kolloid içeriğinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir.

Trask (1959), belirli bir su içeriğine sahip killi zeminin kohezif dayanımının, dane ebatı küçüldükçe arttığını, dane ebatı büyüdükçe (zemine silt- kum ilavesiyle, kum ve siltin kile oranı artmasıyla veya silt- kum boyutunun büyümesiyle) azaldığını belirtmektedir. Başka bir deyişle, kil mineralinin cinsine bağlı olmaksızın, kilin kuma oranı arttıkça killi zeminlerin kohezif dayanımının arttığını saptamıştır.

Akalın (1973)'a göre, bir toprak - su sisteminde toprağın katı fazın konsantrasyonu artırıldığında, belli bir noktadan sonra toprak kütlesi artık yerçekimi etkisi altında kendi başına serbestçe akamaz. Bu noktadan sonra kohezyon ve adhezyon kuvvetleri aktif rol oynamaya başlar. Bu durumda toprağın belli bir "kıvamı" vardır denir. Kıvamlı bir toprağın sıkıştırmaya, kesmeye karşı bir direnci olduğu gibi; dağılıbilirlik, plastiklik ve yapışkanlık vb. gibi özellikleri de vardır. Bütün bu özellikler, toprak kütlesinin su içeriğine bağlı olarak değişir, topraktaki kohezif ve adhezif kuvvetlerin sonucu olarak ortaya çıkar.

Akalın (1973), topraklar üzerinde yaptığı gözlem ve deneysel araştırmalara göre toprak kıvamının; tekstüre, organik maddeye, koloidal meteryalin nicelik ve niteliğine, değişebilir katyon cinsine, bir dereceye kadar strüktüre, özellikle nem içeriğine bağlı olarak değiştiğini bildirmektedir.

2. 3. Kil Mineralleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Haddin (1923); Rinne (1924), x- ışınlarını toprak killerini araştırmada ilk defa kullanan araştırmacıdır. Hendricks ve Fry 1930 yılında toz haline getirilmiş örnek yöntemini toprak kolloidlerinin araştırılmasında kullanmışlardır. Toprak kolloidlerinin x- ışınlarını yansıtma desenleri, saf kil mineralinin yansıtma desenleri ile karşılaştırmak suretiyle, toprak kolloidlerinin kristal tabiatlarını tayin etmişlerdir.

Pauling (1930), mika ve mika ile ilgili minerallerin strüktürleri hakkındaki önemli çalışmasını yayınlamıştır. Pauling kil mineralinin esas strüktürel üniteleri olan silis tetrahedronları ve alüminyum oktahedronlarına ait yapıları formüle etmiştir. Bu buluşları, sonraki araştırmacılar bir çok killerin yapılarını tayin etmede kullanmışlardır.

Peterson (1944), montmorillonit ve kaolinitin, oluşan strüktür tiplerine olan tesirlerini, bu mineralleri kum ve topraklarla çeşitli şekillerde karıştırmak sureti ile araştırmıştır. Araştırmacı, montmorillonitin yatay ve düşey eksenleri takriben birbirine eşit agregatlar oluşturduğunu, diğer taraftan kaolinitin de levhalı strüktür oluşturduğunu belirlemiştir.

Friedman (1945), montmorillonit grubu kil minerallerinin, genişleyen kristal yapıya sahip olduklarını göstermiştir.

Grim (1949); Seed et al.; (1962), Terzaghi and Peck (1967); Gillot (1958), Killi zeminlerin plastisite, sıkışabilirlikleri ve şişme potansiyelleri özellikle simektit gibi kil minerali içeriğine bağlı olarak artış göstereceğini bildirmişlerdir.

Brindley (1951), kristal kafes içerisinde iyon alış - verişinin meydana geldiğini, büyük kompleks katyonlar kullanmak suretiyle açıklamıştır.

Weaver (1958)'e göre, tortul kayalardaki kil minerallerinin büyük çoğunluğu aşınma sonucu ortaya çıkar ve kaynaklandığı materyalin karakterini kuvvetle yansıtırlar. Araştırmacı, binlerce tortuldan aldığı kil mineral örnekleri üzerinde x - ışınları ile analiz yaparak, herhangi bir kil mineralinin herhangi bir tortullaşma ortamında bol olarak bulunabileceğini ve belirli kil minerallerinin mutlaka belirli tortullarda bulunacağı gibi bir durum olmadığını ortaya koymuştur.

Lambe and Whitman (1969)'na göre, genellikle içerisinde feldispar bulunan metamorfik ve püskürük kayaların kimyasal ayrışması sonucu ortaya çıkan montmorillonit kili, üç katlı bir dane yapısına sahip olup adsorbe su tabakası kalınlığı ve özgül dane yüzey alanlarının diğer kil minerallerine göre büyük olması nedeni ile su tutma kapasiteleri oldukça fazladır.

Munsuz ve Nouri (1969), aynı iklim koşulları altında farklı ana materyalden oluşmuş üst tabaka zeminlerinin minerolojik yapılarını karşılaştırmaları konulu çalışmalarında, araştırılan zeminlerde ana materyalin kilin tabiatına etkili olmadığını açıklamışlardır.

Munsuz and Rasheed (1970), yapay olarak hazırlanmış zemin bloklarının porozite değerleri ile, bunların kil mineralleri arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Blokların porozite değerleri, kaolinit grubu minerallerin ve standart kaolinitin hakim olması durumunda % 33,6 - 52,5, montmorillonitin hakim olması halinde ise % 17,0 - 29,5 arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Bu basit yöntem kullanılarak hakim kil minerali gruplarını (1: 1 veya 2: 1) tayin etmenin mümkün olduğu görülmüştür.

Carrol (1970)'a göre x- ışını, toz haline getirilmiş örnek içindeki (Debye Sherer toz metodu) bir kristalin yüzeyine düştüğü zaman, kristalin birim hücreindeki iç aralıkların fonksiyonlarına bağlı olarak belirli bir geliş açısında kırılmaktadır. Bu kırılmadan yararlanılarak örnek içindeki kristalin iç yapısı belirlenmektedir.

Ergene (1972), Bir toprakta % 5 oranında bulunan montmorillonit kilinin toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine, yüksek oranlarda bulunan diğer killerden daha fazla etkili olduğunu, bu nedenle topraktaki kil miktarının tek başına fiziksel ve kimyasal yapıyı etkilemede belirleyici olmadığını kanıtlamıştır.

Ordemir ve ark. (1975), Ankara zeminlerinin mühendislik özellikleri ile sorunlarını belirleme amacıyla yaptıkları çalışmada; bu materyallerin şişme potansiyellerinin nelere bağlı olduğu konusunda aydınlatıcı bilgiler elde etmek için, özellikle bu zeminlerin kil minerolojisinin bilinmesinin gerekliliğini bildirmişlerdir. Kimyasal yapı ve minerolojik bileşimin bilinmesi, zeminlerin sorunlarının analizinde gerekli olduğunu özellikle vurgulamaktadırlar.

2. 4. Zemin Yapısını Saptama Yöntemleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Pigulevsky (1930), zeminin mikroskop altında ince kesitler halinde incelenmesini mümkün kılan bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntemde 3 ölçek parafin 1 ölçek naftalinden oluşan karışım zemin boşluklarına doldurulmaktadır. Karışım soğuduktan sonra, kitle kesilmekte ve mikroskop altında incelenir duruma getirilmektedir.

Harper and Volk (1936), Pigulevsky'nin tekniğini çimento malzemesi olarak reçineli vernik veya bakalit vernik kullanarak değiştirmiştir. Hazırladıkları ince kesitleri 4-5 çap oranında büyüterek fotoğraflarını çekmişlerdir.

Kubina (1938), zeminlerin mikroskopik olarak araştırılmasında kullanmak üzere özel bir mikroteknik geliştirilmiştir. Zeminin arazide ve laboratuarda fotoğraflarının çekilmesinde, özel bir mikroskop kullanılmıştır.

Barden and Sides (1970), kısmi doymuş sıkışmış killerin mühendislik özelliklerini bir dizi laboratuvar araştırması ile belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçları daha önce bir çok kil üzerinde yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırarak, çamur kıvamındaki içerdiği su içeriğinin sıkıştırılmış killi zeminlerin mühendislik özelliklerine oldukça büyük etkisi olduğunu bildirmişlerdir. Zeminlerin mikroskopik incelenmesinde, zemin yapısını açığa çıkaran büyük farklılıkların mevcut olduğu ve bunların zeminlerin mühendislik davranışında önemli etkileri bulunduğu görüşüne varmışlardır.

Badger and Lohnes (1973), lüslerin boşluk yapısını civa enjeksiyon tekniği ile incelemişler, gerçek bazı yapısal zonları sınıflandırmışlar ve S.E.M. ile bu değişik boşluk yapılarını göstermişlerdir.

Mesri ve ark. (1975), Mexico City kilinin sıkışabilirliğini ve bileşimini S.E.M. kullanarak yaptıkları yapısal incelemelerle araştırmışlardır.

Tuncer and Lohnes (1977), elektron mikroskopu ile (S.E.M.) bazı lateritik zeminlerin dane büyüklüğünü ve boşluk yapısını kalitatif olarak araştırmışlardır.

Paschen and Rizkallah (1979), kohezyonlu zeminlerin yapılarının tanımını elektron mikroskopla saptamışlardır. Araştırmacılar zeminlerin tanımını, mikro yapılarının elektron mikroskopla araştırılması ile mümkün olacağını belirtmişlerdir. Bu amaçla yaptıkları araştırmalarda, örnekleri üç eksenli veya kesme kutusu yöntemi ile kesme işleminden sonra, elektron mikroskop ile birçok fotoğraflarını çekmişlerdir. Bu fotoğraflarla; dane dokularının oryantasyonunu, farklı yapılarını, şekillerini kesme bölgesi içinde ve dışında göstermişlerdir. Ayrıca örnekler elektron mikroskopu ile 80.000 defa büyütülerek ince kesme bölgeleri görüntülenmiştir.

2. 5. Organik Madde Üzerine Yapılan Araştırmalar

Odel et al. (1960), organik madde yüzdesi arttıkça likit limit ve plastisite indisinin arttığını bildirmişlerdir.

Arman (1970), %20'den daha az oranda organik madde içeren zeminlerin, Terzaghi- Peck konsolidasyon teorisine uygun davranış gösterdiklerini, organik madde içeriği arttıkça davranışın giderek daha fazla organik madde tarafından kontrol edildiğini ifade etmiştir.

Ergene (1972), organik maddenin en fazla yüzeyden 25 - 40 cm derinliğe kadar olan kısımda toplandığını, alt toprağa geçilince organik madde miktarının azaldığını, Türkiye topraklarında, genel olarak organik maddenin çok az olduğunu, kumlu - tınlı topraklarda %1'e kadar çıktığını, taban suyu yüksek olan doğal çayırlar hariç diğer mineral topraklarda bu değerın %3 kadar çıkabileceğini belirtmektedir.

Tuncer ve Birand (1978), yaptıkları araştırmalarda; organik madde yüzdesi arttıkça killi zeminlerin likit limitleri, plastisite ve sıkışma indislerinin arttığını, doğal birim hacim ağırlığının düştüğünü bildirmektedirler. Ayrıca organik madde yönünden zengin zeminlerin yüksek derecelerde oturma kaydetmelerini ihmal edilmemesi gereken bir olasılık olarak görmekteyiz.

Andesland and Al- Khafaji (1980), organik zeminlerde konsolidasyon davranışını diğer etkenleri ihmal ederek, basınç gerilmesi seviyesi ve organik madde yüzdesi değişkenlerine bağlı olarak yine Terzaghi - Peck konsolidasyon teorisine uygun olarak ifade etmişlerdir.

Bayraklı (1986), Hollanda'da kumlu topraklar için (16 mikrondan küçük fraksiyonu %10'dan az olan topraklar) humus yüzdesine göre sınıflandırılmasının; organik madde %'si 0-1 ise çok düşük, 1-3 ise düşük, 3-5 ise orta, 5-8 ise yüksek, 8-12 ise çok yüksek, 12-16 ise peat topraklar şeklinde yapıldığını belirtmişlerdir.

Çinicioğlu vd. (1991), organik içerikli zeminlerin davranış özelliklerini, organik içerik yüzdesine bağlı olarak araştırmışlardır. Araştırma sonucunda; organik içeriğin artışına bağlı olarak plastisitedeki artışın lineer bir davranış gösterdiğini, organik yüzdenin likit limiti artırıcı etkisi olduğunu, belli organik yüzde için sıkışma ve basınç eğrilerinin doğrusal davranış gösterdiğini bildirmişlerdir.

2. 6. Katyon Değişim Özelliği Üzerine Yapılan Araştırmalar

Davitson and Sheeler (1960), Wisconsin Lös'lerini katyon değişim kapasitesinin, mühendislik özelliklerine etkileri yönünden incelemişler ve aralarındaki bazı ilişkileri açıklamışlardır. Yaptıkları araştırma sonuçlarına göre katyon değişim kapasitesi artışı; artan kil miktarı, likit limit, birim hacim ağırlığı, doğal su içeriği ve hidroskobik rutubetle, düşüşü ise, artan plastik limit ve büzülme limiti ile olduğunu gözlemişlerdir.

Grim (1962), bazı kil minerallerinin katyon değişim kapasitelerini (meq/100gr.); vermiculit 100-150, montmorillonit 80-150, illit ve klorit 10-40, susuz holloysit 10-40, sulu holloysit 5-10, kaolinit 3-15 şeklinde vermiştir.

Holeman (1965), sodyumca zengin bir montmorillonitin likit limitinin 700, plastik limitinin 93, dolayısıyla plastiklik indeksinin 607 bulunduğunu, eğer bu montmorillonitte Na iyonlarının yerine Ca iyonları geçirilirse, likit limit 700'den 124'e, plastik limitin 93'den 72'ye plastisite indisinin 607'den 52'ye düşürülebileceğini, böylece bir kil mineralinin iyon değişim kapasitesinin plastiklik indeksini nasıl etkilediğinin aydınlatıldığını ifade etmektedir.

Akalan ve Ünal (1967), Türkiye topraklarının organik madde miktarını ve bunun katyon değişim kapasitesine olan etkisini incelemişlerdir. Araştırma sonucunda her %1 organik maddenin, katyon değişim kapasitesini ortalama 2,11 meq/100gr arttığını ve kil fraksiyonunun katyon değişim kapasitesine katılma oranının 0,43-0,99 meq/100gr olduğunu bulmuşlardır.

Şahnez (1969), katyon değişim kapasitesi üzerine organik maddenin etkisinin, mineral fraksiyon etkisinden daha fazla olduğu görüşüne varmıştır.

Banin and Amiel (1970), çeşitli toprak grupları üzerinde yaptıkları çalışmada, katyon değişim kapasitesi ile kil miktarı arasında yüksek bir korelasyonun mevcut olduğunu belirtmişlerdir.

Kalla (1971), etkili katyon değişim kapasitesinin, profilin derinliği ve zeminin tekstürüne bağlı olarak potansiyel katyon değişim kapasitesinin 1/3 - 2/3'ü arasında değiştiğini ve etkili katyon değişim kapasitesi ile kil miktarı arasında yüksek bir korelasyonun bulunduğunu bildirmiştir. Ayrıca araştırmacı, daha kaba tekstürlü zeminlerde kireçlemenin etkili katyon değişim kapasitesi üzerinde pozitif bir etkisi olduğunu açıklamıştır.

Velayutham and Raj (1971), katyon değişim kapasitesi ile zemin rutubet sabitleri arasında önemli ilişkiler saptamışlardır.

Singh (1971), silt ve kil miktarının artması ile zeminlerin total değişim kapasitesinde arttığını gözlemiştir.

Wright and Foss (1972), yüzey zeminlerinin katyon değişim kapasitesi üzerinde, organik maddenin, kile nazaran daha etkili olduğunu bildirmişlerdir.

St. Arnaud and Sephton (1972), pratik amaçlar için organik madde ve kilin katyon değişim kapasitesini ortalama 250 ve 257 meq/100 gr oranında arttığının kabul edilebileceğini rapor etmişlerdir.

Chen (1988)'e göre, kil mineralleri ortamda bulunan iyonları çekerek, başka iyonlarla yer değiştirebilecekleri ortamda tutabilmektedirler. Kil danelerinin yüzeyinde negatif (-) yükler bulunduğundan daha çok pozitif (+) yüklü olan katyonları çekmektedirler. Montmorillonitin katyon değiştirme kapasitesinin kaolinitten 10 kez daha fazla aktif olmasının nedeni, montmorillonitin kaolinitten daha fazla (-) yük taşımasından kaynaklanmaktadır. Illit ve kaolinite göre özgül yüzey alanının daha büyük olması montmorillonitin bu iki minerale göre daha çok su tutma kapasitesine sahip olduğunu gösterir. Ayrıca K.D.K. ile Atterberg limitleri arasında ilişki vardır.

2. 7. Boşluk Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Terzaghi and Peck (1948), üniform bir tortulun dane büyüklüğü azaldığında porozitenin arttığını saptamışlardır. Doğal olarak değişik büyüklükteki fraksiyonlara sahip bir tortulun porozitesi, mütecanis parçacıklardan meydana gelen tortulunkinden daha azdır. Çünkü küçük parçacıklar büyük parçacıkların arasına girerek boşlukları doldurmaktadır. Örneğin bir buzul till'i (killi - çakıl) %20'lik bir poroziteye sahip iken, birleştirilmiş toprak sınıflandırma sistemine göre doymuş bentonit (yüksek plastisiteli - inorganik ve yağlı killer) %84'lük bir poroziteye sahiptir.

Slasareva (1972), tipik sierozemlerin yoğunluğu ve strüktürleri, bunların agronomik önemi üzerinde araştırmalar yapmıştır. Toprak agregatlarının poroziteleri, suya dayanıklılığı, boyutları ve mekanik kompozisyonları toprak hacim yoğunluğu ve değişken porozitelerini etkilemekte olduğunu saptamıştır.

2. 8. Geçirgenlik Üzerine Yapılan Araştırmalar

Wenzel (1942)'e göre, bir tortul (sediment) gözenekli olduğu halde geçirgen olmayabilir. Geçirgen olmayışının nedeni, gözenekler arasında bağlantının olmayışdır. Kanıt olarak, Flanthend Valley'den (Montana ABD) alınan bir siltli kilin %55'lik bir poroziteye sahip olduğu halde geçirgenliğinin 0,575 litre/gün olması; buna karşılık Nebraska'daki (A.B.D.) %35'lik poroziteye sahip bir pleistosen çakıllı kumun geçirgenliğinin 31,605 litre/gün olması gösterilebilir.

Terzaghi and Peck (1948), zeminlerin geçirimsizlik derecelerini k (cm/sn) değerlerine göre; 1.10^{-1} 'den büyük olanlar çok geçirimli (iri çakıl), $1.10^{-1} - 1.10^{-3}$ orta geçirimli (kum, ince kum), $1.10^{-3} - 1.10^{-5}$ az geçirimli (siltli kum), $1.10^{-5} - 1.10^{-6}$ çok az geçirimli (silt), 1.10^{-6} 'dan az geçirimsiz (kil), olarak bildirmişlerdir.

Talsma and Flint (1958), hidrolik geçirgenlik tayininde zemin tekstürünün en önemli özellik olarak belirttiğini ve hidrolik geçirgenlik ile % kil ve % kil+silt değerleri arasında oldukça önemli korelasyonlar bulunduğunu bildirmişlerdir. Araştırmada, tekstürleri aynı olan materyallerin hidrolik geçirgenliklerinin, yüzeyden derine doğru bir azalma gösterdiği, bu durumun ağır tekstürlü materyallerde fazla, hafif tekstürlülerde daha az ortaya çıktığı ve nedeninin alt katlarıdaki sıkışmanın fazlalığından kaynaklandığı görüşüne varmışlardır.

Lambe (1964), kil bileşiminin, iyon değiştirme kapasitesinin ve iyon cinsinin permeabiliteyi etkilediğini, montmorillonit grubundan bir kil ile kaolinit grubundan bir kilin permeabilitesinin birbirinden 1000 defa farklı olabildiğini, hatta aynı cins bir kilin değişebilir iyonlarının farklı olması nedeni ile permeabilitenin farklı olduğunu, Na montmorillonitinin permeabilitesinin Ca montmorillonitinin permeabilitesinden 300 defa küçük olmasıyla açıklamıştır.

Holeman (1965)'a göre killi topraklarda sayıları çok fazla olan gözenek ve ara bağlantılar o kadar küçüktür ki, su hareketi şiddetle engellendiği için bu topraklarda yüksek poroziteye rağmen geçirgenlik ihmal edilecek kadar düşüktür. Kil materyalinin geçirgenliği önemli ölçüde mevcut değişebilir iyonlar tarafından etkilenir. Örneğin, bir montmorillonitle Ca iyonlarının yerine Na iyonları geçerse geçirgenlik birkaç kat azalır.

Özal (1967)'a göre, malzeme içindeki ince partikül oranı, malzeme özelliklerini etkilemektedir. Malzeme içerisindeki ince partikül miktarı (200 nolu elekten geçen miktar) %10 kadar küçük bir oranda olsa dahi bazen bu tür kum ve çakıllı malzemeler geçirimsiz olabilmektedir.

Dizdar (1982), ABD yayımlanmış bazı toprak etütlerindeki kullanım ile ilgili yorumlamalardan; gölet rezervuar sahası olarak uygun kabul edilen toprakların derin, tından kile kadar değişen bünyeli veya kaba bünyeli olupda tın yahut kil ara tabakalı, orta yavaştan çok yavaşta kadar değişken geçirgenliğe sahip, yetersiz veya kötü drenajlı olması gerektiğini bildirmektedir.

Özenci (1985)'e göre, geçirimsizlikleri düşük, likit limit değerleri büyük olan killi zeminler boşluk suyu basıncı doğururlar, işlenmeleri güçtür ve büyük hacim değişikliği gösterirler. Bu tür malzemelerden olup, permeabilite katsayıları 1.10^{-8} cm/sn düşük, likit limitleri 50'nin üstünde olan malzemeler genellikle toprak dolguların ana geçirimsiz çekirdeklerinde kullanılmamaktadır.

Bagchi (1990), geçirimsiz tabakalarda kullanılan killerin, kompaksiyonla yerine yerleştirildikten sonraki permeabilitesinin 1.10^{-9} cm/s'den daha küçük olmasının istendiğini belirtmiştir.

Güler ve Avcı (1993), su kaçağı olan baraj rezervuar alanlarında kaçakları önlemek için, rezervuarın tamamını veya bir kısmını geomembran ile kaplanmasının mümkün olduğunu ifade etmişlerdir.

Güler ve ark. (1993), yaptıkları çalışmada geçirimsiz malzeme olarak kullanılan killerde aranılan en önemli kriterin permeabilite değeri olduğunu, ancak çeşitli kimyasal maddelerin killerin permeabilitesini olumsuz yönde etkileyebileceğini belirterek, bu tür killere %6 oranında kireç ilave edildiğinde materyalin 1000 kat daha geçirimsiz hale geldiğini, daha fazla kireç ilavesi ile permeabilitenin artmaya başladığını bildirmişlerdir.

2. 9. Dayanım Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Holeman (1965)'a göre, montmorillonit içeren killi topraklarda rutubet artması ve yoğunluk azalması yanısıra şişme de olursa, bu toprakların kesme dayanımı azalır. Bu topraklar orta rutubet içeriğinde oldukça yüksek dayanıma sahip olsa bile, su ile doymuş hale geldiklerinde üzerine çok hafif yük binmesi ile kesme dayanımı pratik olarak sıfıra indirgenebilir.

Mitchell (1976), katyon cinsinin kayma dayanımına olan etkilerini inceleyerek kayma dayanımının; $NH_4^+ > H^+ > K^+ > Fe^{+3} > Al^{+3} > Mg^{+2} > Ba^{+2} > Ca^{+2}$, $Na^+ > Li^+$ sırası ile azalma eğilimi gösterdiği, plastisitenin de aynı sırada arttığını göstermektedir.

Turski (1979), lös materyallerinde kayma dayanımı değişiminin, yoğunluk ve su içeriği ile ilişkisini incelemiş ve;

- kayma dayanımı ile çeşitli düzeydeki su içeriğinde uygulanan basınç,
- kayma dayanımı ile çeşitli düzeyde su içeriğinde yoğunluk,
- kayma dayanımı ile farklı yoğunluk düzeylerinde, toprak su içeriği arasındaki ilişkileri ifade etmek üzere, regrasyon denklemleri kurmuştur. Bulunan korelasyon katsayıları 0.537 ile 0.966 arasında değişmiştir.

2.10. Sıkışma ve Sıkışabilme Üzerine Yapılan Araştırmalar

Proctor (1933)'a göre, belirli bir sıkışma enerjisi altında sıkışma, zeminin su içeriğine bağlı olarak değişir. Sıkıştırma enerjisinin zemine kazandıracığı maksimum sıkışma, belli bir su içeriğinde (optimum su içeriği) elde edilebilir.

Free (1947), organik madde kapsamı ile sıkışma arasındaki ilişkileri araştırmak üzere proctor yöntemini kullanmış ve organik madde miktarının artışına paralel olarak, sıkışmanın azalmakta ve optimum su içeriğinin artmakta olduğunu bulmuştur.

Rominger and Rutledge (1952), doğal zeminlerin sıkışma özelliklerini sıvılık indeksine (I_L) göre; sıvılık indeksi -0,2'den küçük olan zeminleri yüksek düzeyde aşırı konsolide, -0,2~0,5 arasındaki zeminleri aşırı konsolide killer, -0,5 ~ 1,2 arasındaki zeminleri normal konsolide killer, 1,2'den büyük zeminleri hassas killer olarak sınıflandırmışlardır.

Bruce (1955), değişik zeminler üzerinde yapmış olduğu araştırmalar sonucunda; değişik zeminlerde belirli bir sıkıştırma enerjisi altında, farklı sıkışma parametreleri ve yine aynı değişik zeminlerde, farklı sıkıştırma enerjileri altında, farklı sıkışma parametreleri elde etmiştir.

Kovano and Holmez (1958), zeminin montmonillonit veya kaolinit kili içermesinin zemin sıkışmasını etkilemediğini bildirmişlerdir.

Bishop (1963)'a göre, barajlardaki kil dolguları optimum su içeriğinin altında sıkıştırmanın sakıncaları şunlardır:

- Baraj suya doyunca zeminin C değeri düşer.
- Dolgu çok rijit olacağı için, temelde farklı oturmalar olması durumunda çatlama oluşur.
- Kil oranı yüksekse, baraj su ile doldurulduğunda dolguda düşük basınçlar altında şişme, yüksek basınçlar altında önemli çökmeler oluşur.

Araştırmacı, bu nedenlerle kil dolgularını, özellikle çekirdek kesimini, optimum su içeriğinin bir miktar (%1-3) üstünde sıkıştırmanın doğru olacağını belirtmektedir.

Terzaghi and Peck (1967)'e göre, belirli bir sıkıştırma enerjisi altında, zemin tekstürü kabadan inceye doğru değişirken, maksimum kuru birim hacim ağırlık azalmakta ve optimum su içeriği artmaktadır.

Seed and Chen (1969)'a göre, killi zeminler optimum su içeriğinin kuru tarafında sıkıştırıldıklarında (proctor) büyük bir kısmının floküle (yumak) olmaya meyilli, optimum su içeriğinin yaş tarafında sıkıştırıldığında da dispersif olmaya meyillidirler.

Ertan ve Ülkü (1978), zeminlerin max. kuru birim ağırlık değerlerine göre dolguda kullanım özelliklerini; max kuru birim ağırlığı (γ_{max}) 2,08 den büyük olan materyalleri dolgu için çok iyi, 2,08 - 1,92 arasında olan materyalleri dolgu için iyi, 1,92 - 1,70 arası olan materyalleri dolgu için orta, 1,70 -1,60 arası olan materyelleri dolgu için zayıf, γ_{max} 'sı 1,60 dan küçük olan materyalleri dolgu için pek zayıf (zorunluluk olmadıkça kullanılmamalı) olarak sınıflandırmıştır. Ayrıca γ_{max} 'sı 1,43 den küçük olan materyallerin dolguda kesinlikle kullanılmaması gerektiğini bildirmektedirler.

Sowers (1979), sıkışma indisinin (Cc) sıkışabilirlik özelliğini yansıtan bir parametre olduğunu belirterek; likit limiti 0-30, sıkışma indisi 0-0,19 arasında olan zeminleri düşük sıkışabilir zeminler, likit limiti 31 - 50, sıkışma indisi 0,20 - 0,39 arasında olan zeminleri orta sıkışabilir zeminler, likit limiti 51'den, sıkışma indisi 0,40'dan yukarı olan zeminleri de yüksek sıkışabilir zeminler olarak sınıflandırmıştır.

Güler vd. (1993) özgül ağırlığı 2,62, optimum su içeriği 21,50, likit limit 29,30, plastik limiti 20,04 olan kaolin kilini optimum su içeriğinin %3 kuru, %3 yaş tarafında standart proctorda sıkıştırarak ödometre aletinde 100-200-500 kPa olmak üzere üç ayrı basınçta konsolidasyona bırakmışlardır. Optimum su içeriğinin ıslak tarafında sıkıştırılan örneklerde gözlenen deformasyon, optimum ve optimumun kuru tarafında sıkıştırılan örneklerin deformasyonuna göre yaklaşık 3 (1,1 - 3,5 mm) katıdır. Her üç su içeriğinde sıkıştırılan örneklerde uygulanan basıncın artması ile birlikte deformasyonların arttığını, bu artışın optimum ıslak tarafında sıkıştırılmış örneklerde en fazla, optimum su içeriğinde az, optimum su içeriğinin kuru tarafında sıkıştırılan örneklerde ihmal edilebilir derecede olduğunu belirlemişlerdir. Dolgu barajların çekirdek bölgesinin, optimum su içeriğinde ve optimum su içeriğinin ıslak tarafında sıkıştırılmamasını, aksi takdirde fazla oturma meydana gelebileceğini özellikle vurgulamaktadırlar.

2.11. Şişme Üzerinde Yapılan Araştırmalar

Skempton (1953), Killi materyallerin aktivitesini; kil materyalinin plastik indeksinin kil fraksiyonunun miktarına oranı olarak tanımlamaktadır. Aktivite= PI/C , burada PI, plastiklik indeksi, C kil boyutu danelerinin yüzdesidir. Aktivitesi 0,75den az olan killere aktif olmayan, 0,75 - 1,25 arasında olanlara normal aktif, 1,25 den yukarı olanları da aktif kil olarak sınıflandırmıştır. Kil büyüklüğündeki fraksiyonda en çok bulunan minerallerin aktivite değerlerini; kalsit 0,18, kaolinit 0,33 - 0,46, muskovit 0,23, illit 0,90, Ca- montmorillonit 1,50, Na - montmorillonit 7,20, kuvars 0,00 olduğunu bildirmektedir.

Holtz and Gibbs (1956)'e göre, düşük büzülme limiti, toprağın düşük su içeriğinde hacim değiştirmeye başlayacağını gösterir. Ayrıca şişme değeri mevcut montmorillonitin miktarı ile değişebilir katyonların cins ve sayısına bağlıdır.

Holtz and Gibbs (1956), şişme potansiyelini zeminin içerdği kil tipi ve yüzdesini yansıtan indeks özelliklerine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

İndeks özellikleri			Muhtemel şişme toplam hacmin % si olarak (1)	Şişme derecesi
Kolloid içeriği (<0,001mm)	Plastisite indisi	BL		
> 28	> 35	<11	> 30	Çok Yüksek
20 - 31	25 - 41	7 - 12	20 - 30	Yüksek
13 - 23	13 - 28	10 - 16	10 - 20	Orta
< 15	< 10	> 15	< 10	Düşük

Holtz and Gibbs (1956); Ladd and Lambe (1961), Şişme potansiyeli ile zemin endeks özellikleri arasında bağıntılar elde etmeye çalışmışlardır. Bunların bir kısmında sadece özgül şişme kapasitesini etkileyen ve kilin minerolojik yapısını yansıttığı kabul edilen, likit limit ve plastisite indisi gibi parametreler ile şişme basıncı arasında korelasyonlar geliştirmişlerdir.

Seed et al. (1962), kil yüzdesinin şişme üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, standart AASHO deney yöntemi kullanarak optimum su içeriğinde sıkıştırılmış farklı oranlarda ve farklı tipte killer içeren örnekleri hazırlayarak 7 kPa sürşarj yükü altında deneye tabi tutmuşlardır. Deney sonuçları şişme yüzdesinin, kil yüzdesinin bir fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Aynı kil tipinde, şişme değerinin, kil oranı ile artmasının beklenebileceğini belirtmişlerdir.

Seed et al. (1962), şişme potansiyelini standart AASHO yöntemiyle optimum su içeriğinde sıkıştırılan ve 1 psi (0,07 kg/sm²) yük altında şişmeye bırakılan örneklerden tayin etmişlerdir. Şişme potansiyeli S, aktivite A ve kil yüzdesi (<0,002 mm) C arasındaki bağıntıyı $S=3,6 \cdot 10^{-5} \cdot A^{2,44} \cdot C^{3,44}$ şeklinde bildirmişlerdir. $A=PI/c-n$ veya $PI-C$ doğrusal ilişkilerin eğimi $A=\Delta PI/\Delta C$ olarak alınır. n doğal zeminler için 5, yoğrulmuş kil minarelli karışımları için 10 alınır. Araştırmacılar, şişme potansiyeli açısından zeminlerin sınıflandırılmaları için bir abak önermişlerdir.

(1) 0,07 kg/cm² (1 Psi) düşey yük altında ve kuru durumdan suya doymuş hale gelmesi için...

Seed et al. (1962), verdikleri şişme potansiyeli, toplam şişme ve plastisite indisi arasındaki yaklaşık ilişkiler aşağıda gösterilmektedir.

Plastisite indisi %	Şişme potansiyeli (2) %	Toplam şişme (3) %
10	0,4-1,5	4,5-10
20	2,2-3,8	13,5-18,7
30	5,7-12,2	21,4-18,0
40	11,8-25	28,0-35,0
50	20,1-42,6	33,0-40,0

Seed et al. (1962), yaklaşık % 8 ile % 65 arasında kil içeren doğal zeminler için şişme potansiyelinin % 33 hata ile aşağıdaki basitleştirilmiş ifadeden plastisite indisine bağlı olarak hesaplanabileceğini açıklamışlardır. $S=2,16 \cdot 10^{-3} \cdot (PI)^{2,44}$

Seed et al. (1962), sıkıştırılarak hazırlanan zeminlerin şişme özelliğine yerleşim şartlarının etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, aynı şişme potansiyeline sahip iki zeminin, sıkıştırıldıktan sonra oldukça farklı şişme değerleri gösterebileceğini, bunun zeminin farklı şekillerde yerleştirilmesinden ya da sıkıştırılmasından veya farklı hava koşullarına maruz kalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Birand (1965), Lambe ve Ladd tarafından önerilen ve iklim şartlarını da göz önüne alan şişme potansiyeli tayin metodunun muhtelif Ankara kullerine uygulanışını vermiş ve şişme potansiyelinin plastisite indisine bağlı olduğunu saptamıştır.

Chen (1965), şişmenin yorulması olayını anlamak için, labaratuvarında bir kil örneğini konsolidasyon aletinde şişmeye maruz bırakmış, daha sonra örneğin doğal su içeriğine dönmesine izin vermiş ve tekrar doyumluğa ulaştırmıştır. Bu işlemi , bir kaç çevrim sayısı kadar tekrarlamıştır. Her bir kuruma ve ıslanma çevriminden sonra zeminin yorulma belirtisi gösterdiğini gözlemiştir.

Lambe and Whitman (1969)'a göre, bir zemin tabakası içinde%10 derecesinde montmorillonit bulunması bile, o zeminin göreceli olarak şişme özelliğini verebilir.

(2) Optimum su içeriğinde AASHO yöntemi ile sıkıştırılan, 0,07 kg/cm² (1psi) altında şişmeye bırakılan örnekler için...

(3) 0,07 kg/cm² (1 psi) yük altında havada kurutulmuş durumda suya doyum hale gelen örnekler için...

Peck et al. (1974); Chen (1975); Wayne et al. (1984), plastisite indisi ve şişme potansiyeli derecesini (doğal su içeriği % 10-20 arasında) tahmin etmek için yaygın olarak kullanılan bir bağıntı vermektedirler. Bu bağıntı ile , plastisite indisi (PI) 0-15 arasındaki zeminlerin şişme potansiyelleri düşük, 10-35 arasında olanların ki orta, 20-35 arasında olanları yüksek ve 35'ten büyük olan zeminlerin şişme potansiyellerinin de çok yüksek olduğunu belirtmektedirler.

Peck et al. (1974); Chen (1988); Gromko (1974); Wayne et al. (1984)'a göre; şişme eğilimli kil dolgu zeminlerin, mümkün olduğu oranda yüksek su içeriğinde ve düşük birim hacim ağırlıkta sıkıştırılması gerekir.

Brackley (1975), değişik su içeriklerinde sıkıştırılarak hazırladığı örnekler üzerinde yaptığı ödometre deneyleri sonucunda, şişme yüzdesi ile sürsarj yükü arasında ters logoritmik bir fonksiyon olduğunu ifade etmiştir.

Chen (1975), doğal zemin örneklerinden küçük yapıların genellikle tatbik edeceği 50 kN/m² yük altında yaptığı şişme deney sonuçları, indeks özellikleri ve SPT değerlerini gözönüne alarak muhtemel hacim değişikliklerini aşağıdaki gibi vermiştir.

Labaratuvar ve arazi verileri					
200 nolu elekten geçen yüzde	LL	Standart penetasyon darbe sayısı	Toplam hacmin yüzdesi olarak muhtemel şişme	Şişme basıncı kN/m ²	Şişme derecesi
>95	>60	>30	>10	>1000	Çok yüksek
60-95	40-60	20-30	5-10	250-1000	Yüksek
30-60	30-40	10-20	1-5	150-250	Orta
<30	<30	<30	<1	50	Düşük

Mitchell (1976), kil minarellerinin aktivite değerleri arasında büyük farklılıkların bulunduğunu belirterek, aktif killerin katyon değiştirme, su tutma kapasitelerinin ve sıkışabilme özelliğinin gayet yüksek olduğu görüşüne varmıştır.

Popescu (1980), ıslanma-kuruma çevrimi altındaki (hafif yapılar)şişen zeminlerin davranışı üzerinde çalışmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, kuruma-ıslanma çevrimi devam ederken şişme eğiliminin hızla azaldığını belirtmiştir. İzafi dengeye 5 çevrimden sonra varıldığını bulmuştur. Büzülme davranışının tekrarlı kuruma ve ıslanmayla değişmediğini saptamıştır. İslanma ve kurumayla, kuru birim hacim ağırlığın kritik değerlere varma eğilimine sahip olduğunu, şişmenin yorulmasının kuru birim hacim ağırlığın kademeli azalmasından dolayı gerçekleştiğini belirtmiştir. Kuru birim hacim ağırlığının, kritik değere ulaştığında, denge durumuna varıldığını ve bu noktada; şişme, büzülme, kuru birim hacim ağırlığın sabit olduğu ve ilave değişimin olmayacağı belirtilmiştir.

Wayne et al. (1984)'a göre, kuru mevsimlerde geniş büzülme çatlakları oluşturan, kuru iken kaya gibi sert, ıslanınca yumuşak ve yapışkan zeminler şişme eğilimindedir.

Wayne et al. (1984), temel tasarımında kullanmak üzere, hacim değişikliği, şişme basıncı ve muhtemel hasar arasındaki bağıntıyı aşağıdaki gibi vermiştir.

Hacim değişikliği (%)	Şişme basıncı (kN/m ²)	Muhtemel hasar
0-1,5	0-50	Düşük
1,5-5	50-250	Orta
5-25	250-1000	Yüksek
>25	>1000	Çok yüksek

Gültekin (1985), laboratuvarında yaptığı 1300 şişme deney sonuçlarına göre, 0,002 mm'den küçük büyüklükteki dane miktarı çok, montmorillonit yüzdesi yüksek zeminlerin su ile temaslarında birbirinden çok farklı şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerlerini verdiğini rapor etmiştir.

Schereiner (1987)'e göre zeminlerdeki şişmenin derecesi; kil miktarına, zemin yapısı içinde yer alan kil daneciklerinin minerolojik yapısına, su ile etkileşimine, gerilme tarihçesine, birim hacim ağırlığına, yerleşimine ve dane boyutuna bağlıdır. Bu etkenler altında oluşacak serbest şişme özelliğine özgül şişme denilebilir. Özgül şişme miktarı oldukça fazla olan montmorillonitin oluş faktörleri etkisiyle farklı şişme davranışı gösterebilir, hatta hiç şişme özelliği de göstermeyebilir.

Chen (1988), sıkıştırılmış zeminler için, doğal su içeriği ve kuru birim hacim ağırlığının şişme miktarına etkisini, Danver'den gelen şişen zemin örnekleri üzerinde ödometre deneyleri ile araştırmıştır. Araştırma sonucunda; sabit kuru birim ağırlıkta sıkıştırılan örneklerin doğal su içeriği azaldıkça ve sabit doğal su içeriğinde sıkıştırılmış örneklerin kuru birim ağırlıkları arttıkça toplam şişmenin de arttığını gözlemiştir.

Chen (1988), ayrışma şartlarının şişme üzerinde etkili olduğunu belirtmiştir. Buna kanıt olarak, montmorillonitin ve kaolinitin mağmatik kayalardan ayrılmış farklı kil minarelleri oldukları halde, ayrışma şartlarının değişikliği nedeniyle, montmorillonitin kaoline göre çok daha yüksek şişme potansiyeline sahip olmasını göstermiştir. Ayrıca şişen zeminlere, genellikle yağışların az olduğu ya da mevsimlere göre büyük farklılıkların görüldüğü yarı kurak bölgelerde rastlandığını bildirmiştir.

Erol ve ark. (1989), zeminlerin şişme potansiyelleri konusunda yaptıkları çalışmalar sonucunda, zeminlerin genellikle plastik limit mertebesindeki su içeriği değerlerinde nihai şişmeye eriştikleri görüşüne varmışlardır.

Erol ve ark.(1989), beklenen hacim değişimini tahmin etmek için, ödometre deneyleri ile bulunan şişme veya şişme basıncı ile zeminin endeks ve fiziksel özellikleri (likit limit, plastisite indisi ve doğal su içeriği) arasında korelasyonlar kurmuşlardır. Ancak kurulan korelasyonlar yardımıyla bulunan şişmenin arazide bulunan şişme ile kıyaslandığında tatmin edici olmadığını göstermişlerdir.

Birand ve Çokça (1991), killerin yüzey alanlarının tayini konusunda yaptıkları çalışmalarda, killerin yüzey alanı değerinin; şişme potansiyeli, kilin minerolojik yapısı ve Atterberg limitleri gibi pek çok özellikler hakkında önemli sonuçları verdiğini bildirmektedirler.

Fredlund and Rohardjo (1991), yaptıkları araştırmalarında şişmenin önceden tahmini için gerilme durumu değişkenlerinden yararlanmışlardır. Toplam şişmenin büyüklüğünün arazideki doğal gerilme ile bir süre sonraki gerilme arasındaki farkın bir fonksiyonu olarak yazılabileceğini, zeminin gerilme tarihçesinin, zeminin şişme davranışının anlaşılmasında önemli bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.

Lav and Ansal (1991), şişme potansiyelini belirleyen faktörlerden birinin, kilin özgül şişme kapasitesini etkileyen minerolojik yapı, diğerinin ise arazideki gerilme ve sınır koşullar altındaki su emme kapasitesi olduğunu bildirmişlerdir. Zeminin şişme özelliğini, şişme potansiyeline etki eden bütün faktörlerin incelenmesi gerektiğini, bir tek faktöre bağlı kalmanın yanıltıcı olabileceğini vurgulamaktadırlar. Ayrıca araştırmacılar şişmeyi, suya doymun olmayan killi zeminlerin su ile temas etmesi halinde meydana gelen hacimsel büyüme olarak tanımlamışlardır.

Ülker ve ark. (1993), ön yükleme koşullarının, şişme davranışına etkisini araştırmışlardır. Aşırı konsolide olduğu bilinen zeminler üzerinde tekrarlı yüklemeli ödometre deneyleri yapılmış ve zeminlerin sıkışma modülü (Mc) değerleri tayin edilmiştir. Çalışma sonucunda, yatay yönde alınmış örneklerde elde edilen Mc değerlerini, düşey doğrultuda alınan örneklerinkinden daha büyük olduğu görülmüş, aşırı konsolide killerde ikinci kademe yüklemeye elde edilen Mc değerlerinin genel bir düzeltme yapılarak kullanılmalarının daha doğru olacağını açıklamışlardır.

Acar (1994)'a göre; başlangıç su içeriği, şişme miktarını kontrol eden bir parametredir. Bu, hem örselenmemiş hem de yağrulmuş killi zeminler için geçerlidir. % 15'in altında su içeriği olan çok kuru killer, genelde tehlike gösterirler. Böyle killer %35 kadar su adsorbe ederler. % 30'un üzerinde su içeren killer şişmenin çoğunu tamamlamışlardır ve daha sonraki şişme az olur. Şişmenin bir başka parametresi de, başlangıç su içeriği ile ilişkili olan birim hacim ağırlıktır. 17,6 kN/m³'ün üstünde kuru birim hacim ağırlığına sahip zeminler, genelde yüksek şişme potansiyellerine sahiptir. Şişme için tam doygunluk gerekli değildir. Su içeriğindeki %1-2'lik değişimler zararlı şişmenin meydana gelmesi için yeterlidir.

2. 12. Dispers Özellikler Üzerine Yapılan Araştırmalar

Holeman (1965)'a göre, dağılmanın ortaya çıkardığı sorunlar; aşırı oturma, borulaşma veya erozyondur. Parçacıklarının daha küçük, birbirini itmesini sağlayan negatif elektrik yükünün parçacık başına düşen miktarının daha fazla olması nedeniyle montmorillonit diğer killerden daha fazla süspansiyona geçme eğilimi gösterir.

Aitchison and Wood (1956); Sherard et al. (1976), kimyasal özelliklerden hareketle dispersif killerin tayini için iki faktörün esas alınması gerektiğini belirtmişlerdir. Bunlardan biri ESP değeri, diğerleri erozyona neden olan suyun TDS ve SAR değerleridir. "Avustralya kriterleri" diye bilinen bu yaklaşımda, SAR değeri 2 yi aşıyorsa zeminin dispersif olacağını ifade etmişlerdir.

Aitchison and Wood (1965); Sherard et al. (1972;1976), yaptıkları çeşitli çalışmalar sonucu toprak dolgu barajlardaki iç erozyon olayı ile, zemin kimyası arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğunu bildirmişlerdir.

Sherard et al, (1972;1976); Mitchell (1976), bazı killerin dengeli bir yapıya sahip olmayıp kolayca dispersif konuma gelerek süratle erozyona maruz kalabileceğini bildirmişlerdir. Özellikle sürekli su akımının etkisinde olan toprak dolgularda, iç erozyonun meydana gelmesi sonucu boyutu gid gide büyüyen tünel şeklinde boşluklar oluşarak çökmeler meydana gelebileceğini, bu tür tahribata ilişkin Avustralya, Venezuela ve ABD'de görülen örneklerin literatüre geçtiğini ifade etmişlerdir.

Sherard et al. (1972); Mitchel (1976); Düzceer (1984), dispersif karakter taşıyan killerin endeks özelliklerinden herhangi biri ile sistematik bir ilişkinin gözlenemediğini belirtmişlerdir.

Akalın (1973), bildirdiğine göre; topraklarda oluşan agregatların bir kısmı gevşek bir yapı göstermesine rağmen diğer bir kısmı stabil agregatlardır. Dispersiyonu önleyici maddelerin en önemlileri; organik maddeler, kolloidal kil, dehidrate demir ve alüminyum oksitlerdir.

Mitchel (1976)'a göre, erozyon olayı toprak barajların memba tarafında başlar ve 1.10^{-5} cm/sn kadar düşük bir geçirgenlik katsayısına sahip zeminlerde dahi görülebilir.

Sherard et al. (1976); Knodel, (1991), killerin dispersif olup olmadıklarını boşluk suyundaki katyonların belirlediğini, eğer kilin boşluk suyunda Na katyonu zengin ise dispersif, Ca, K ve Mg katyonları zengin ise dispersif olmadığını belirtmektedirler.

Landau and Altschaeffl (1977)'e göre, dispersif zeminlere zeminin kuru ağırlığının % 0,5-2 oranında aliminyum sülfat ($Al_2(SO_4)_3$) ilavesi, zeminin dispersif karakterini ortadan kaldırmaktadır.

Daniel and Decker (1979), yaptığı çeşitli laboratuvar çalışmaları ile zeminin kuru ağırlığına göre % 1-2 sönmüş kireç ilavesinin dispersif zeminleri tamamen değiştirerek dispersif olmayan karektere dönüştürdüğünü ifade etmektedirler.

Forbers et al. (1980), dispersif killere sönmüş kireç ($Ca(OH)_2$) katılması durumunda, kalsiyum katyonu sodyum katyonunun yerine geçerek zemindeki sodyum katyon içeriğinin azalmasına ve dispersif karakterin değişmesine neden olduğunu açıklamaktadırlar.

Sayın (1981), kaolinitte, tabakalar arasına katyonlar giremediği için, sodyumun dispers edici bir karektere sahip olmadığını ve hatta kilin dış yüzeylerinde kalsiyuma nazaran daha az hidrate olduğunu bildirmiştir.

Düzceer (1984), Türkiye'deki ; Adıgözel, Alaca, Aslantaş, Berdan, Çamlıdere, Kozlu ve Tercan barajlarında dolgu malzemesi olarak kullanılan veya kullanılacak topraklara ait numuneler üzerinde endeks ve dispersibilite deneylerini yaparak dispersibilite karakterlerini araştırmıştır. Araştırma sonucunda, Çamlıdere barajına ait numunelerin ara zemin (dispersif veya değil), diğer numunelerin tümünün dispersif olmayan zemin olduğunu belirlemiştir.

Tuncer (1985)'e göre; iç erozyon potansiyelinin tayini yönünden, güvenilirlik açısından kimyasal deneyler ilk sıralarda yer alır. İğne deliği deneyi basit fiziksel bir deney olmakla birlikte iç erozyon olayını doğrudan gözleme fırsatı sağladığından küçümsenmeyecek bir değere sahiptir. Çifte hidrometre deneyi çoğu zaman başarılı sonuçlar vermekle birlikte, tek başına kullanıldığı takdirde yanıltıcı değerlendirmelere neden olabilmektedir. Dağılıma deneyi kalitatif bir deney olarak dispersibilite hakkında fikir vermekle birlikte değerlendirmede yardımcı bir deney olarak kabul edilmelidir.

Craft (1986), dispersif killerin davranışına etki eden temel kimyasal faktör olarak değişebilir sodyumun varlığını göstermektedir.

Yılmaz (1987), zemindeki tek değerli Na^+ ve Li^+ gibi katyonların deflokülasyonu artırdığını, 2 ve 3 değerli katyonların da flokülasyonu artırdığını bildirmektedir.

Knodel (1991)'a göre dispersiyon, zeminlerinin yavaş hareket eden su içinde hızlı erozyona uğradığı bir olay olarak bilinir. Bu durumda koloidal kil mineralleri, diğer normal killerden farklı olarak su içinde solüsyona dönüşür. Su içinde bulunan kil parçacıkları arasındaki elektiriksel yüzey kuvvetleri, çekim kuvvetlerini aşıyorsa, bağımsız kil parçacıkları zemin yüzeyinden ayrılır ve su içinde solüsyon haline geçer. Eğer su akış halinde ise kil parçacıkları uzaklara taşınarak kil kütlelerinin ayrışmasına ve dağılmasına neden olur.

Knodel (1991), zeminlerin dispersif sınıflamasını (çifte hidrometre deneyi sonucunda bulunan dispersiyon yüzdesine göre), dispersiyon yüzdesi 30'dan az olan zeminlere dispersif değil, 30-50 arasında olan zeminlere geçiş zemini, 50'den fazla olan zeminlere dispersif zemin şeklinde yapmıştır. Değişebilir sodyum yüzdesine (ESP) bağlı yaptığı nitel sınıflamada; ESP değeri <7 olan materyaller için dispersif değil, 7-10 arası için geçiş zemini, >10 için dispersif zemin olarak değerlendirilmektedir.

Tosun ve ark. (1993), SAR 'ın kullanımı doğal haldeki zeminlerin kendi çevreleri ile denge durumunda olduğu gerçeğine dayandığını, özellikle zemin boşluk suyunun elektrolit konsantrasyonu ve kil adsorb tabakasının değişebilir iyonları arasında bir ilişkinin bulunduğunu bildirmektedir. Ayrıca SAR'ın kullanılabilmesi için zeminde serbest tuzun olması, toplam çözülmüş tuz (TDS) değerinin 0,5-3,0 meq/L arasında olması gerektiğini ifade etmektedir.

Tuncan (1995)'a göre; kil danelerinin spesifik yüzey alanı, katyon değişim kapasitesi, dielektrik katsayısı, pH , elektiriksel geçirimlilik ve zeta potansiyel gibi fiziko-kimyasal özellikleri kil danesinin yüzey karakteristیکlerine bağlıdır. Bu özellikler, kil danelerinin mikroyapısını ve geoteknik özelliklerini önemli bir şekilde etkilemektedir. Bu özelliklerin bilinmesi, kil danelerinin flokülasyon ve dispersiyon gibi çeşitli davranışlarının tahmininde oldukça önemlidir.

2.13. Zeminlerin Mühendislik ve Minerolojik Özellikleri Üzerine Yapılan Araştırmalar

Holtz (1948), çekirdek inşaaındaki gaye, minimum bir enerji sarfiyatı ile maksimum kayma dayanımı, küçük boşluk suyu basıncı, az sıkışma özelliği ve düşük bir permeabilite elde edebilmek olduğunu belirtmektedir.

Özal (1967)'a göre; dolguda kireç oranı ve çözülebilen tuz oranının fazla olması permeabiliteyi artırır, stabiliteyi azaltır. Organik madde oranları yüksek topraklarda organik maddeler çürüyerek kitlenin karakterini değiştirecek kimyasal reaksiyonlara neden olurlar. Kireç, çözülebilen tuz ve organik madde oranlarının yüksek değerde olması mühendislik bakımından istenmez.

Alpan (1973)'a göre, optimum su içeriğinden biraz fazla (% 1,5-2,0) su içeriğinde sıkıştırılan dolgular kolaylıkla sıkıştırılabilmekte ve malzeme suya oldukça doygun olduğundan, baraj su ile dolduğunda fazla su emmemektedir. Buna karşılık, boşluk suyu basıncı W_{opt} da inşaa edilen dolgulara nazaran çok büyük olmaktadır. Yapılan araştırmada $\Delta p=3,0 \text{ kg/cm}^2$ lik bir yükde $W= W_{opt}-2$ su içeriğinde u boşluk suyu basıncı uygulanan yükün % 8,33'ü iken, aynı yük altında $W= W_{opt}$ da bu değer % 35,3, $W= W_{opt}+2$ de ise % 86,5 olmaktadır. Ayrıca W_{opt} civarındaki su içeriğindeki ufak değişimlerin, hacimsel sıkışma kat sayısının (Mv) ve dolayısıyla oturmalar üzerinde etkisi olmadığını, enerjinin artışı ile belli bir enerjiden sonra Mv azalmamakta ve oturma sabit kalmaktadır.

Ertan ve Ülkü (1978)'ye göre; geçirimsiz dolguda kullanılacak malzemelerin, optimum su içeriğindeki maksimum kuru birim ağırlığının (γ_{max}) $1,70 \text{ gr/cm}^3$ den fazla, likit limit değerlerinin 40-50, plastik limit değerlerinin 14-20 arasında olması ideal değerlerdir.

Can (1983), Ankara-Yıldız imar planı kapsamındaki zeminlerin minerolojik özelliklerinin mühendislik davranışlarına etkilerini araştırmıştır. Çeşitli derinliklerden alınan bozulmamış 30 örnek üzerinde indeks, mühendislik, minerolojik, kimyasal deney ve analizlerini yaparak; zemin sınıfının CH, MH, kil fraksiyonunun %29-38 arasında değiştiğini, hakim kil mineralinin illit, montmorillonit daha sonra klorit, kaolin olduğunu, kireç oranının % 1,23-19,6 arasında, organik maddenin % 0,9-1,61 arasında, permeabilitenin 7.9×10^{-6} - $7,7.10^{-6}$ arasında olduğunu saptamıştır. Araştırma sonucunda; organik madde miktarının artışına bağlı olarak maksimum kuru birim hacim ağırlığının azaldığını, optimum su içeriğinin arttığını, kil mineralinin artmasıyla LL, PL,PI, doğal su içeriğinin, sıkışabilmenin artış gösterdiğini, büzülme limiti ve dayanımının da artan kil miktarı ile azalma gösterdiğini belirtmiştir. Aynı zamanda hakim kil mineralinin illit, montmorillonit olmasından dolayı şişme potansiyelinin genelde yüksek, büzülme eğilimin de riskli olduğunu açıklamıştır.

Kılıç vd. (1985), göletlerin bent gövdesinde kullanılacak materyallerin özellikle orta derecede plastik, genişlemeyen kaolinit ve kloritçe zengin materyal olması gerektiğini belirtmişlerdir. Materyaldeki kil minerali tipinin; bent gövdesi dolgusundaki şişme-büzülmeyi, su tutma kapasitesini, plastikliği, kohezyonu, adsorbsiyon kapasitesini büyük ölçüde etkileyeceğini, bu nedenle dolguda kullanılması düşünülen materyallerin diğer özellikleriyle birlikte kil mineralinin de belirlenerek, materyal seçimini yapılmasının daha sağlıklı olacağını ifade etmektedirler.

Öztoprak (1987), Tokat-Artova Bebekderesi Göleti Dolgu Materyalinin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi konulu çalışması sonucunda, DSI'nin yaptığı deney ve analizlere ilaveten belirlenen malzeme sahalarından aldığı 4 adet bozulmuş örnekler üzerinde indeks, mühendislik, kimyasal, minerolojik deney ve analizleri yapmıştır. Yapılan indeks deneyleri sonucu; özgül ağırlık 2,74-2,77, boşluk oranı % 39,6-82,2, porozite % 28,39-45,88, LL 31,70-75,12, PL 17,35-40,02, PI 12,97-35,10, BL 10,12-15,01, % kil 10-26, % silt 20-39, % kum 24-48, çakıl 3,7-29,5 aralığında bulunmuş, sınıflandırma sonucu grup sembolleri SC, SC, SC, CH çıkmıştır. Kimyasal deneyler sonucu kireç % 1,5 - 4,6, çözülebilir tuz % 0,022-0,039, organik madde % 1,2-1,8 aralıklarında, mühendislik deneyler sonucu; γ_{max} 1,591-1,905, Wopt. 13,10-19,40, permeabilite $1,175 \cdot 10^{-7}$ - $2,606 \cdot 10^{-7}$, kayma dayanımı C 0,59-0,70, ϕ 22-28, C_v $0,01 \cdot 10^{-3}$ - $9,0 \cdot 10^{-4}$, M_v $0,8 \cdot 10^{-2}$ - $3,3 \cdot 10^{-2}$ aralıklarında bulunmuştur. Minerolojik analizlerden, x - ışınları kırımına göre başat kil mineralleri; montmorillonit, klorit, kalolinit, az illit olarak belirlenmiştir. D.T.A. sonuçlarından montmorillonit ve az organik madde çıkmıştır. Şişme deneyleri sonucunda grup sembolü SC, SC ve kil yüzdesi 8-16 olan örneklerin şişme yüzdeleri düşük (6,80-9,63) ve dolgu için güvenli olduğunu belirtmiş, grup sembolü SC, CH olan ve kil yüzdesi 18-31 olan örneklerin şişme yüzdelerinin orta (16,50-20,14) düzeyde olduğundan dolguda kullanılmamasını önermiştir. Ayrıca araştırmacı, Köy Hizmetlerinin göletlerde kullandığı dolgu materyelleri üzerinde yaptığı rutin deneylere, konsolidasyon ve minerolojik analizleri de ilave ederek dolgu malzemelerinin seçiminde güvenilirliğin artırılmasını önermiştir.

Özbayoğlu ve Ünsal (1993), Düzce-Bolu killeri üzerinde yaptıkları araştırmada bölgeden alınan 54 bozulmamış örnekler üzerinde yapılan indeks, mühendislik ve minerolojik deney ve analizler sonucunda ortalama olarak; likit limit % 39, plastik limit % 21, plastisite indisi % 18, zemin fraksiyonu % 3 çakıl, % 17 kum, % 60 silt, % 20 kil, zemin sınıfı CL, CH, $C_c=0,26$, $M_v=2,80 \cdot 10^{-2} \text{Cm}^2/\text{kg}$, $k=13,6 \cdot 10^{-7} \text{cm/sn}$, hakim kil minerali montmorillonit, sonra sırası ile feldispat, kuvarz, kalsit, az kaolinit, az vermikulit olduğunu saptamışlardır. Ayrıca aktivitesinin 1,30, Van Der Merwe abağına göre zeminlerin orta derecede şişme özelliğinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Yılmaz ve Karaca (1995), Sivas-4 Eylül barajı çevirme tünelineki killerin jeoteknik özelliklerini bozulmuş ve bozulmamış 11 er örnek üzerinde yaptıkları; indeks, jeoteknik ve minerolojik (x-ışınları) deneylerle araştırmışlardır. Araştırma sonucunda; LL 51-74, PL 22-36 arasında, zemin sınıfı CH, MH, ince fraksiyonun % 65 kil, % 35'i feldispat, kuvarz ve kalsit minerali, kil minerallerinin % 74'ü nü simektit, simektiti illit ve kloritin takip ettiğini saptamışlardır. Araştırmacılar; zemin aktivitesinin 0,62-0,96 arasında normal aktif Van Der Merwe şişme potansiyeli abağına göre yüksek şişme potansiyeline sahip olduğunu, şişme potansiyelinin yüksek olmasının, hakim kil mineralinin simektit olmasından kaynaklandığını, plastisite ve boşluk oranının kil fraksiyonuna bağlı olarak değiştiğini bildirmektedirler.

2.14. Bölgede Önceki Çalışmalar

DSİ Samsun VII. Bölge Müdürlüğü (1991) bölgede yapmış olduğu çalışmada, belirlediği geçirimsiz malzeme sahalarından aldığı 10 bozulmuş örnek üzerinde indeks ve mühendislik deneyleri yapmıştır. İndeks deneylerinden; özgül ağırlık 2,69 - 2,83 arasında porozite, % 33-40, boşluk oranı % 50-66, likit limit 33-51, plastik limit 18-23, plastisite indisi 16-29 arasında bulunmuş, sınıflandırma sonucu bir örneğin grup sembolünün SC-CH, iki örneği SC-CL diğerlerinin de SC olduğunu belirlemiştir. Mühendislik deneyler sonucunda; max kuru birim ağırlık 1,612-1,856 arasında, optimum su içeriği 16,4-23,6, doğal su içeriği 16,0-23,4 arasında, 3 örnek üzerinde yapılan üç eksenli kesme deneylerinde $C=0,90-0,90-0,50-1,50 \text{ kg/cm}^2$ $\phi=18-19-20-26$, altı örnekte yapılan permaabilite deneylerinde $k=0,3.10^{-7}$, $0,4.10^{-7}$, $0,5.10^{-7}$, $0,9.10^{-7}$, $1,6.10^{-7}$ ve su geçirmedi şeklinde bulunmuştur. Konsolidasyon deneyi üç örnek üzerinde yapılarak, yük kademesine göre; konsolidasyon katsayısı (C_v) $0,4.10^{-4}-0,9.10^{-4}$ arasında başlayıp, $0,5.10^{-4}-2,0.10^{-4}$ değerleri arasında son bulmakta, sıkışma katsayısı (a_v) $2,1.10^{-2}-5,6.10^{-2}$ arasında başlayıp $0,4.10^{-2}-2,0.10^{-2}$ arasında, hacimsel sıkışma katsayısı da (M_v) $0,6.10^{-2}-3,6.10^{-2}$ başlayıp $0,3.10^{-2}-0,6.10^{-2}$ arasında son bulmaktadır. Yapılan kimyasal analizler sonucunda; kirecin (Ca CO_3) 4,7-12,7 arasında (bir örnekte 21,4), üç örnek üzerinde yapılan eriyebilir maddenin de % 0,05-0,10-0,25 arasında olduğunu saptamıştır. Ayrıca DSİ baraj yeri ve temelinde 12 adet temel sondajı yaparak, baraj yerinin jeoteknik özelliklerini (özellikle geçirimsizlik) ve temel durumunu araştırmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3. 1. Materyal

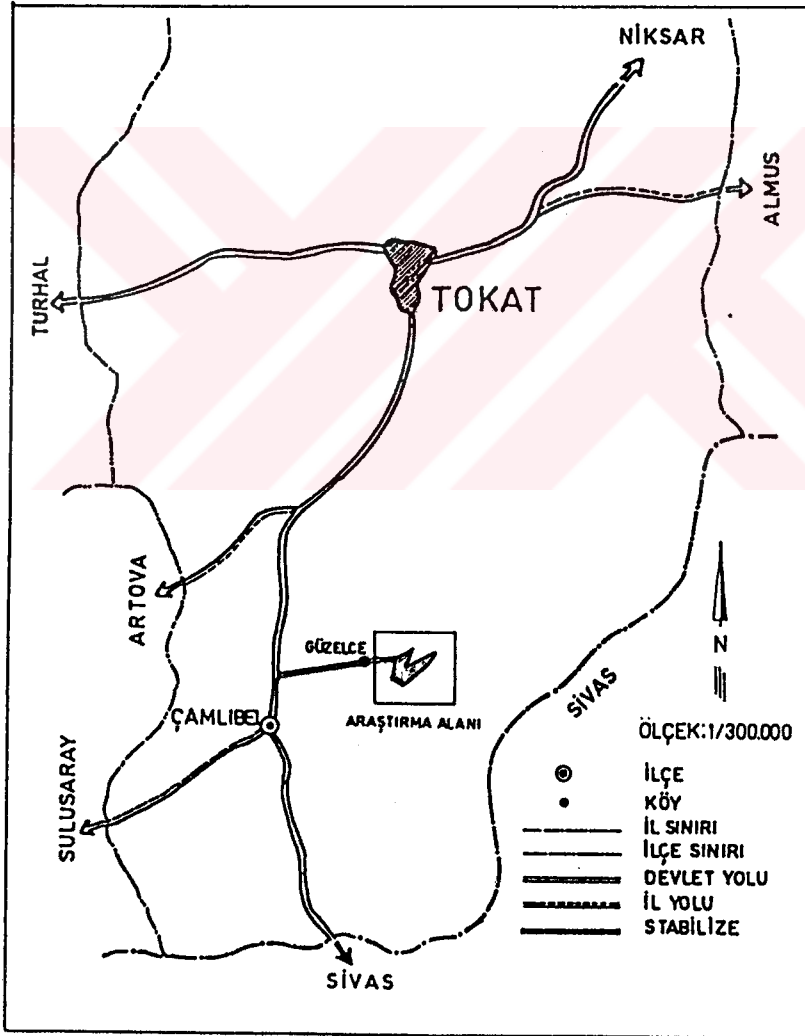
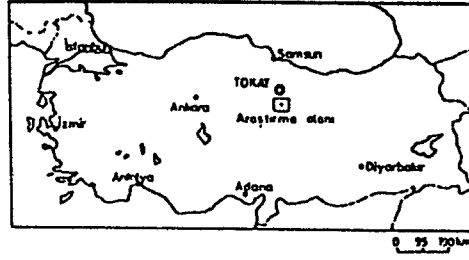
3. 1. 1. Araştırma Alanının Konumu

Araştırma alanı, Tokat merkez Çamlıbel kasabasına bağlı Güzelce Köyü'nün 2,5 km güney-doğusunda, Finize deresi üzerinde, Sivritepe eteğindeki vadide yer almaktadır. Tokat merkeze 30 km asfalt, 5 km stabilize, 2,5 km köy yolu ile toplam 37,5 km mesafededir. (Şekil 3.1.) Araştırma alanının denizden ortalama yüksekliği 1200 m, enlemi $40^{\circ} 37'$, boylamı $36^{\circ} 40'$ 'dir. Baraj ve rezervuar alanı çevresi engebeli ve dağlık olup, yer yer tahrip edilmiş orman örtüsüne rastlanmaktadır. (Şekil 3.2.) Kuzey ve güney'de ortalama kodu 1150m olan sulanabilir 4737 ha Çamlıbel ovası bulunmaktadır (DSİ,1991).

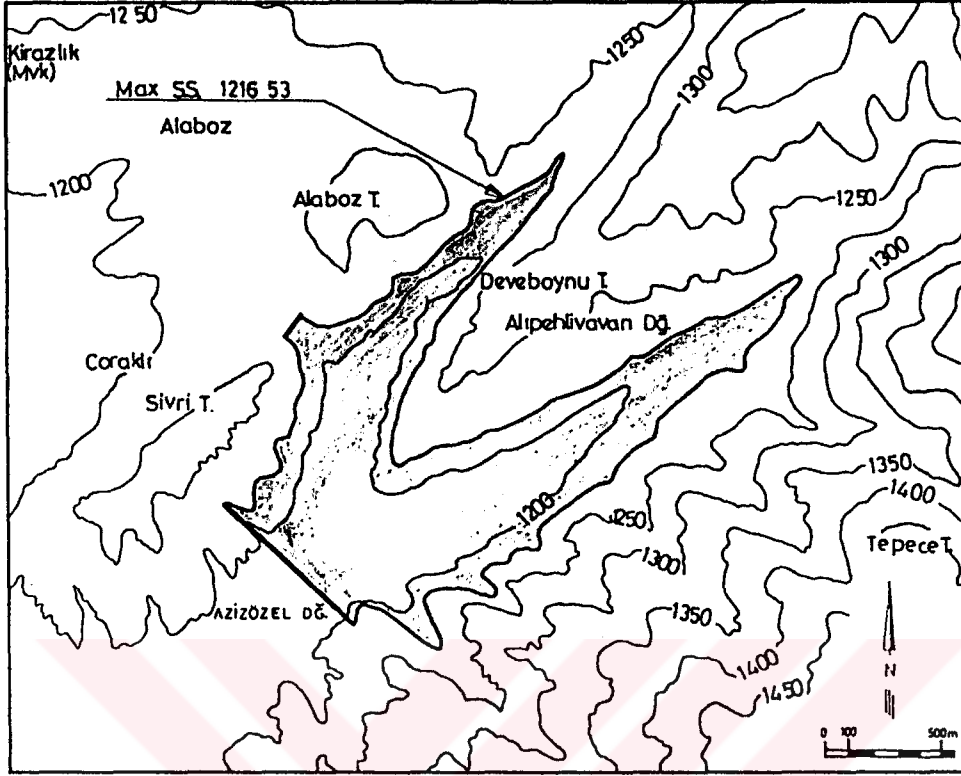
3. 1. 2. Araştırma Alanı İklimi

Tokat bölgesinde yarı kurak iklim koşulları hüküm sürmektedir(Durak, 1989). Köppen'e göre; bu yörenin ikliminin sıcak-ılıman iklimlerin, kışı soğuk, yıllık sıcaklık ortalaması 18°C 'den az, en yüksek sıcaklık ortalaması 22°C ve daha az, 4 ve daha fazla ayın ortalama sıcaklığı 10°C 'den yüksek olan iklim tipine girmektedir (Topraksu, 1971). Şekil 3.3.'de Tokat bölgesine ait toprak-su grafiği görülmektedir. (Durak, 1989)' a göre Tokat bölgesi toprak nem rejimi ustictir.

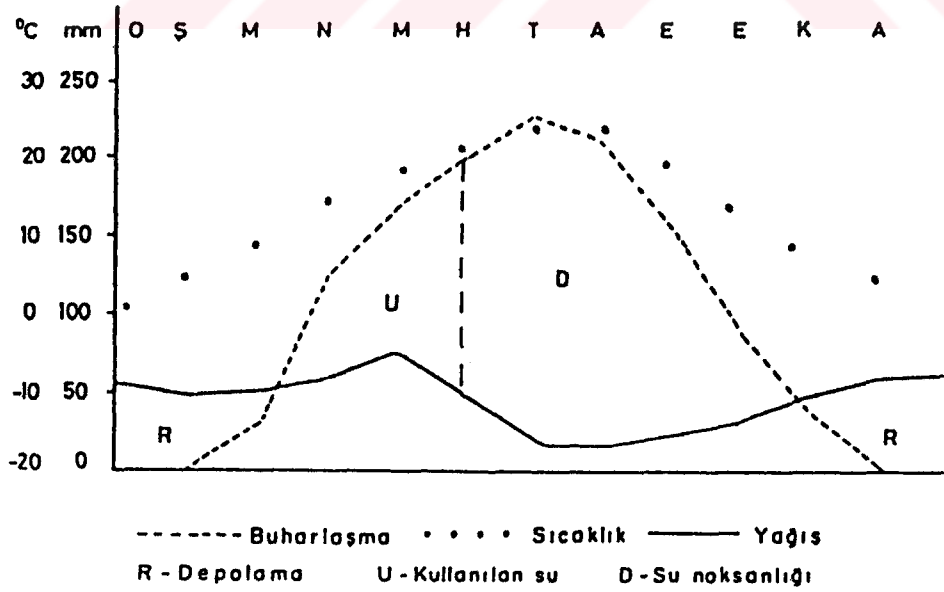
Araştırma alanı, Tokat bölgesi iklimini yansıtmakta olup, Karadeniz ikliminden İç Anadolu iklimine geçiş bölgesinde yer almaktadır. Yazları sıcak, kışları soğuk ve yağışlıdır. En çok yağış ilkbahar mevsiminde görülür. Yağışlar genellikle depresyonik karakterlidir. Yaz aylarında konvektif yağışlar görülür. Tokat DMI, Çamlıbel DMI (1948-1976) ve Çırçır DMI istasyonlarında yapılan 23 yıllık yağış, 5 yıllık sıcaklık gözlemlerine göre, yıllık ortalama yağış 384,7 mm'dir. En yağışlı ay "Mayıs" ortalaması 58,7mm, en kurak ay "Ağustos" ortalaması 4,3 mm'dir. En soğuk ocak ayı (ortalama $-3,15^{\circ}\text{C}$), en sıcak Ağustos ayı (ortalama $17,85^{\circ}\text{C}$)dir. Buharlaşması ise 1298,10 mm'dir (DSİ,1991).



Şekil 3. 1. Araştırma alanının coğrafi konumu



Şekil 3. 2. Araştırma alanının konumu (DSİ. 1991)



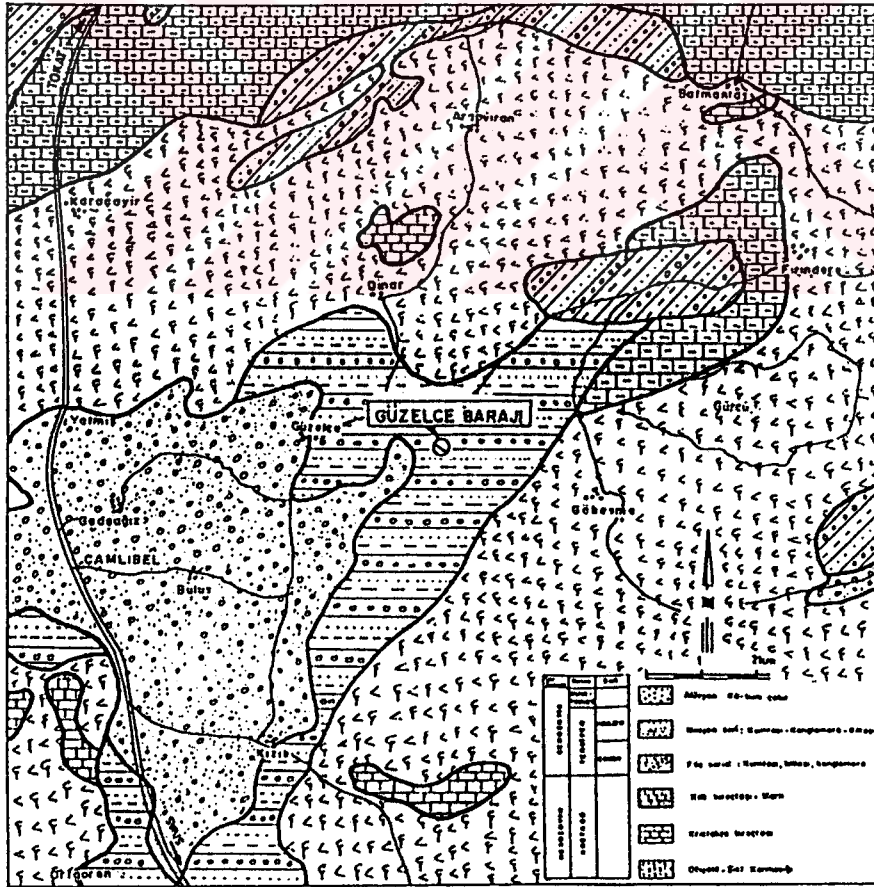
Şekil: 3.3 Tokat bölgesi toprak-su diyagramı (Durak, 1989)

3.1.3 Araştırma Alanı Hidrolojisi

Araştırma alanı üzerinden geçen Güzelce (büyük) deresi, pek çok yan dereden meydana gelmekte ve Çekerek ırmağının kaynağını oluşturmaktadır. Güzelce deresinin; baz alınan debisi $1\text{m}^3/\text{s}$, pH değeri 7,8, elektriksel iletkenliği 25°C 538 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dir. Barajın yağış havzası 102.5 km^2 'dir. Araştırma alanında kayda değer bir taşkın görülmemiştir.. Yeraltı su seviyeleri vadi tabanlarındaki alüvyonda 0,61-1,70 m arasında, sağ ve sol yakalarda en fazla 19.0 m kadar yaklaşmaktadır. Yeraltı suyu gerek içme, gerekse kullanma suyu olarak iyi kalitede olup, alkali karakterde ve sulama suyu yönünden C_2S_1 sınıfındadır (DSİ, 1991).

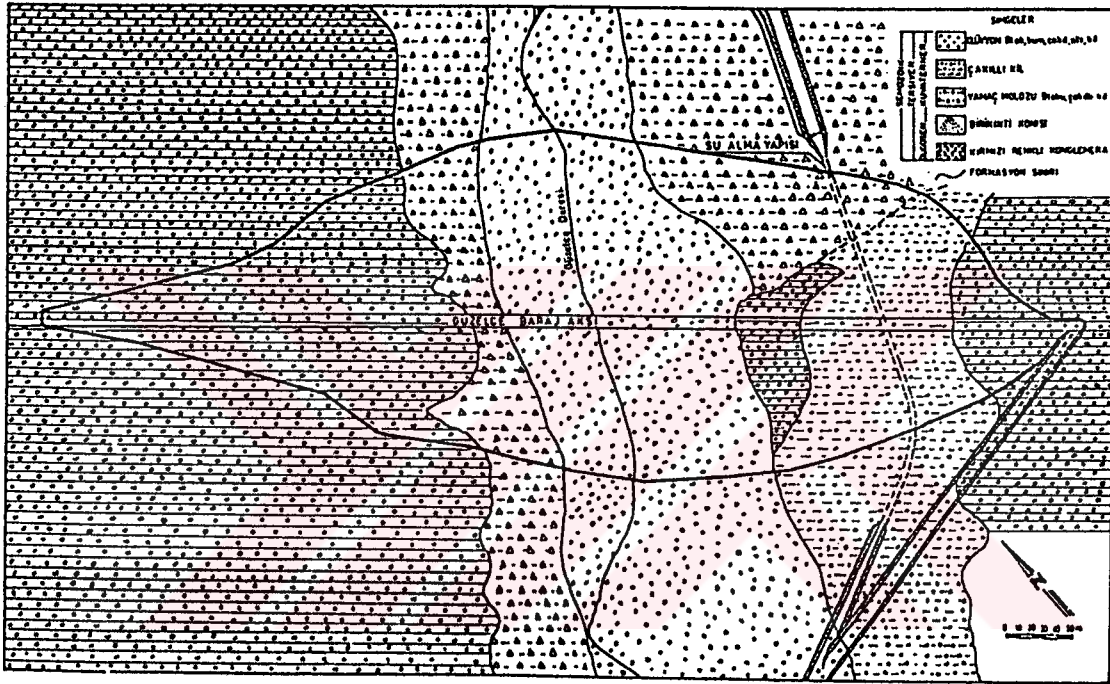
3.1.4 Araştırma Alanının Mühendislik Jeolojisi

Güzelce baraj yeri ve civarında oligosen yaşlı kırmızı renkli konglomera ile kuvaternere ait birikinti konisi, yamaç molozu, çakıllı kil ve alüvyon yer almaktadır (DSİ, 1991). Güzelce barajı ve çevresi jeoloji haritası Şekil 3.4'de görülmektedir.

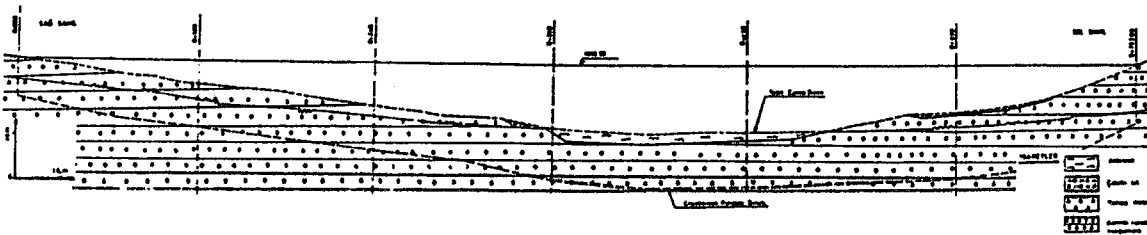


Şekil 3.4. Güzelce barajı ve çevresi genel jeoloji haritası (DSİ,1991)

Baraj yerindeki anakayayı kırmızı renkli konglomera oluşturmaktadır. Kızıl renkte hamur içerisinde yer yer blok boyutuna ulaşan ofiolit kökenli köşeli çakıllar bulunmaktadır. Önemli oranda yüzeysel ayrışmaya uğramıştır. Çekiç darbesiyle kolayca kırılır, düzgün tabakalanma gösterir. Tabaka doğrultuları kuzeybatı - güneydoğu, eğimleri 10° - 18° kuzeydoğu'dur. Tabaka kalınlıkları ortalama 50-100 cm'dir. Kırmızı renkli konglomera birimi içerisinde bazı kısımlarda danecikler halinde jips oluşumu görülmektedir. Konglomera su tutma yönünden güvenilirdir (DSİ, 1991). Şekil 3.5'de baraj yeri jeoloji haritası ve Şekil 3.6'da jeolojik boy kesit görülmektedir.



Şekil 3.5. Baraj yeri jeoloji haritası (DSİ, 1991)



Şekil 3.6. Baraj gövdesi jeolojik boy kesiti (DSİ, 1991)

Sol sahilde, menba tarafının yan dere ağzında ve sağ sahilin yan dereciklerinin ağzında 5-6 m kalınlığında bloklu, çakıllı, siltli kil niteliğinde birikinti konisi mevcuttur. Sağ sahilin yamaç eteğinde 1-2 m kalınlığında yamaç molozu bulunmaktadır. Sol sahilde 1-2 m kalınlığında ince çakıllar içeren kil örtü şeklinde çakıllı kil mevcuttur. Alüvyon vadi tabanı boyunca uzanmakta olup, sol derede daha geniş alana yayılmıştır. Ortalama 180.0 m genişliğinde, blok, çakıl, kum, silt ve kil içeriklidir. Baraj aksında açılan temel sondaj kuyularında en fazla 8.10 m derinliğinde olduğu belirlenmiştir. Geçirimli ve taşıma gücü yönünden sıkı-orta sıklıktadır(DSİ, 1991).

Göl alanında kırmızı renkli konglomera - kumtaşı - kil taşı serisi içinde en yaygın olan birim konglomeradır. Konglomeranın kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu tabakaları hafifçe memba yönüne eğimlidirler. Kızıl renkli hamur içinde köşeli ofiolit çakılları içerir. Çekiçle kolayca kırılır. Kum taşı, kil taşı birimleri daha üst seviyelerde yüzeylenirler (DSİ, 1991).

Güzelce deresinin sol kolu üzerindeki yan dereciklerin ağızlarında 5-6 m kalınlığında, bloklu, çakıllı-kil niteliğinde birikinti konisi vardır. Vadi yamaçlarının eteklerinde, özellikle sol taraftaki vadinin sol yamacında, 3-4, m kalınlığında çakıllı kil niteliğinde yamaç molozu yer alır. Alüvyon ise dere vadi tabanında, ortalama 100-150 m genişliğinde, 6-8 m kalınlığında çakıl, kum, silt, kil içerikli olarak bulunmaktadır(DSİ, 1991).

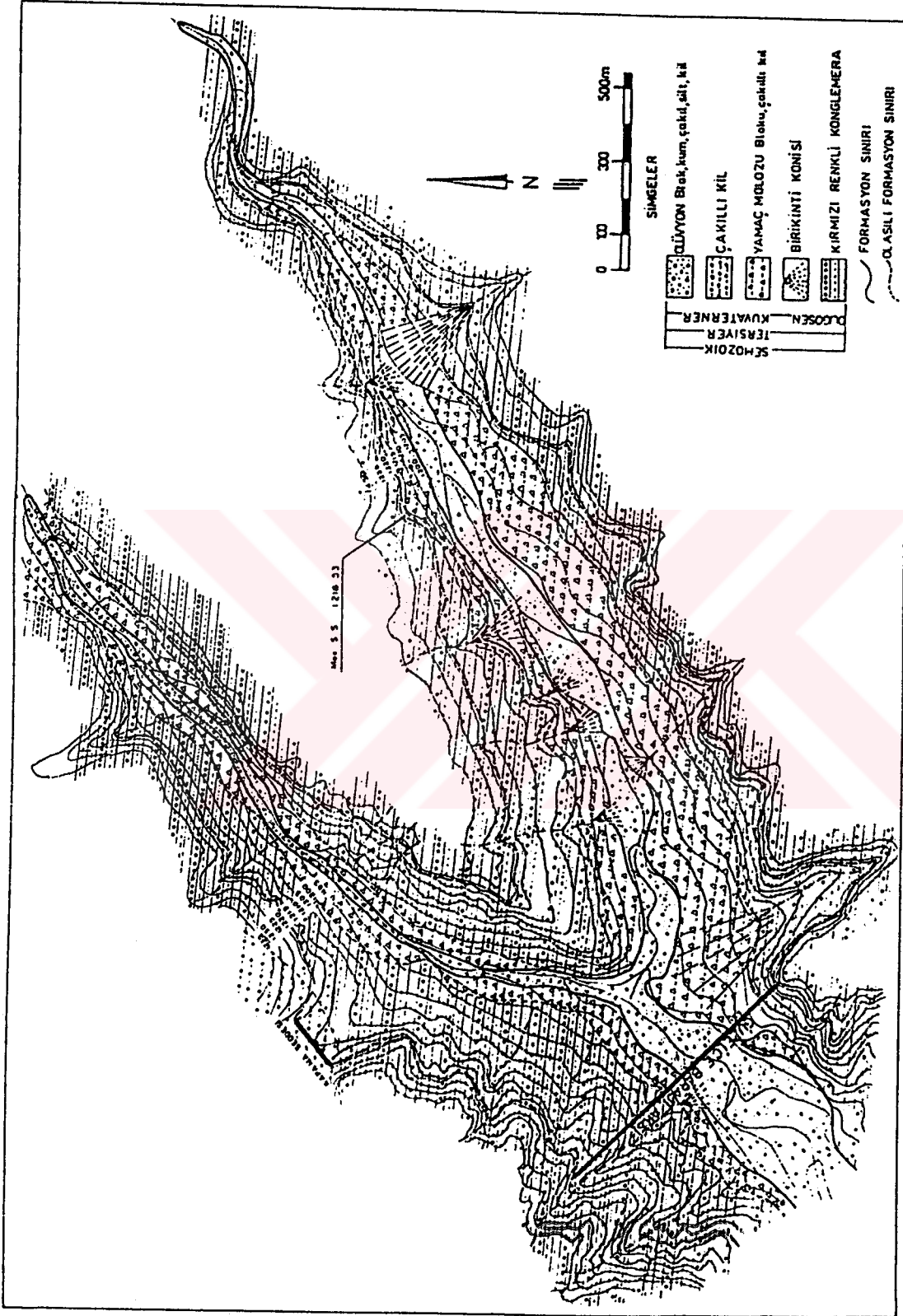
Kapama seddesi yerinde en derin 3,5 m kalınlığa ulaşan çakıllı kil örtünün altında kırmızı renkli konglomera biriminin yer aldığı görülmüştür. Kapama seddesi tabanında duyarlılık, taşıma gücü ve su tutma yönünden sorun yoktur (DSİ, 1991). Şekil 3.7'de rezervuar alanı jeoloji haritası görülmektedir.

3.1.5. Materyal Sahaları

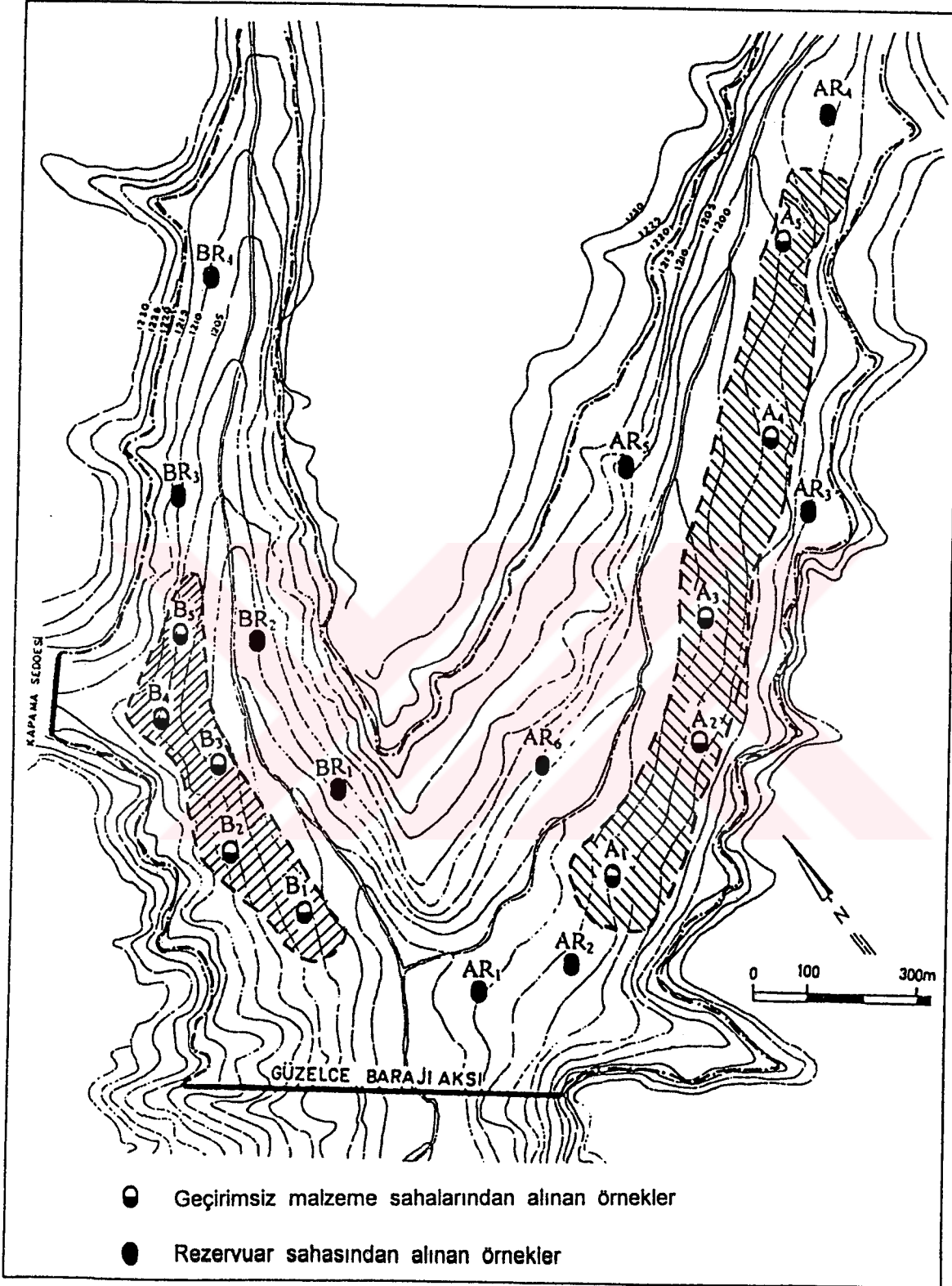
Geçimsiz materyal sahası olarak, önceden DSİ tarafından belirlenen A ve B materyal sahasları kullanılmıştır. (Şekil 3.8.)

A materyal sahası göl alanı içerisindeki Güzelce deresinin sol kolunun sol sahilinde yer almaktadır. Yaklaşık olarak alanı 175.000 m²'dir. Baraj aksına ortalama 700 m mesafede olup, baraj aksı ile materyal sahası arasında mevcut yol bulunmamaktadır.

B materyal sahası, göl alanı içerisinde Güzelce deresinin sağ sahilinde bulunmaktadır. Baraj eksenine ortalama 1100 m uzaklıktadır. Baraj eksenine mevcut yolu olmayan sahanın alanı ise 320.000 m²'dir.



Şekil 3.7. Rezervuar alanı jeoloji haritası (DSI, 1991)



Şekil 3.8. Materyal sahaları haritası

Elde edilebilecek geçirimsiz materyal miktarı; 0,30 m sıyırma kazısı altında 3,5 m derinliğinde yapılacak kazı ile A materyal sahasında 612500 m³, B materyal sahasında 1.120.000 m³ olmak üzere toplam 1.732.500 m³'dür.

3.1.6. Güzelce Barajı Proje Özellikleri

Baraj Gövdesi

Amacı	: Sulama
Tipi	: Kil çekirdekli zonlu dolgu
Dere tabanından yüksekliği	: 48,50 m
Temel tabanından yüksekliği	: 57,50 m
Talveg kotu	: 1170.00 m
Kret kotu	: 1218,50 m
Kret uzunluğu	: 773.00 m
Menba şevi	: 3.0/1.0
Mansab şevi	: 2,5/1.0
Kret genişliği	: 10.00 m
Gövde dolgu hacmi	: 2,763 hm ³

Kapama Seddesi

Tipi	: Homojen Dolgu
Temelden yüksekliği	:10,50 m
Kret kotu	:1218,50 m
Kret genişliği	: 5,00 m
Kret uzunluğu	: 155.00 m
Gövde dolgu hacmi	: 0,150 hm ³

Baraj Gölü

En yüksek su kotu	:1216,55 m.
Normal su kotu	:1215,12 m.
En düşük su kotu	:1183,18 m.
Normal depolama hacmi	:34,68 hm ³
En düşük depolama hacmi	:1,44 hm ³
Aktif depolama hacmi	:33,24 hm ³
En yüksek göl alanı	:2,083 km ²

3.2. Yöntemler

A materyal sahasından, 8 adet araştırma kuyusu açılarak uygun görülen 5 adet, B materyal sahasından da açılan 6 araştırma kuyusundan 5 adet olmak üzere, toplam 10 adet bozulmuş toprak örnekleri alınmıştır. Rezervuar alanından ise, Güzelce deresinin sol kolundaki sahadan açılan 8 araştırma kuyusundan 6 tanesinden, Güzelce deresinin sağ kolundaki sahadan açılan 5 kuyudan 4 tanesinden olmak üzere toplam 20 adet bozulmuş ve bozulmamış örnek alınmıştır. Örnekler; 1,3-1,50 m derinliğinde açılan araştırma kuyularından TSE 1901 (1975)' e uygun olarak 40-50 kg arasında bozulmuş, permeabilite moltuyla da bozulmamış olarak alınmıştır. Örneklerin alındıkları yerler şekil 3.8.'de görülmektedir.

3.2.1. İndeks Özelliklerini Tayin Yöntemleri

3.2.1.1. Dane Büyüklüğü Dağılımı

Araştırma alanlarındaki zeminler iri ve ince daneleri birlikte içerdikleri için, dane büyüklüğü analizleri elek ve hidrometrik analiz olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Elek analizi ASTM D-422 (1966)'ye göre, hidrometrik analiz ASTM-152H (1966)'ye göre yapılmıştır. Elde edilen elek ve hidrometrik analiz sonuçları birleştirilerek dane büyüklüğü dağılımı eğrileri çizilmiştir.

3.2.1.2. Özgül Ağırlık

Piknometre yöntemi uygulanarak yapılmıştır (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

3.2.1.3. Doğal ve Kuru Birim Hacim Ağırlık

Permeabilete moltu ile alınan bozulmamış örnekler kullanılarak bulunmuştur (U.S.Salinity Lab. Staff, 1954).

3.2.1.4. Porozite

Geçirimsiz dolgu materyallerinde özgül ağırlık ve proctor deneyi ile bulunan maksimum kuru birim ağırlık, rezervuar alanı materyallerinde özgül ağırlık ve kuru birim hacim değerlerinden yararlanılarak aşağıdaki formülden hesaplanmıştır (Richards, 1954; Lambe and Whitman, 1966).

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{\gamma_s - \gamma_k}{\gamma_s} 100 \quad (3.1)$$

3.2.1.5. Boşluk Oranı

Geçirimsiz dolgu materyellerinde özgül ağırlık ve proctor deneyi ile bulunan maksimum kuru birim ağırlık, rezervuar alanı materyallerinde özgül ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinden yararlanılarak aşağıdaki formülden hesaplanmıştır (Richards, 1954; Lambe and Whitman,

$$\text{Boşluk oranı (\%)} = \frac{\gamma_s - \gamma_k}{\gamma_k} 100 \quad (3.2)$$

3.2.1.6. Doğal Su İçeriği

Richards (1954) göre, doğal ve kuru ağırlık değerlerinden yararlanılarak bulunmuştur.

3.2.1.7. Doygunluk Yüzdesi

Geçirimsiz dolgu materyallerinde; özgül ağırlık, boşluk oranı ve optimum su içeriği değerlerinden rezervuar alanı materyallerinde; özgül ağırlık, boşluk oranı ve doğal su içeriği değerlerinden aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (Richards 1954; Lambe and Whitman, 1969).

$$\text{Doygunluk Yüzdesi} = \frac{\gamma_s \cdot W}{e} \cdot 100 \quad (3.3)$$

3.2.1.8 Kıvam Limitleri

Kıvam limitleri (likit limit, plastik limit, büzülme limiti) 40 nolu eleğin altın geçen yeterli miktarlardaki hava kurusu örnekler kullanılarak, ASTM D-423, D-424, D-427, D-429 (1966) standartlarına ve Sowers (1965)'a göre laboratuvarında bulunmuştur. Plastisite indeksi (Pi) ise, elde edilen değerler kullanılarak aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$PI = LL - PL \quad (3.4)$$

3.2.1.9 Sıvılık (Likitlik) İndeksi

Doğal su içeriği ve Atterberg limitleri değerleri kullanılarak aşağıdaki formülle bulunmuştur (Vickers, 1984).

$$\text{Sıvılık İndeksi (I}_L) = \frac{W_n - PL}{PI} \quad (3.5)$$

3.2.1.10 Kıvam İndisi (Relatif Konsitans)

Doğal su içeriği ve Atterberg limitleri değerleri kullanılarak aşağıdaki formülle bulunmuştur (Vickers, 1984).

$$\text{Kıvam İndeksi } (I_c) = \frac{LL - W_n}{PI} \quad (3.6)$$

3.2.2. Materyellerin Sınıflandırılması

Birleştirilmiş zeminin sınıflanması, dane büyüklüğü dağılımı ve Atterberg limitleri değerlerinden Wagner (1957) göre yapılmıştır. Toprak bünye sınıflaması, dane dağılımı değerlerinden hesaplanarak (Soil Survey Manual) göre yapılmıştır.

3.2.3. Minerolojik Bileşimleri ve Zemin Yapısını Belirleme Yöntemleri

3.2.3.1. X-Işını Difraksiyonu

X- ışını difraktogramlarının çekimi havada kurutulup, öğütülen 200 nolu elekten (0,074 mm)geçen örnekler kullanılarak Jeol PW 1370/00 difraktometresinde, normal difraktomlar 6°-47° arasında, diğer iki difraktomlar etilen glikolle (2 saat 60° sıcaklıkta etüvde etilen glikol buharı ile doyurulmuş) muamele edilerek 4°-16° arasında yapılan çekimlerle elde edilmiştir (Whiting, 1965).

3.2.3.2 Elektron Mikroskop Yöntemi (SEM)

Hazırlanan örneklerin üzeri 250-300 Angstrom altın buharı ile kaplandıktan sonra Jeol JSM - 6400 tarama elektron mikroskopunda fotoğraf çekilmesiyle gerçekleştirilmiştir (Hayat, 1974).

3.2.3.3 Kimyasal Element Tayini

Jeol JSM-6400 tarama elektron mikroskop yardımıyla EDAX aletinde yapılmıştır.

3.2.4. Mühendislik Özellikleri Belirleme Yöntemleri

3.2.4.1. Kompaksiyon

Alınan zemin örnekleri havada kurutulup, 4 nolu elekten elendikten sonra, standart proctor silindir deneyi ile ASTM D-698, (1966)'e göre maksimum kuru birim ağırlıkları, optimum su içerikleri elde edilmiştir.

3.2.4.2. Permeabilite

Geçirimsiz dolgu için alınan bozulmuş örnekler, 4 nolu elekten elenip, optimum su içeriğinde maksimum kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırıldıktan sonra düşen seviyeli permeametre ile (Lambe and Whitman, 1969), rezervuar alanından özel permeabilite moluyla alınan bozulmamış örnekler sabit seviyeli permeametre ile bulunmuştur (Tüzüner, 1990).

3.2.4.3. Kayma Dayanımı

4 nolu elekten elenmiş, optimum su içeriğinde, maksimum kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırılan örnekler kullanılarak, konsolidasyonsuz-drenajsız üç eksenli çabuk kesme deneyi uygulanarak C ve ϕ değerleri belirlenmiştir (Bishop and Henkel, 1962; TS, 1900).

3.2.4.4. Konsolidasyon

4 nolu elekten elenmiş, optimum su içeriğinde, maksimum kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırılan örnekler kullanılarak konsolidasyon TS, (1900)'e göre yapılmıştır. Elde edilen değerlerden basınç-boşluk oranı ve log zaman-deformasyon eğrileri çizilmiştir (Peck, Hansen and Thornburn 1974).

3.2.5. Şişme ve Dispersiyon Özelliklerinin Belirlenmesi

3.2.5.1. Şişme Potansiyeli

Şişme potansiyeli nicel ve nitel olarak belirlenmiştir. Nicel belirleme, materyellerin şişme yüzdesinin direkt olarak ölçülmesiyle elde edilen değerlerden Seed et al., (1962); Chen (1988); Wayne et al., (1984)'a göre tayin edilmiştir. Şişme potansiyelinin nitel belirlenmesi ise, indis özelliklerinden, aktiviteden, minerolojik analizlerden yararlanılarak; Seed et al., (1962) ; Chen, (1975); (1988), Holtz and Gibbs, (1956); Peck et al., (1974)'a göre yapılmıştır.

3.2.5.1.1. Şişme Yüzdesi

Örnekler, optimum su içeriğinde max. kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırıldıktan sonra, klasik tek eksenli konsolidasyon aletine konulup, $0,07 \text{ kg/cm}^2$ (1.psi) basınç altında saf suya boğularak 48 saat veya şişmesi tamamlanincaya kadar beklenildikten sonra aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır (USBR 5705,1989).

$$\text{Şişme Yüzdesi} = \frac{R_2 - R_1}{2H} 100 \quad (3.7)$$

R_1 =ilk gösterge okuması

R_2 =24 saat sonraki gösterge okuması

$2H$ = Deney başlangıcındaki numune boyu

3.2.5.1.2. Aktivite

Plastisite indisi kullanılarak Skempton (1953)'a göre aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\text{Aktivite} = \frac{PI}{\% < 0,002\text{mm}} \quad (3.8)$$

3.2.5.2. Dispersif Özellikler

Çifte hidrometre, iğne deliği, dağılıma ve kimyasal deney sonuçları değerlendirilerek materyallerin dispersif özellikleri belirlenmiştir.

3.2.5.2.1. Çifte Hidrometre Deneyi

200 nolu elekten elenen ve havada kurutulan örnekler kullanılmıştır. Hidrometre deneyi, örneklerde önce dispersiyon verici madde (Sodyum hexametafosfat) kullanılarak, sonra dispersiyon verici madde kullanılmayarak yapıp dane dağılım değerleri çizilmiştir (ASTM-D 4221, USBR-5405). Dane dağılım eğrisi değerleri yardımıyla aşağıdaki bağıntıdan dispersiyon yüzdesi bulunmuştur.

$$\text{Dispersiyon \%} = \frac{A}{B} 100 \quad (3.9)$$

A= Mekanik çalkalama ve dispersiyon verici madde kullanılmadan, 0,005 mm.'den

küçük danelerin yüzdesi.

B= Mekanik çalkalama ve dispersiyon verici madde kullanarak, 0,005 mm'den

küçük danelerin yüzdesi

3.2.5.2.2. İğne Deliği (Pinhole) Deneyi

Optimum su içeriğinde maksimum kuru birim ağırlığa kadar sıkıştırılıp 38 mm uzunluğunda olan ve ortasına 1,0 mm'lik delik açılarak hazırlanan silindirik numuneler kullanılarak (ASTM-D 4647, USBR 5410, Acciardi (1982), Düzceer, (1984)'e göre yapılmıştır.

3.2.5.2.3. Dağılıma Deneyi

Doğal su içeriğinde, 15x15x15 cm ebatında, küp şeklinde hazırlanan örnekler üzerinde (USBR 5400) göre yapılmıştır.

3.2.5.2.4. Kimyasal Deneyler

3.2.5.2.4.1. Katyon Değişim Kapasitesi (CEC).

2 mm'lik elekten elenmiş hava kurusu topraklarda sodyum asetat metodu ile alev fotometresinde saptanmıştır (Richards, 1954).

3.2.5.2.4.2. Değişebilir Katyonlar

2 mm'lik elekten elenmiş hava kurusu topraklarda amonyum asetatla ekstre edilerek alev fotometresinde elde edilmiştir (Richards, 1954).

3.2.5.2.4.3. Değişebilir Sodyum Yüzdesi (ESP).

Elde edilen katyon değişim kapasitesi (CEC) ve değişebilir katyon değerlerinden sodyum kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur.

$$ESP = \frac{\text{Değişebilir sodyum}}{\text{Katyon değişim kapasitesi}} \quad (3.10)$$

3.2.5.2.4.4. Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

2 mm'lik elekten elenmiş hava kurusu topraklarda saturasyon çamurundan elde edilen ekstrakta, Na ve K flamefotometrik olarak, Ca+Mg EDTA(versanat) metodu ile bulunan değerlerden Richards (1954)'e göre, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

$$SAR = \frac{Na}{0,5(Ca + Mg)} \quad \text{Meq/L} \quad (3.11)$$

3.2.5.2.4.5 Sodyum Yüzdesi

SAR için bulunan Na, K, Ca+Mg değerleri kullanılarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır. (Richards, 1954).

$$\text{Sodyum Yüzdesi} = \frac{\text{Na}}{\text{Toplam çözünmüş tuz (TDS)}} 100 \quad (3.12)$$

3.2.6. Kimyasal Özellikleri Belirleme Yöntemleri

3.2.6.1. Organik Madde

Jackson (1962) tarafından bildirildiği gibi modifiye edilmiş, Walkley-Black yöntemine göre yapılmıştır.

3.2.6.2. Serbest Karbonat (CaCO_3)

Sheibler kalsimetresi kullanılarak belirlenmiştir (Çağlar, 1958).

3.2.6.3. Toprak Reaksiyonu (pH)

Örnek saf su ile 1:2,5 oranında sulandırılmış olup, süspansiyon cam bagetle ara sıra karıştırılarak 30 dakika bekletildikten sonra cam elektrotlu pH metre ile bulunmuştur (Richards, 1954).

3.2.6.4. Çözünen Tuz

Richards (1954)'a göre yapılmıştır.

3.2.6.5. Elektriksel Geçirgenlik

Toprak örneği 1:25 oranında sulandırılarak conductivitymeter ile tayin edilmiştir (Richards, 1954).

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4. 1. Baraj Gövdesi Kil Çekirdek Dolgusu

Araştırma alanından alınan 10 adet örselenmiş örnekler üzerinde yapılan; fiziksel, minerolojik, kimyasal, mühendislik analiz ve deney sonuçları Çizelge 4.1 'de verilmiştir.

4.1.1. Materyallerin Sınıflandırma Özellikleri

Elek ve hidrometrik analiz sonuçlarına göre çizilen dane büyüklüğü dağılım eğrilerinden iki örneğin (A_2 , B_5) % 50'den fazlası 200 nolu elekten geçtiği için ince daneli zemin, diğerlerinin iri daneli zemin sınıfına girdiği belirlenmiştir (Wagner, 1957). Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de örneklerin dane büyüklüğü dağılım eğrileri görülmektedir. Örneklerin kil yüzdesi 5-18 arasında değiştiğinden, geçirimsiz materyal sahaları az ve orta kohezyonlu zemin sınıfına girmektedir (MIT). Materyaller ortalama olarak % 23 çakıl, % 45 kum, % 20 Silt ve %12 kil içermektedirler. (Çizelge 4.1)

Justin tarafından verilen ideal çekirdek malzemelerinin granülometri eğrisi (Ek 6) ile materyallerin granülometri eğrileri (Şekil 4.1., Şekil 4.2) karşılaştırıldığında; materyallerin ortalama % 55'ini orta-iri kum ile çakılın işgal ettiği, 0,01mm'den daha ince materyal oranının biraz fazla, 0,1 ve 1,0 mm'den daha ince materyal oranının düşük olduğu, dolayısıyla granülometre eğrilerinin uyum sağladığı görülmektedir. Aynı zamanda materyallerin granülometri ortalamasının, iyi sonuç veren 16 barajın ortalamasıyla (Ek 6) büyük oranda benzerlik gösterdiği, yaklaşık %10 daha ince malzeme içerdiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla materyallerin granülometrisinin ideal olmamasına rağmen uygun olduğu gözükmemektedir.

Aynı alanda Devlet Su İşlerinin 2,50 - 4,50m derinliğe kadar aldığı örnekler üzerinde yaptığı elek ve hidrometrik analiz değerlerine göre; elde ettiği dane büyüklüğü dağılım eğrilerinin, yapılan araştırma sonucu elde edilen dane büyüklüğü dağılım eğrileriyle büyük oranda benzerlik gösterdiği, derine inildikçe çakıl yüzdesinin azaldığı, silt yüzdesinin arttığı, kum ve kil yüzdelerinde dikkate değer bir değişme olmadığı, materyallerin iri daneli zemin sınıfında olduğu görülmektedir.

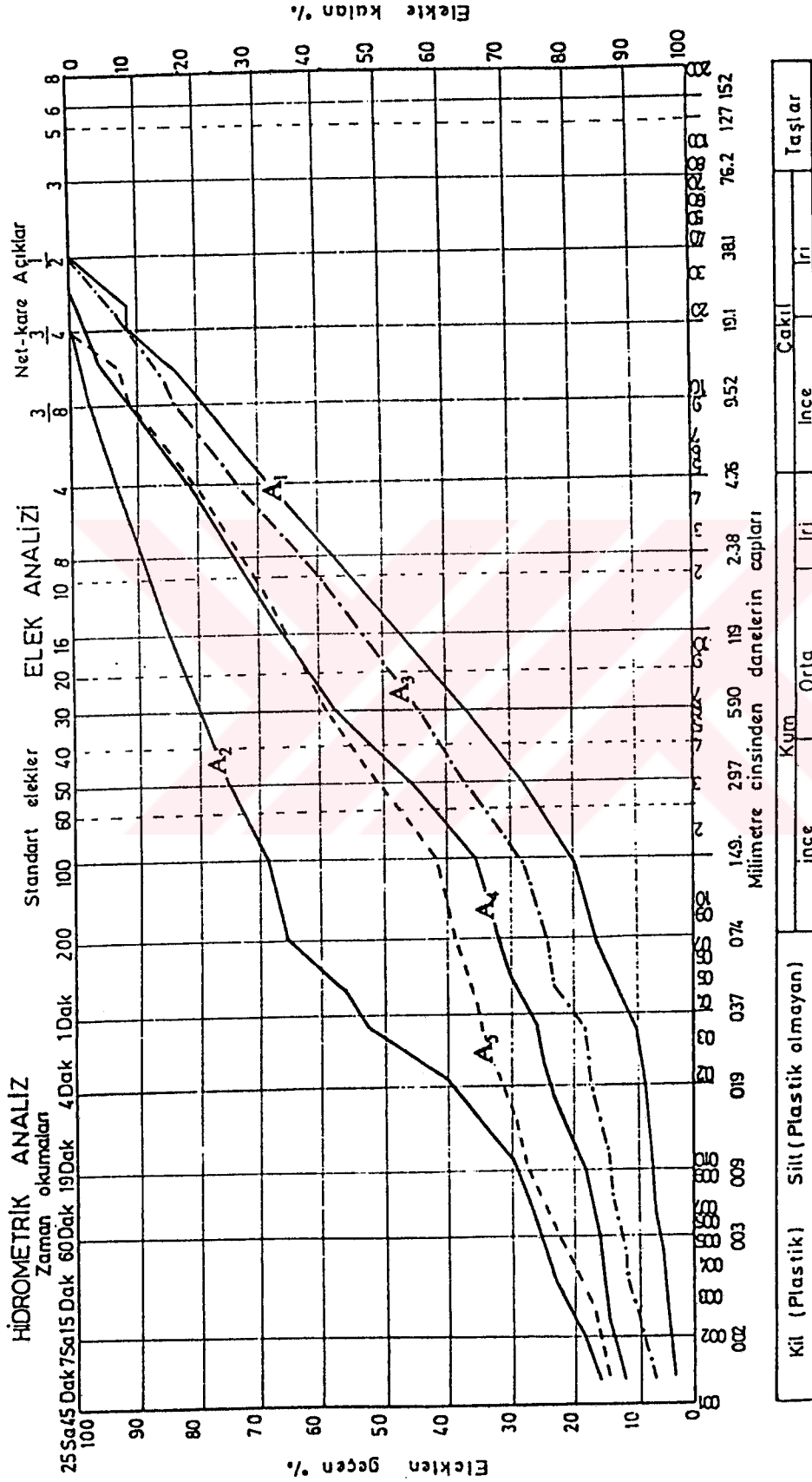
Örneklerin; likit limit değerleri 31-45 arasında, plastik limit değerleri 18-24 arasında, plastisite indisi değerleri 13-21 arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.1) Bulunan değerler önceki çalışma (DSİ, 1991) değerlerinin bir miktar altındadır. Plastisite kartındaki dağılıma bakıldığında, materyallerin A hattının üzerinde, A hattına paralel dağılım gösterdikleri görülür ki, bu da söz konusu materyallerin PI / PL oranlarının birbirine çok yakın olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.1. Kıl Çekirdek-Kapama Seddesi Materyallerinin Fiziksel, Mineralojik, Kimyasal ve Mühendislik Özellikleri

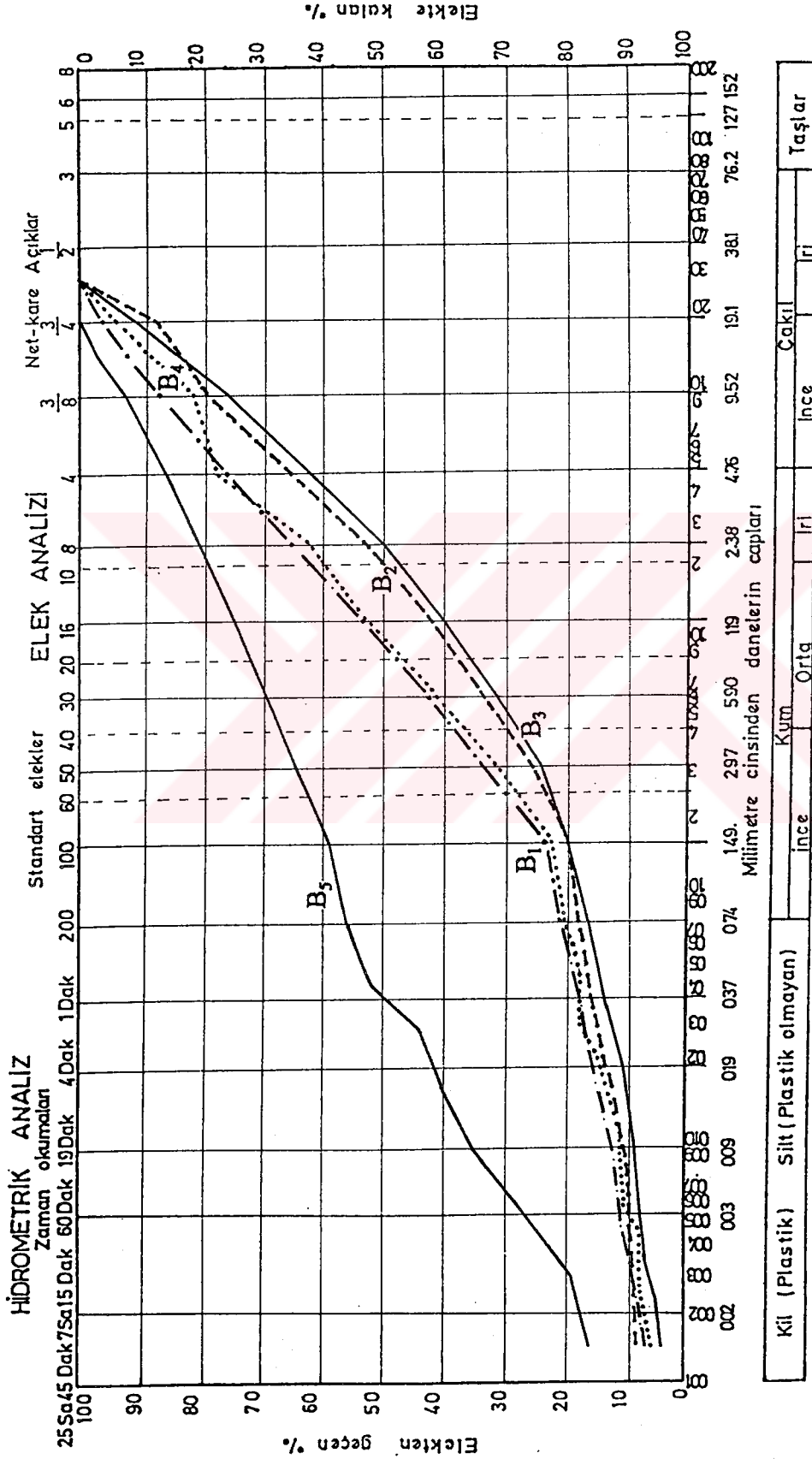
Örnek No	Detaylık (E)	SINIFLANDIRMA											İc	İL	Birtleştirilmiş zemin sınıflandırılması	Tekstür	Kil mineraleri	Organik madde	Kireç	Toplam çözünmüş tuz	Elektriksel iletkenlik	PH	KDK	Değişebilir kanyonlar		
		DANE BÜYÜKLÜĞÜ				ATTERBERG LİMLERİ				Na	K	Ca+Mg														
		ÇAKIL	KUM	SILT	KİL	LL	PL	PI	BL																	
-	m	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	meq/100 gr	
A ₁	0,35-1,40	30	54	11	5	31	18	13	14,6	0,23	SC	SL	M-K KL	0,60	5,6	0,048	2700	7,59	12,65	0,167	0,038	12,445	0,038	12,445	0,038	
A ₂	0,30-1,40	7	28	47	18	45	24	21	15,1	0,009	CL	L	M-K KL	0,66	6,3	0,090	2080	7,56	18,44	0,1875	0,022	18,228	0,022	18,228	0,022	
A ₃	0,35-1,45	26	49	16	9	35	19	16	13,2	0,19	SC	SL	M-K KL	0,52	5,6	0,042	1940	7,63	14,75	0,155	0,028	14,567	0,028	14,567	0,028	
A ₄	0,30-1,50	17	51	18	14	35	21	14	12,3	0,01	SC	SCL	M-K KL	0,88	3,7	0,050	2520	7,48	17,44	0,176	0,051	17,213	0,051	17,213	0,051	
A ₅	0,30-1,40	18	43	23	16	36	19	17	14,7	-0,04	SC	SCL	M-K KL	1,14	6,7	0,042	1830	7,57	17,79	0,225	0,049	17,516	0,049	17,516	0,049	
B ₁	0,35-1,40	25	53	14	8	35	19	16	21,1	0,17	SC	SL	M-K KL	0,56	5,8	0,068	2270	7,63	19,38	0,3750	0,047	18,953	0,047	18,953	0,047	
B ₂	0,30-1,50	35	47	9	9	35	20	15	13,2	-0,16	SC	SL	M-K KL	0,48	5,2	0,052	2460	7,92	17,50	0,2175	0,190	17,093	0,190	17,093	0,190	
B ₃	0,20-1,40	36	47	11	6	34	20	14	17,9	-0,05	SC	SL	M-K KL	1,00	4,8	0,047	1610	7,80	18,31	0,1550	0,047	18,111	0,047	18,111	0,047	
B ₄	0,20-1,45	22	56	14	8	32	19	13	11,3	-0,1	SC	SL	M-K KL	0,64	6,2	0,046	1943	7,85	18,93	0,0377	0,041	18,847	0,041	18,847	0,041	
B ₅	0,30-1,45	14	30	38	17	43	24	19	18,4	-0,03	CL	L	M-K KL	1,08	6,3	0,058	2980	7,73	29,32	0,2200	0,192	28,908	0,192	28,908	0,192	

Çizelge 4.1. Devamı

Örnek no	Derinlik (H) m	Özgül ağırlık (γs) t/m ³	KOMPAKSİYON		Doğal su içeriği (W) %	Porozite (n min) %	Boşluk oranı (e min) %	Doğruluk yüzdesi (S) %	Permeabilite (k) cm/sn	ÜÇ EKSENLİ KESME		Sıkışma indisi (Cc) %	Aktivite %	Şişme %	Şişme derecesi	Çite hidrometre	İğne deliği	Dağılıma	ESP meq/ 100 gr	SAR meq/L	Sodyum yüzdesi %	TDS meq/L
			γ _{max}	W _{opt}						C	Ø											
A ₁	0,35- 1,40	2,86	2,005	13,1	21,0	30	43	87,2	1,620 10 ⁻⁷	0,90	25	8,6	2,60	2,79	Düşük	87	ND ₁	DD	0,013	0,013	7,80	6,00
A ₂	0,30- 1,40	2,79	1,646	15,6	24,2	41	70	62,2	1,06 10 ⁻⁷	1,80	15,5	25,5	1,16	11,35	Orta	65	ND ₁	DD	0,010	0,139	6,46	4,178
A ₃	0,35 1,45	2,83	1,848	15,0	22,1	35	53	80,1	1,12 10 ⁻⁷	1,10	23	19,1	1,77	3,21	Düşük	29	-	DD	0,011	0,166	7,62	5,114
A ₄	0,30 1,50	2,77	1,755	16,5	21,2	37	58	76,4	5,43 10 ⁻⁸	1,20	19	20,2	1,00	9,16	Düşük Orta	22	ND ₁	DD	0,010	-	-	-
A ₅	0,30 1,40	2,82	1,880	16,2	18,3	33	50	91,4	4,714 10 ⁻⁸	1,60	20	21,7	1,06	9,78	Düşük Orta	44	ND ₂	DD	0,013	0,076	3,64	7,417
B ₁	0,35 1,40	2,81	1,901	15,9	21,7	32	48	93,1	1,854 10 ⁻⁷	1,35	20	17,9	2,00	3,65	Düşük	33	-	DD	0,019	0,722	26,39	8,563
B ₂	0,30- 1,50	2,77	1,878	15,3	17,6	32	47	90,2	0,951 10 ⁻⁷	1,30	18	18,2	1,66	2,92	Düşük	32	ND ₁	DD	0,008	0,102	4,81	6,657
B ₃	0,20- 1,40	2,77	1,782	18,4	19,2	36	55	92,7	0,845 10 ⁻⁷	1,25	21	16,1	2,33	1,5	Düşük	25	ND ₁	-	0,008	0,184	8,30	9,640
B ₄	0,20- 1,45	2,80	1,880	13,8	17,7	33	49	78,9	2,342 10 ⁻⁷	1,40	19	23,0	1,63	2,10	Düşük	35	ND ₄	DD	0,002	0,113	5,26	7,410
B ₅	0,30- 1,45	2,75	1,630	22,8	23,4	41	69	90,7	0,936 10 ⁻⁷	1,80	13,5	24,3	1,12	10,4	Orta	58	ND ₄	DD	0,008	0,583	22,38	5,317



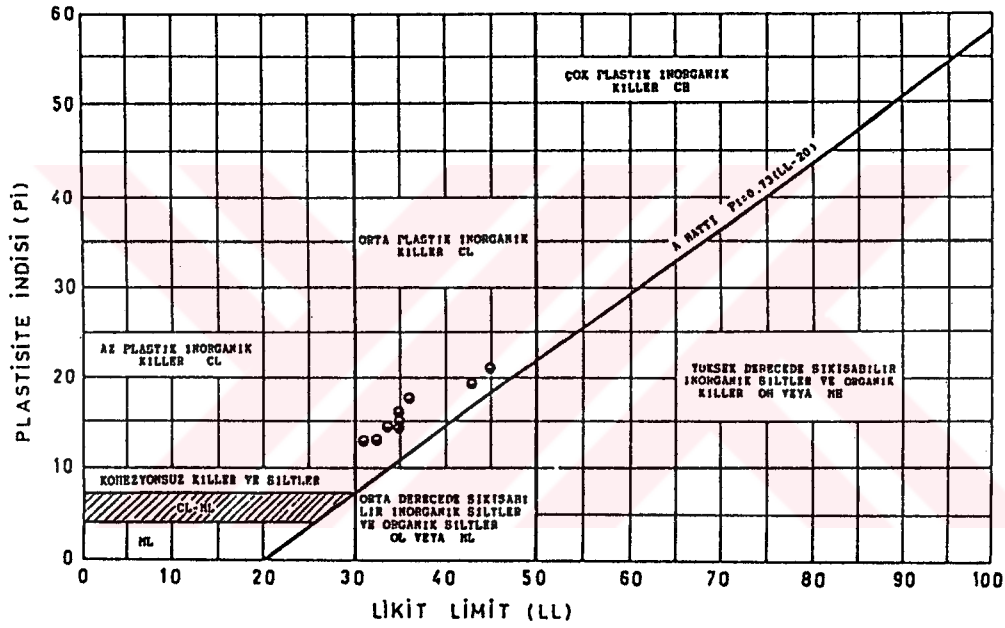
Şekil 4.1. A Sahası materyallerinin dane büyüklüğü dağılım eğrileri



Şekil 4.2. B.Sahası materyallerinin dane büyüklüğü dağılım eğrileri

Önceki çalışmaya (DSİ, 1991) bakılarak derinlere inildikçe likit limit ve plastik limit değerlerinin bir miktar arttığı söylenebilir. Çizelge 4.1'e bakıldığında örneklerdeki kil oranının artması ile likit limit değerlerinde büyük oranda, plastik limit değerlerinde küçük oranda, dolayısı ile plastisite indisinde de küçük oranda artışlar olduğu görülmektedir (Sowers, 1965; Terzaghi and Peck 1967). İri dane miktarı arttıkça kıvam limitleri düşmektedir (Keskin, 1991). Materyallerin plastisite indisi değerlerinden ortaya yakın ve orta plastik özellik taşıdığı belirlenmiştir (Sowers, 1979). Materyallerin plastisite kartındaki dağılımları Şekil 4.3'de görülmektedir.

Genellikle %15'den düşük değerlerde kil kapsamı gösteren zeminler plastik özellik göstermemektedir (Sowes, 1965; Terzaghi and Peck, 1967).



Şekil 4.3. A ve B sahası materyallerinin plastisite kartı üzerindeki dağılımları

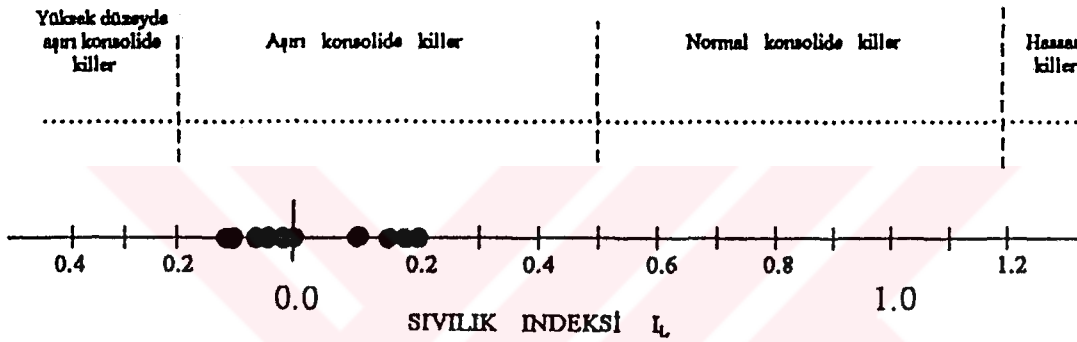
Oysa ki materyallerin çoğunun kil kapsamının %15'den aşağı olmasına rağmen orta plastik bir özellik göstermektedirler. Kil kapsamının %15'den az olmasına rağmen bir çok örneğin orta plastik bir özellik göstermesinin nedeni; yapılan mineralojik analizler sonucu belirlenen hakim kil mineralinin montmorillonit olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Grim, 1949 ; Sect et al., 1962; Terzaghi and Peck, 1967 ; Gillot, 1958; Mitchell, 1976). Çünkü; likit limite plastik limit arasındaki en büyük rutubet içeriği (plastiklik indeksi) montmorillonitte (LL 100-900, PL 50-100) bulunur (Holeman, 1965; Mitchell, 1976).

Örneklerden A₂ ve B₅'in likit limit değerleri ideal değerlerin⁽⁴⁾ içerisinde, diğerleri biraz altındadır. A₂ ve B₅'in plastik limit değerleri ideal değerlerden⁽⁴⁾ biraz yüksek, diğerleri ideal değerler

(4) likit limit ideal değerleri 40-50, plastik limit ideal değerleri 14-20 arasındadır.

içerisindedir (Ertan ve Ülkü, 1978). DSI'nin elde ettiği likit limit ve plastik limit değerlerinin büyük çoğunluğu ideal değerler içerisinde, bir kısmı da ideal değerlere yakındır.

Büzülme limiti değerleri % 11,3-18,4 arasında değişmektedir. (Çizelge 4.1) Kıvam indisi (Relatif konsidas) değerleri % 0,77 - 1,16 (Çizelge 4.1) arasında olup, zemin katı durum ile katı ve plastik limit sınırlarındadır (Özaydın, 1989; Uzuner, 1992). Sıvılık indeksi değerlerinden (Şekil 4.4)'de zeminin katı ile katı ve plastik sınırında olduğu görülmektedir (Uzuner, 1989). Sıvılık indeksi abağından (Şekil 4.4) materyallerin aşırı konsolide killere grubunda olduğu belirlenmiştir (Rominger and Rutledge, 1952; Means and Parcher, 1963). Sıvılık indeksi kartı Şekil 4.4'de görülmektedir.

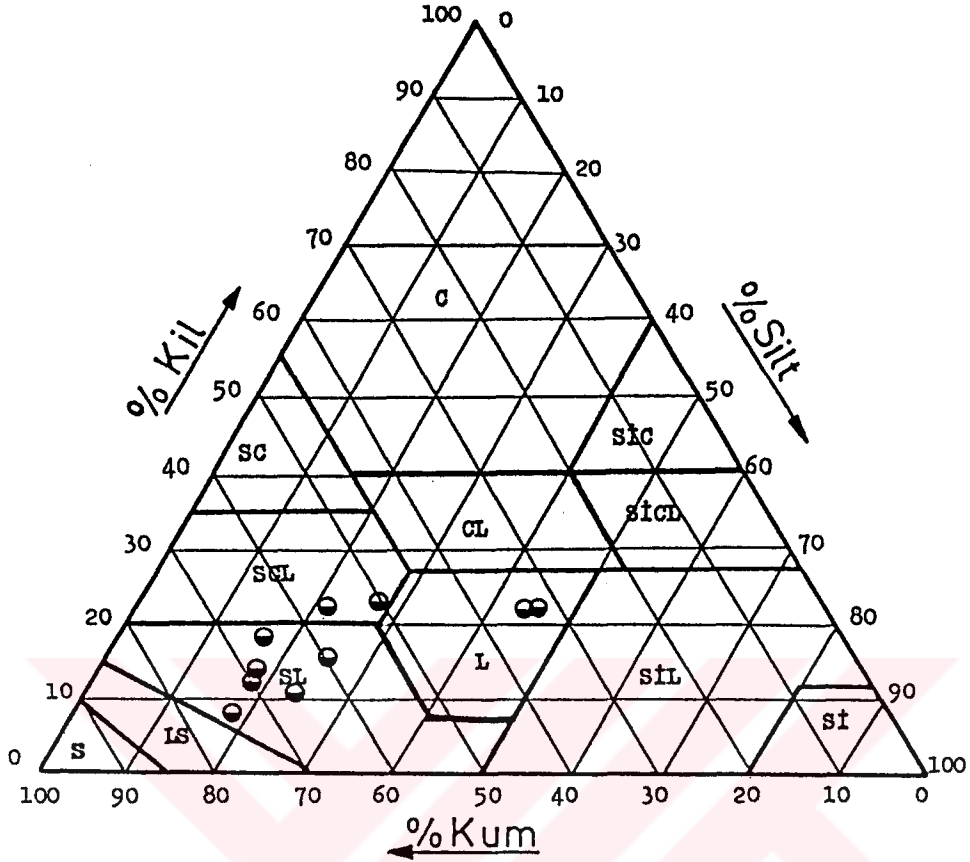


Şekil 4.4. A ve B materyallerinin sıvılık indeksi kartı üzerindeki dağılımları (Rominger and Rutledge, 1952; Means and Parcher, 1963).

Doğal su içeriği ile plastik limit değerlerinin birbirlerine yakın çıkması (Çizelge 4.1) materyallerin doğal halde konsolidasyonunu tamamladığını göstermektedir (Tuğlu ve Balkır, 1975).

Sıvılık indeksi $I_L=0$ düzeyinde olduğu için, zeminler kazı esnasında, kazılan boşluğa doğru etkin bir şekilde deforme olma özelliği gösterebilir (Bell, 1993).

Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre, örneklerin zemin sınıfları; SC, CL ve SC-CL olarak bulunmuştur. (Çizelge 4.1) Elde edilen zemin sınıfları, DSI'nin bulunduğu zemin sınıfları (SC, SC - CH, SC, CL) ile uyumludur (DSİ, 1991). Materyaller, orta plastik killi kum ve inorganik killere oluşmaktadır (Wagner, 1957). Zemin sınıflarından SC'nin işlenebilirlik derecesi iyi, borulanmaya karşı direnci ve deformasyonla çatlamaya karşı hassasiyeti orta, toprak barajların çekirdek dolgusunda kullanma derecesi 2, CL'nin işlenebilirlik derecesi iyi ila orta, borulanmaya karşı direnci ve deformasyonla çatlamaya karşı hassasiyeti yüksek, çekirdekte kullanma değeri 3'dür. (Ek 9, Ek 10, Ek 12, Ek 13, Ek 14).



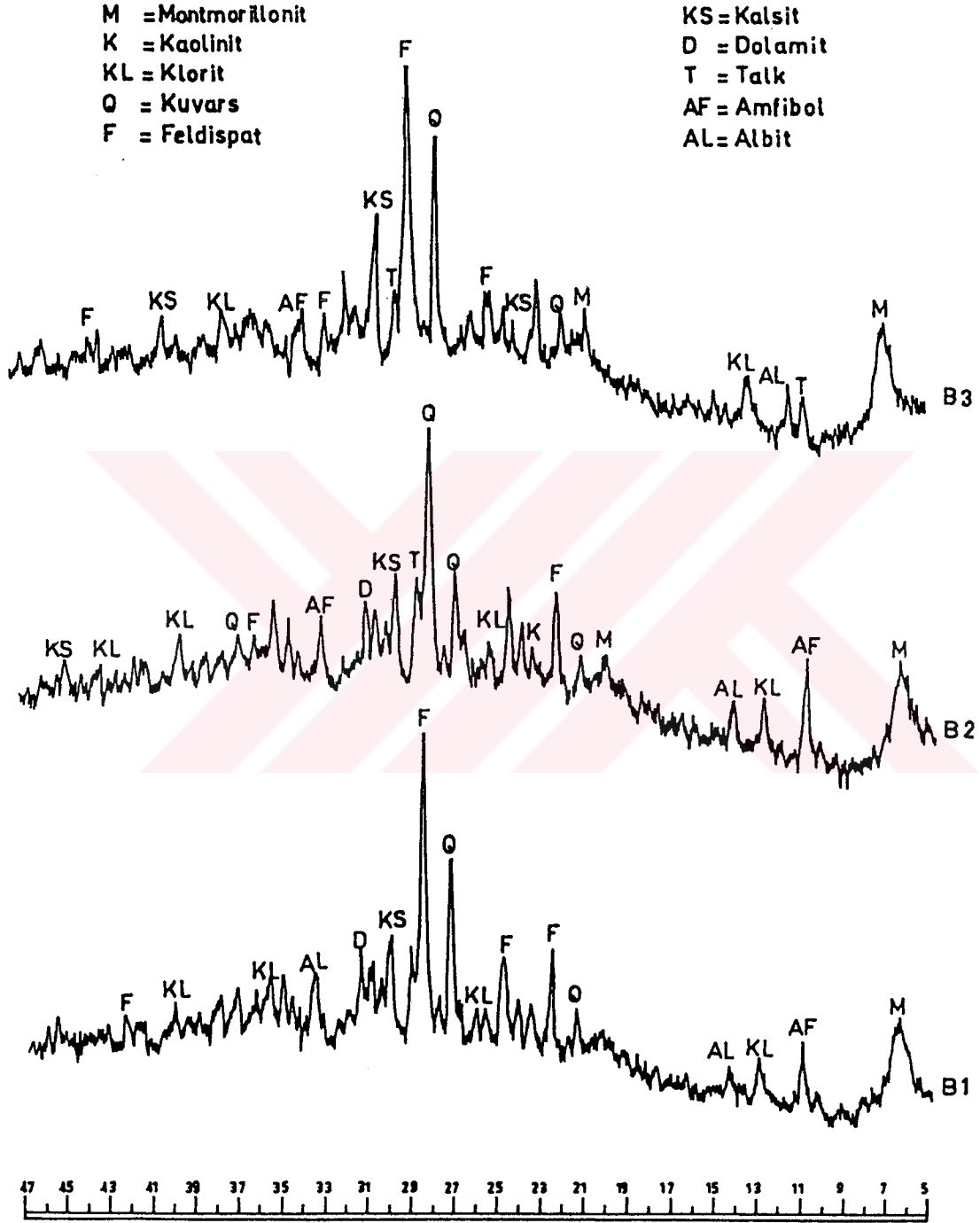
Şekil 4.5. A ve B sahası materyallerinin üçgen sınıflama abağı üzerindeki dağılımları (Soil Survey Manual, USA)

Araştırma alanı zeminlerinin tekstürü; SL, L ve SCL olarak bulunmuştur. (Çizelge 4-1). Materyallerin tekstür üçgenindeki dağılımları Şekil 4.5'de görülmektedir. Tekstür sınıfı ile birleştirilmiş zemin sınıflama sembolleri FAO Soils Bulletin'in verdiği değerlerle uyum sağlamaktadır. (Ek 18)

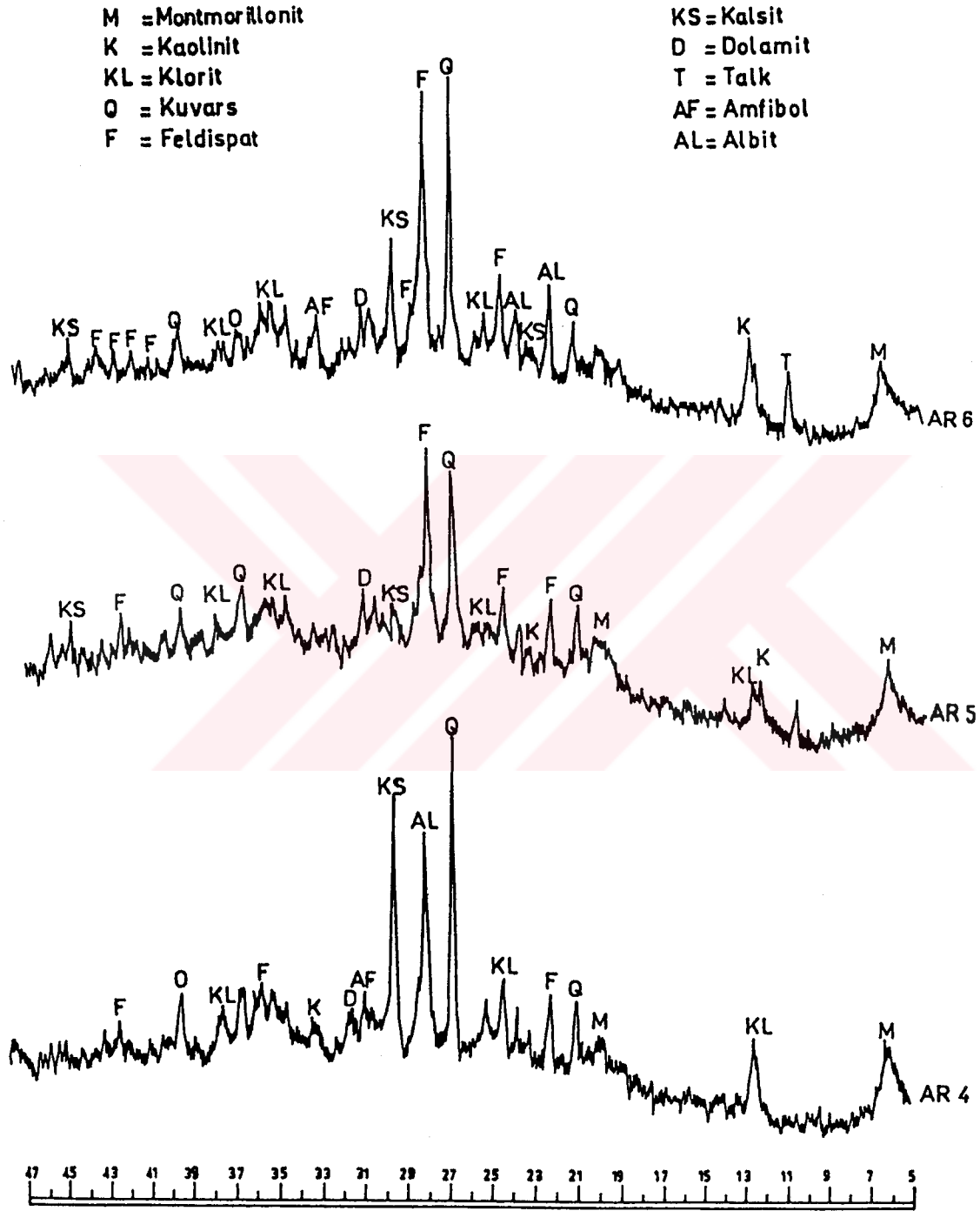
Elde edilen sonuçlara göre materyaller kil çekirdek dolgusunda güvenle kullanılabilir.

4.1.2. Materyallerin Minerolojik özellikleri

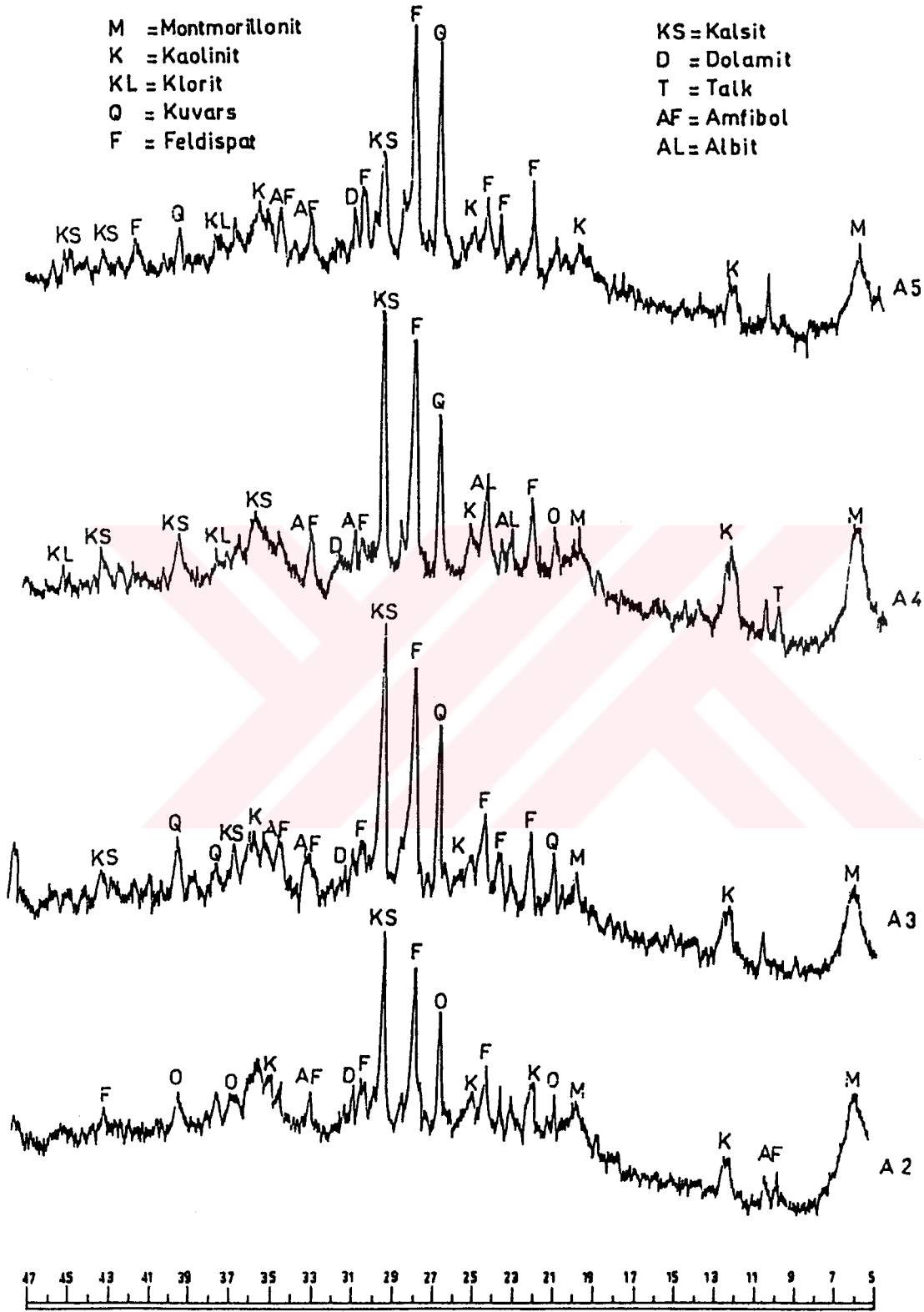
Örnekler üzerinde yapılan x- ışını difraksiyonu analizlerinden, kil olmayan mineral olarak; feldspar, kalsit, kuvars, amfibol, albit, dolomit, ve talk, kil minerali olarak da; montmorillonit, kaolinit ve klorit görülmektedir. (Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9). Tüm örneklerin x- ışını kırınımalarında benzerlik görülmekte olup, kil mineralleri sırasıyla montmorillonit, kaolinit ve klorittir. Bazı örneklerde kaolinitle klorit yer değiştirmektedir.



Şekil 4.6. B₁, B₂ ve B₃ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal)

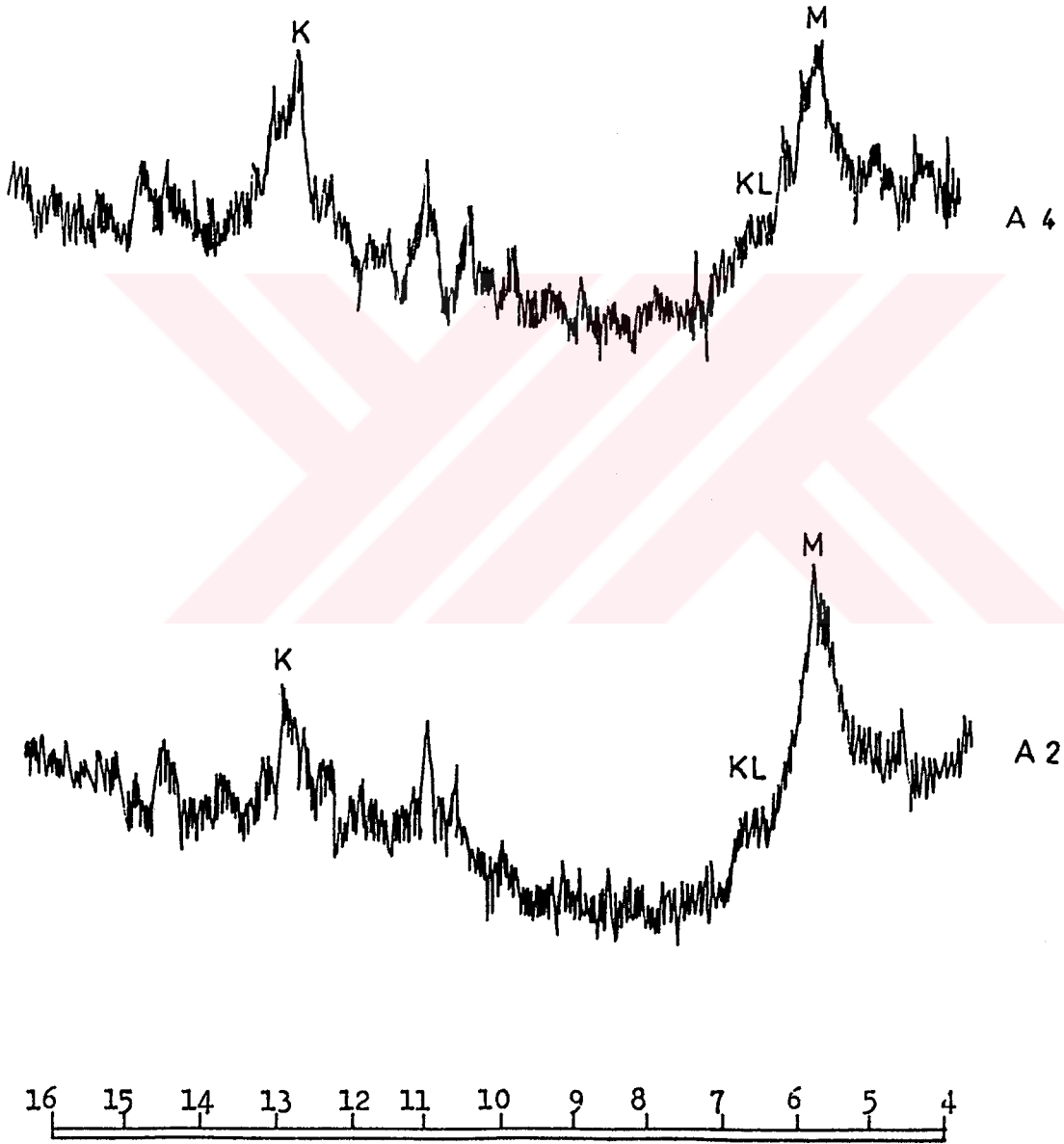


Şekil 4.7. B₄, B₅ ve A₁ nolu örneklerin x-ışını difraktogramları (normal)



Şekil 4.8. A₂, A₃, A₄, ve A₅ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal)

M = Montmorillonit
K = Kaolinit
KL = Klorit



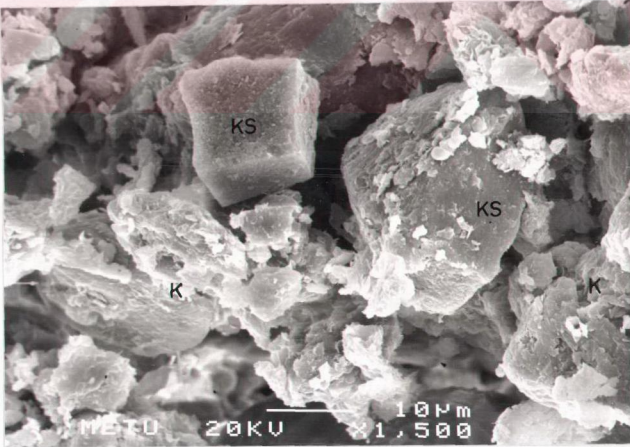
Şekil 4.9. A₂ ve A₄ nolu örneklerin x-ışını difraktogramları (etilen glikollü)

Araştırma alanından alınan örneklerden elde edilen elektron fotomikrografileri Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16'da görülmektedir. Elektron fotomikrografilerinin incelenmesinden; killeşmenin (montmorillonit ağırlıklı kaolinit, klorit)dane boşluklarında, çatlaklarda dolaşan solüsyonların etkisiyle, fiziko-kimyasal etkilerle, element bakımından (Al, Si, Mg vs.) doygunluğa ulaşıldığında, pH koşullarının da değişmesi sonucu gözeneklerde otijenik olarak oluştuğu düşünülmektedir (Pettijohn, 1957; Holeman, 1965).

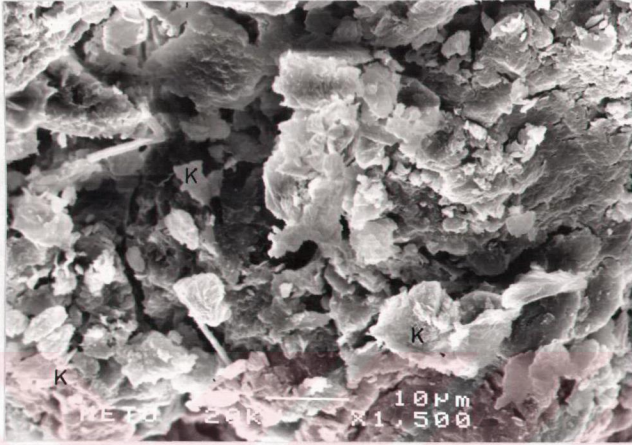
x- Işını kırınımları (Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9) ile belirlenen mineralleri, elektron mikroskobu ile elde edilen fotomikrografiler doğrulamaktadır.

A₃ nolu örnekteki montmorillonit + klorit yapılarından elde edilen EDAX nokta kimyasal analizi sonucu (Şekil 4.17) Si, Al, Mg, Fe, Ca elementleri tespit edilmiştir. Bu değerler killeşmenin montmorillonit, kaolinit ve kloritten oluştuğunu göstermektedir. Şekil 4.17'de EDAX kimyasal analiz grafisi görülmektedir.

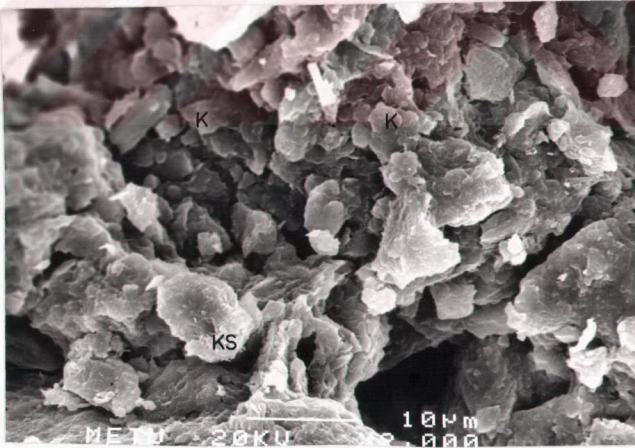
Örneklerin x- ışını kırınımları (Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9), elektron fotomikrografileri (Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16) ile kimyasal elementleri gösteren grafinin (Şekil 4.17) uyumlu olmasından hakim kil minerallerinin montmorillonit, kaolinit ve klorit olduğu kesin olarak saptanmıştır.



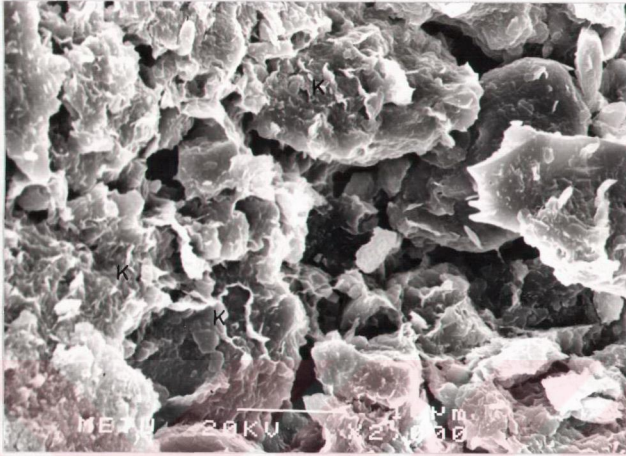
Şekil 4.10 B₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 1500
(K: Killeşme, KS: Kalsit)



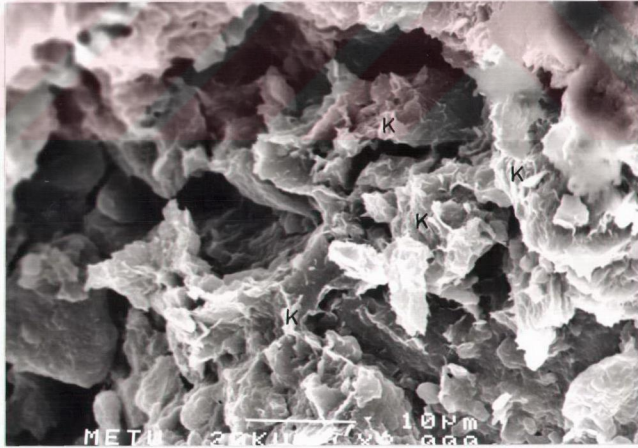
Şekil 4.11 A₅ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 1500
(K: Killeşme)



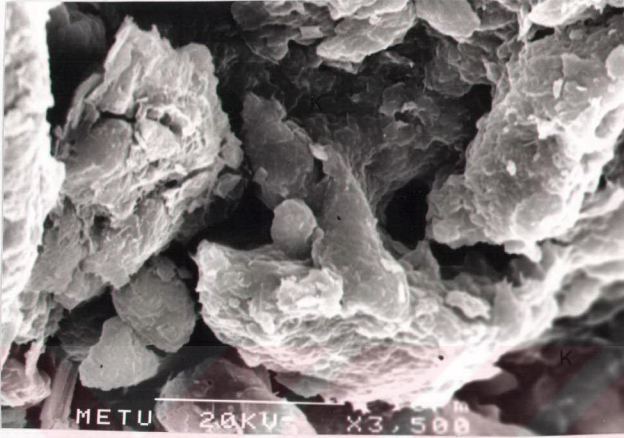
Şekil 4.12 B₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 2000
(K: Killeşme, KS: Kalsit)



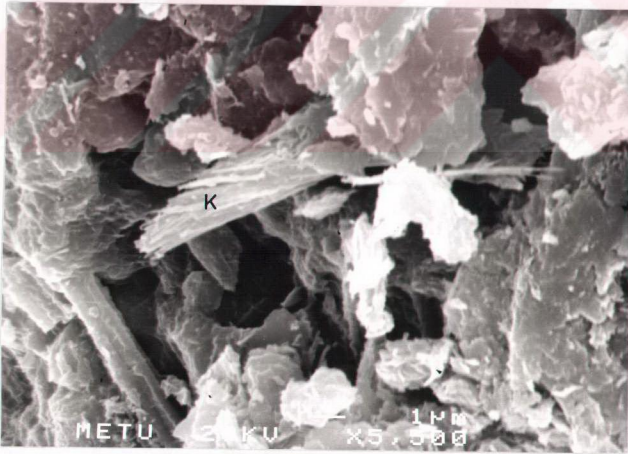
Şekil 4.13 A₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 2000
(K: Killeşme)



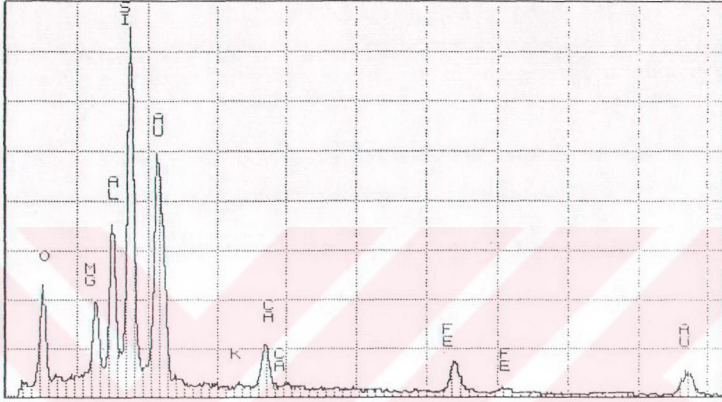
Şekil 4.14 A₁ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 2000
(K: Killeşme)



Şekil 4.15 B₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 3500
(K: Killeşme)



Şekil 4.16 B₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 5500
(K: Killeşme)

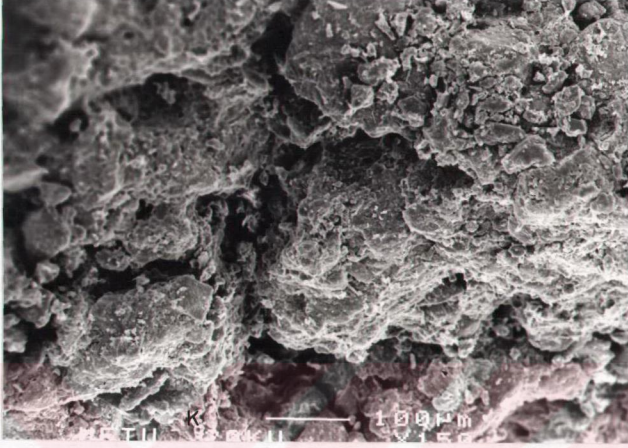


Şekil 4.17 A₃ nolu örneğin EDAX nokta kimyasal analiz grafisi

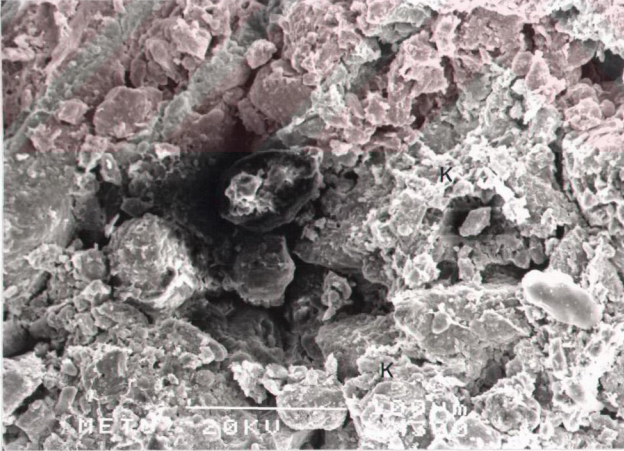
4.1.3. Materyallerin Yapısal Özellikleri

Örneklerden elektron mikroskobu ile elde edilen mikrografiler (Şekil 4.18 ve 4.19) incelendiğinde; materyallerin fisürlü olduğu, fisürlerin sürekli ve birbirleriyle bağlantılı olduğu anlaşılmaktadır. Büyük fisürlerin etrafında ince fisürler de görülmektedir. (Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.18, 4.19) Büyük fisürler (Şekil 4.18, 4.19) dayanım açısından zeminin kütle yapısı içerisinde zayıf bir düzlem belirtisi göstermektedir.

Zemin örneklerinin genel doku yapısını yansıtan Şekil 4.10, 4.11, 4.12, 4.13 ve 4.14'de hakim daneciklerin kil ve siltten meydana geldiği, rasgele bir dağılımın var olduğu gözlenmektedir. Elektronmikroskobu ile çekilen foto mikrografiler Şekil 4.18 ve 4.19'da görülmektedir.



Şekil 4.18 B₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 150
(K: Killeşme)



Şekil 4.19 A₃ nolu örneğin elektron fotomikrografisi, büyütme x 300
(K: Killeşme)

4.1.4. Materyallerin Kimyasal Özellikleri

Materyallerin organik madde yüzdeleri % 0,48- 1,14 arasında değişmektedir. (Çizelge 4.1). Zeminlerin organik madde oranının çok düşük (Bayraklı, 1986) ve Türkiye toprakları ortalaması (kumlu-tınlı topraklarda %1) civarında olduğu görülmektedir (Ergene, 1972). Mühendislik açıdan istenmeyen organik madde oranının çok düşük olması, zemine sağlayacağı olumsuz katkının çok az olacağını göstermektedir.

Serbest kireç oranı % 3,7-6,7 arasında değişmektedir.(Çizelge 4.1) DSI kireç oranını % 4,7-21,4 arasında bulmuştur. Buradan da derinlere inildikçe kireç oranının arttığı anlaşılmaktadır.

Materyallerin çözünmüş tuz değerleri % 0,042-0,09 arasında, elektriksel iletkenlik ise EC_{25}° miktarı 1610-2980 $\mu S/cm$ değerleri arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.1) Araştırma alanı materyallerinin gerek çözünmüş tuz, gerekse elektriksel iletkenlik değerlerinden tuzsuz olduğu anlaşılmaktadır (Tüzüner, 1990).

Araştırma alanı materyallerinin pH değerleri, A materyal sahasında 7,48-7,63 arasında, B materyal sahasında 7,63-7,92 arasında olduğu belirlenmiştir. (Çizelge 4.1). Her iki sahanın reaksiyonu hafif alkali (Tüzüner, 1990) olup, B materyal sahasının reaksiyonu A sahasına göre biraz daha alkalidir.

Araştırma alanı örneklerinin katyon değişim kapasitesi A materyal sahasında 12,65-18,44 meq/100gr arasında, B materyal sahasında 18,93-29,32 meq/100gr. arasında değişmekte olduğu görülmektedir. (Çizelge, 4.1) B sahasından alınan örneklerin katyon değişim kapasitesi, A sahasından alınan örneklerin katyon değişim kapasitesinden biraz yüksektir. Örneklerin kil oranı artışına bağlı olarak katyon değişim kapasitesinin de arttığı görülmektedir (Akalin ve Ünal, 1967; Banin and Amliel, 1970; Kalla, 1971). Katyon değişim kapasitesinin belirtilen değerlerde bulunmasına etki eden faktörlerden biri de hakim kil mineralinin montmorillonit (80-150 meq/100gr) (Grim, 1962) olmasıdır (Chen, 1988).

Materyallerin değişebilir katyonlarından sodyum 0,0377-0,375 meq/100gr arasında, potasyum 0,022-0,192 meq/100gr arasında, kalsiyum+mağnezyum 12,445-28,908 meq/100gr arasında değişmektedir. (Çizelge 4.1)

4.1.5. Materyallerin Bileşim ve Yapıya Bağlı Mühendislik Özellikleri

Örneklerin özgül ağırlıkları literatür değerlerin üst sınırında (Lambe and Whitman, 1969; Ertan ve Ülkü, 1978) olup, DSI değerleri ile uyum sağlamaktadır. A₁, A₃ ve A₅ nolu örneklerin özgül ağırlık değerlerinin (2,86, 2,83, 2,82) literatür değerlerinden biraz yüksek olmasının; primer minerallerinden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Proctor sıkıştırması ile bulunan maksimum kuru birim ağırlık değerleri (Çizelge 4.1). SC sınıfı örneklerinde A₁ nolu örnek literatür (Ek 8) değerlerinin biraz üzerinde, diğerleri literatür değerleri civarında, CL sınıfı örnekleri de literatür değerlerinin biraz altında bulunmuştur. A₄ nolu örneğin proctor eğrisi Şekil 4.20'de görülmektedir. Dane dağılımı kabadan inceye doğru giderken ve boşluk oranı artarken maksimum kuru birim ağırlık değerleri azalmaktadır (Terzaghi and Peck, 1967). Maksimum kuru birim ağırlık değerlerine göre, CL sınıfı örneklerini çekirdek dolguda kullanılma derecesi zayıf, SC ve SC-CL örneklerinin çekirdek dolguda kullanılma dereceleri orta ve iyidir (Ertan ve Ülkü, 1978).

Kıvam limitleriyle maksimum kuru birim ağırlık değerlerine bakıldığında; A₁ nolu örneğin literatür değerlerinin biraz üzerinde, A₂ ve B₅ nolu örneklerin literatür değerlerin biraz altında, diğer örneklerin literatür değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir (Ek 7).

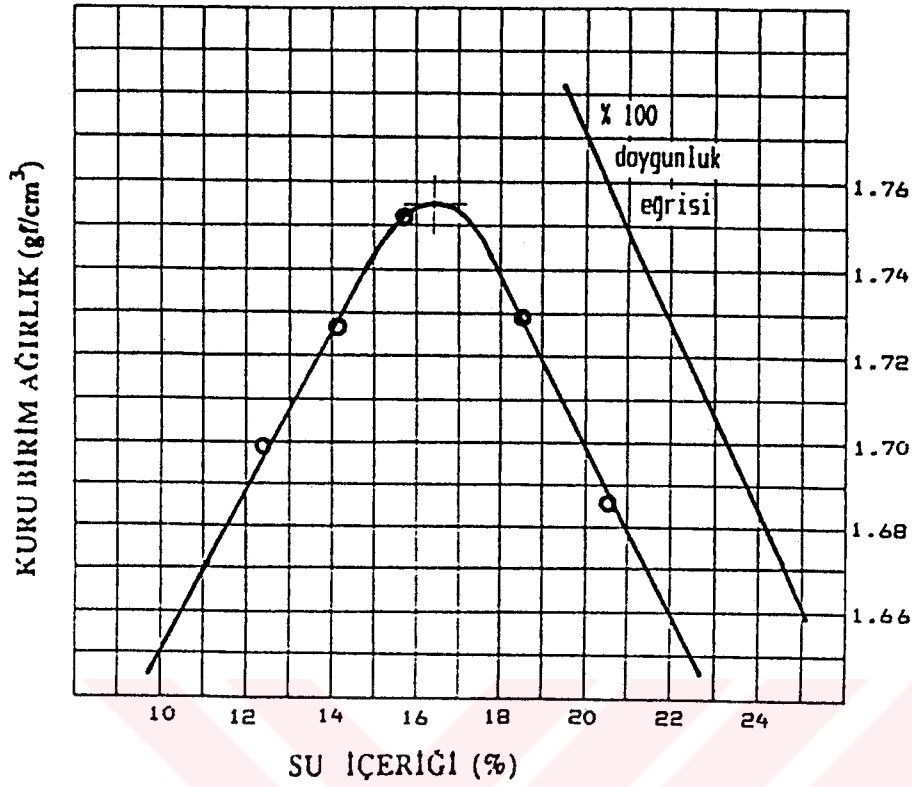
Elde edilen bu değerlerle DSI'nin bulmuş olduğu kuru birim ağırlık değerleri uyumluluk göstermektedir.

SC sınıfı materyallerinin optimum su içeriği literatür (Ek 8) değerlerine çok yakın, SC-CL sınıfı materyalleri literatür değerlerinde, CL sınıfı örnekleri ise literatür değerlerinin bir miktar üzerinde bulunmuştur.

Kıvam limitleriyle optimum su içeriği değerleri A₂ nolu örneğin literatür değerlerinin biraz altında, B₅ nolu örneğin literatür değerlerinin biraz üzerinde, diğer örnekler literatür değerlerinde bulunmuştur (Ek 7).

Ek 7'de verilen eğriler, kohezyonlu zeminlerde kompaksiyon deneyi yapılmadan önce materyallerin LL ve PL değerlerine göre bir fikir edinmek amacıyla geliştirilmişse de kompaksiyonun mekanik bir işlem olması yanında zeminin fiziko-kimyasal özelliklerini de yansıttığını göstermektedir (Önalp, 1982).

Optimum su içeriği değerleri Çizelge 4.1'de görülmektedir. Örneklerin ortalama optimum su içeriği % 16,26'dır. Örneklerdeki ince materyalin artması, dolayısıyla maksimum kuru birim ağırlığın azalmasına paralel olarak optimum su içeriğinin arttığı görülmektedir (Terzaghi and Peck, 1967).



Şekil 4.20. A₄ nolu örneğe ait tipik proctor eğrisi

Doğal su içeriği değerleri %20 civarında olup, optimum su içeriği değerlerinin bir miktar üzerindedirler. DSI'nin çalışmasında da doğal su içeriği % 20 civarında olup, 3 örneğin doğal su içeriği, optimum su içeriğinin altında, diğerleri üzerinde bulunmuştur.

Materyaller aktif zondan (don zonu, ıslanma zonu) alındığı için doğal su içeriği mevsimlere göre değişim gösterebilir (H.TOSUN (5)).

Örneklerin poroziteleri % 30-41 aralığında, boşluk oranları % 43-70 aralığında değişmektedir.(Çizelge 4.1) Değerlerin DSI'nin değerleri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Porozite ve boşluk oranının, iri danelerin azalmasına veya ince danelerin artmasına paralel olarak artış göstermektedir (Terzaghi and Peck, 1948).

Optimum su içeriği ile maksimum kuru birim ağırlık arasındaki ilişkiyi gösteren doygunluk derecesi (Ertan ve Ülkü, 1978), optimum su içeriğinin artması ve boşluk oranının azalmasına bağlı olarak yükselmektedir. (Çizelge 4.1)

(5) Sözlü Görüşme , 1996. Doç. Dr. DSI TAKK. Dairesi Başkan Yardımcısı ANKARA.

Materyallerin permeabilite değerlerine bakıldığında (Çizelge 4.1) SC sınıfı örneklerinden A₁, A₃, B₁, ve B₄'ün literatür değerlerinin (Ek 8) içerisinde, B₂ ve B₃ ün literatür değerlerinin bir miktar altında, CL sınıfı örneklerinin literatür değerlerinde, SC-CL sınıfı örneklerinin CL için verilen literatür değerlerinin içerisinde olduğu görülmektedir. Bulunan permeabilite değerleri geçirimsiz ve çok düşük geçirimli (Terzaghi and Peck, 1967) olup, sorun oluşturacak özellikte olmamasına rağmen, ideal değerlerin üzerindedir (Bagchi, 1990).

Dane dağılımında benzerlik gösteren materyallerin boşluk oranındaki azalma ile birlikte geçirgenliğin de azaldığı gözlenmektedir (Series in Soil Engineering, 1976). Önceki çalışmada (DSİ,1991) 6 örnek üzerinde permeabilite deneyi yapılmıştır. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında, derinlere inildikçe değişen kil, kil+silt oranı ve sıkışmanın artmasına bağlı olarak permeabilitenin azaldığı görülmektedir (Talsma and Flint, 1958).

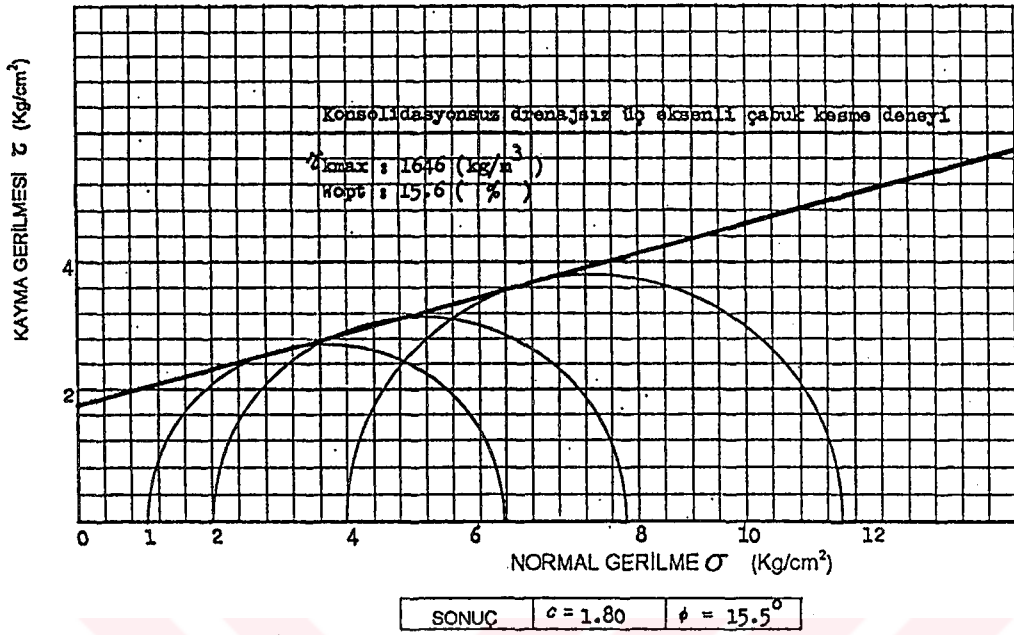
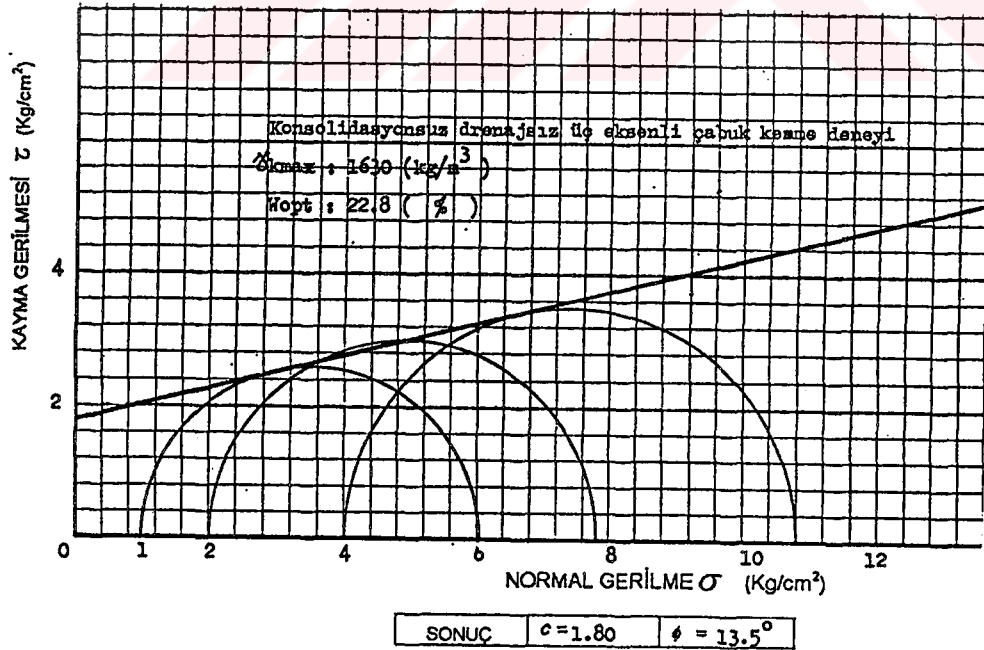
Materyallerin konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli çabuk kesme deneyi ile bulunan kesme dayanımı; CL sınıfı örneklerde $C=1,80$, $\phi =13,5^\circ - 15,5^\circ$ arasında, SC sınıfı örneklerde $C=0,90-1,40$, $\phi= 18^\circ- 25^\circ$ aralıklarında, SC-CL sınıfı örneklerde $C=1,20-1,60$, $\phi =19^\circ-20^\circ$ aralıklarında bulunmuştur. (Çizelge 4.1) A₂ ve B₅ nolu örneklerin konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli çabuk kesme deneyi sonuçları Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de görülmektedir.

Önceki çalışmada (DSİ, 1991) yalnız 4 örnek üzerinde kesme dayanımı deneyi yapmıştır. Bu deneyler sonucunda $C=0,5-1,50$, $\phi =18^\circ-26^\circ$ aralığında elde edilmiş olup, her iki çalışma sonucunda bulunan değerler arasında yakınlık gözlenmektedir. Örneklerin C değerleri literatür (Ek 8) değerlerinin bir miktar üzerinde, ϕ değerleri de bir miktar altında bulunmuştur.

Bulunan değerler kayma dayanımı açısından sorun oluşturmamaktadır.

Materyallerin hacimsel sıkışma katsayıları (M_v) Çizelge 4.2'de, konsolidasyon katsayıları (C_v) Çizelge 4.3'de, sıkışma indisi (C_c) Çizelge 4.1'de verilmiştir. A₁ , B₄ nolu örneklerin basınç boşluk oranı Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de log zaman - deformasyon eğrileri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da görülmektedir.

Önceki çalışmada (DSİ, 1991) yalnız 3 örnek üzerinde konsolidasyon deneyi yapılarak M_v, C_v değerleri bulunmuştur. Her iki çalışmada bulunan M_v ve C_v değerleri uyumludur.

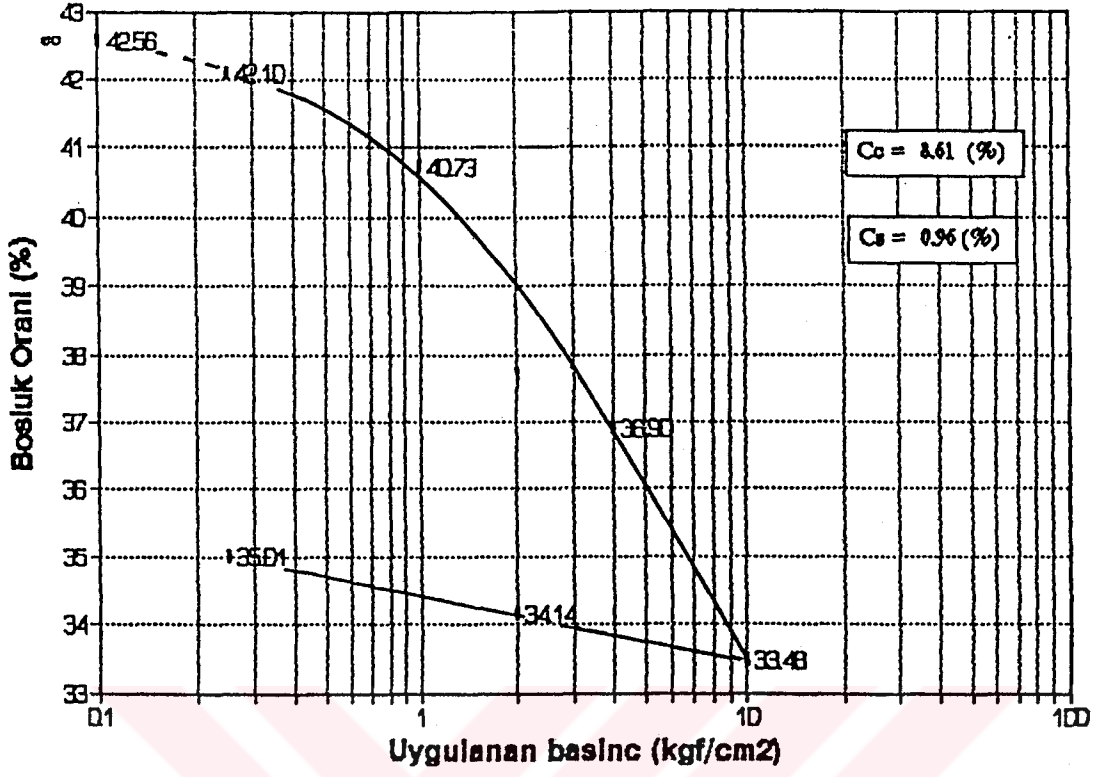
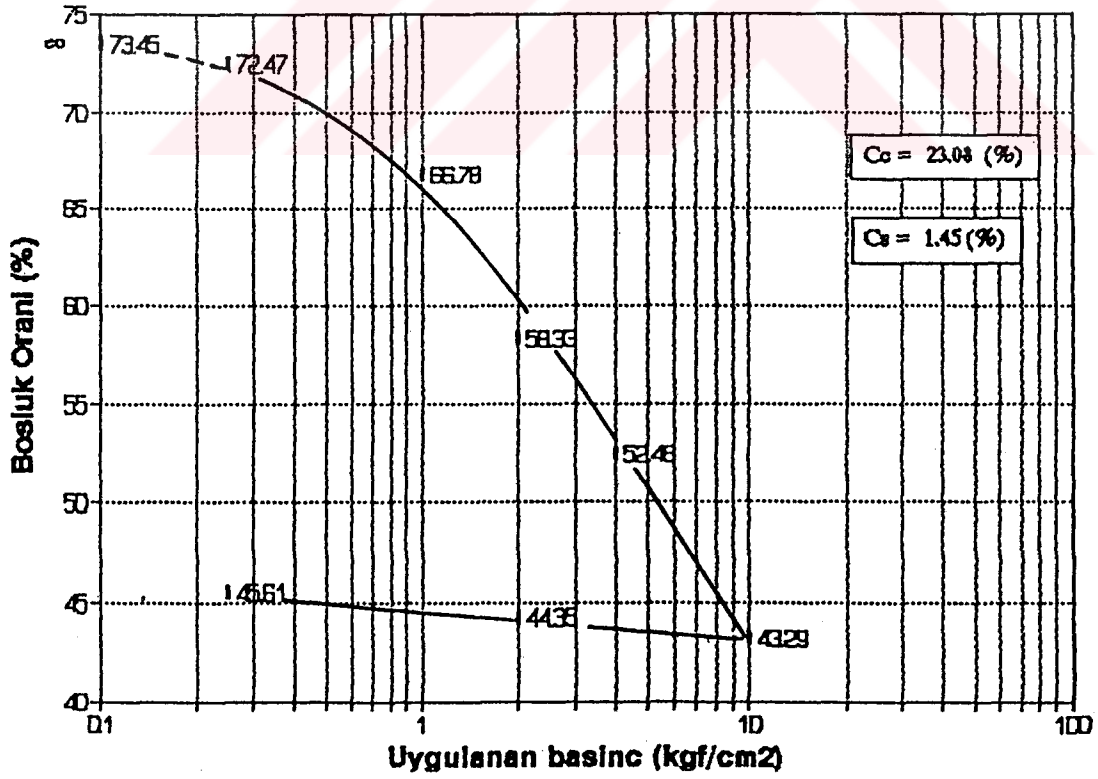
Şekil 4.21. A₂ örneğine ait kayma dayanımıŞekil 4.22. B₅ örneğine ait kayma dayanımı

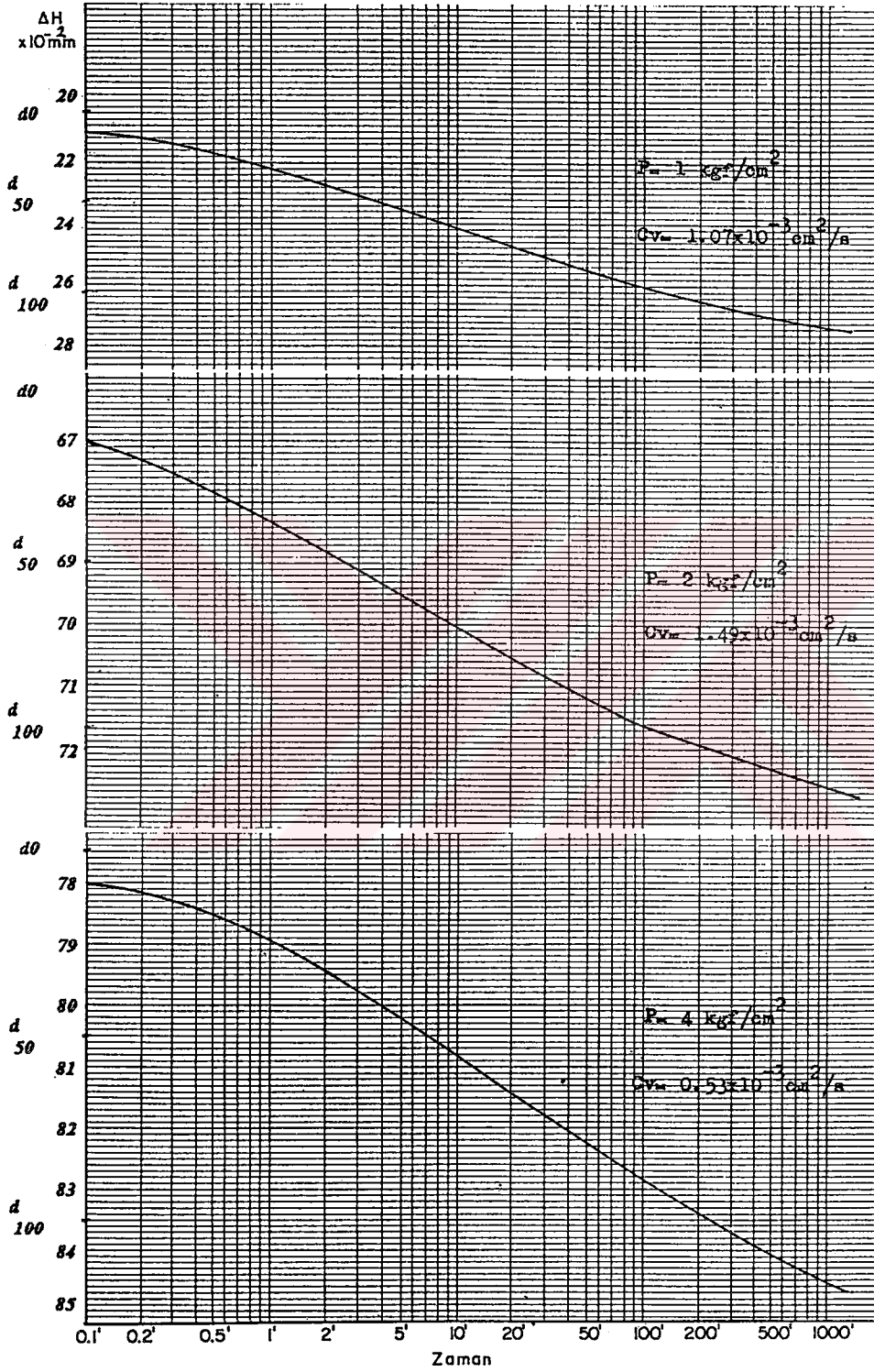
Çizelge 4.2. A ve B Materyallerinin hacimsel sıkışma katsayıları

Numune No	Mv değerleri tablosu ($\times 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{kgf}$)						
	Yükler (kg/cm^2)						
	0,00-0,250	0,25-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,00-10,00	10,00-2,00	2,00-0,25
A ₁	1,31	1,29	2,17	0,29	0,42	0,08	0,32
A ₂	5,70	3,00	2,10	1,30	0,80	-	-
B ₄	2,26	4,47	5,20	1,88	1,04	0,09	0,50
-	0,00-0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,00-8,00	8,00-16,00
A ₃	3,10	2,50	2,10	1,80	1,10	0,80	0,40
A ₄	3,60	3,30	2,10	1,10	0,80	0,60	0,40
A ₅	3,80	3,40	3,10	1,80	1,20	0,80	0,50
B ₁	2,60	2,30	2,00	1,80	1,30	0,80	0,60
B ₂	2,20	1,90	1,60	1,20	0,90	0,80	-
B ₃	2,50	1,90	1,60	1,10	0,80	0,60	0,40
B ₅	5,00	2,80	2,20	1,20	0,80	0,60	0,40

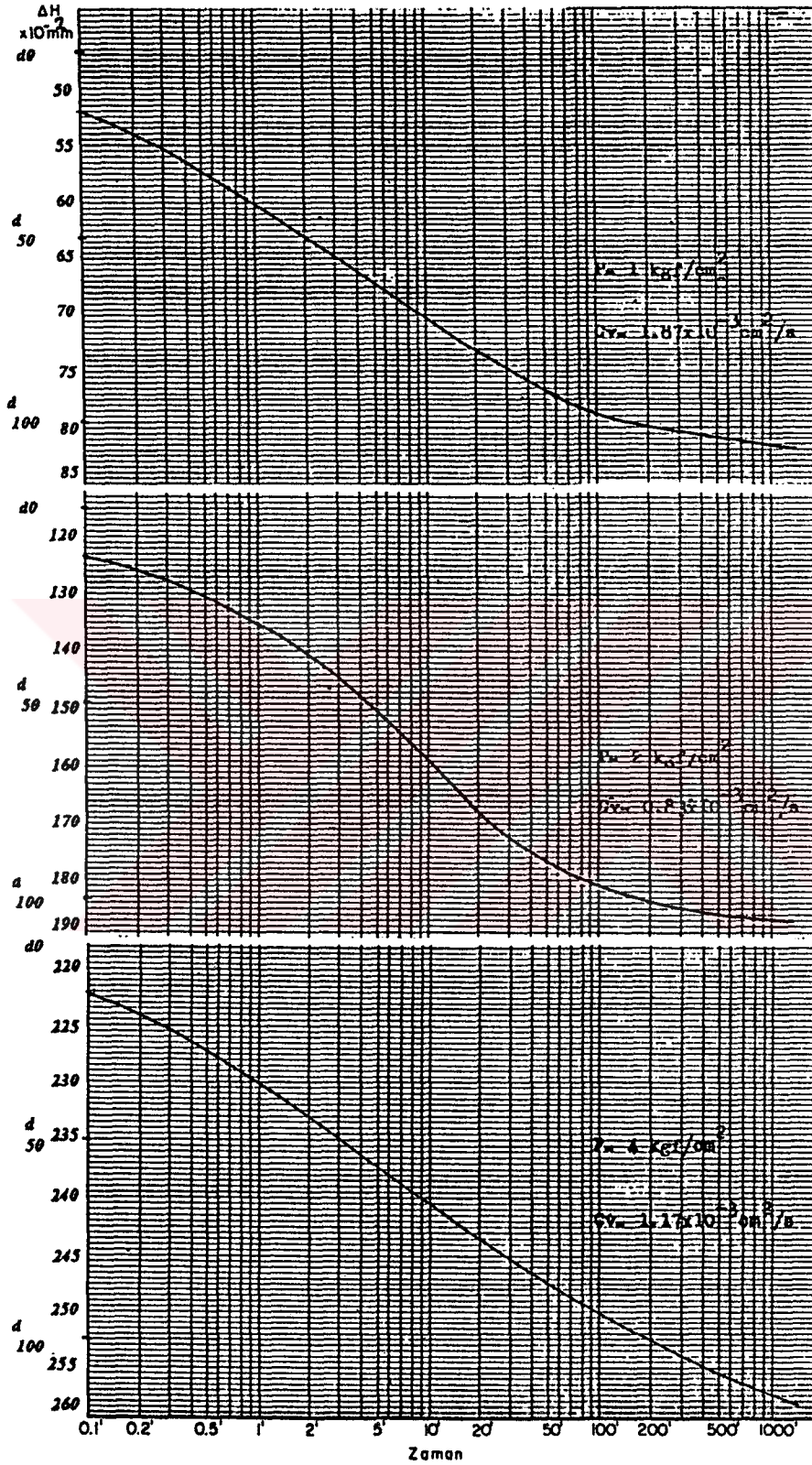
Çizelge 4.3. A ve B Materyallerinin konsolidasyon katsayıları

Numune No	Cv değerleri tablosu ($\times 10^{-4}$ cm ² /kgf)						
	Yükler (kgf/cm ²)						
	1,00	2,00	4,00	10,00	-	-	-
A ₁	10,70	14,90	5,30	-	-	-	-
A ₂	6,50	5,00	6,80	7,60	-	-	-
B ₄	18,70	8,30	11,70	-	-	-	-
	0,00-0,25	0,25-0,50	0,50-1,00	1,00-2,00	2,00-4,00	4,00-8,00	8,00-16,00
A ₃	6,65	6,06	6,46	6,21	7,28	6,97	6,31
A ₄	8,80	2,40	6,30	6,20	4,80	5,10	4,80
A ₅	8,77	1,12	1,10	8,90	8,58	9,80	8,63
B ₁	3,10	1,80	4,50	7,40	5,40	4,60	1,90
B ₂	4,10	2,0	1,10	4,50	3,90	4,20	-
B ₃	3,70	1,30	3,10	6,40	6,40	4,90	4,30
B ₅	5,50	3,60	3,50	6,50	4,60	7,00	5,20

Şekil 4.23 A₁ nolu basınç-boşluk oranı eğrisiŞekil 4.24. B₄ nolu örneğe ait basınç-boşluk oranı eğrisi



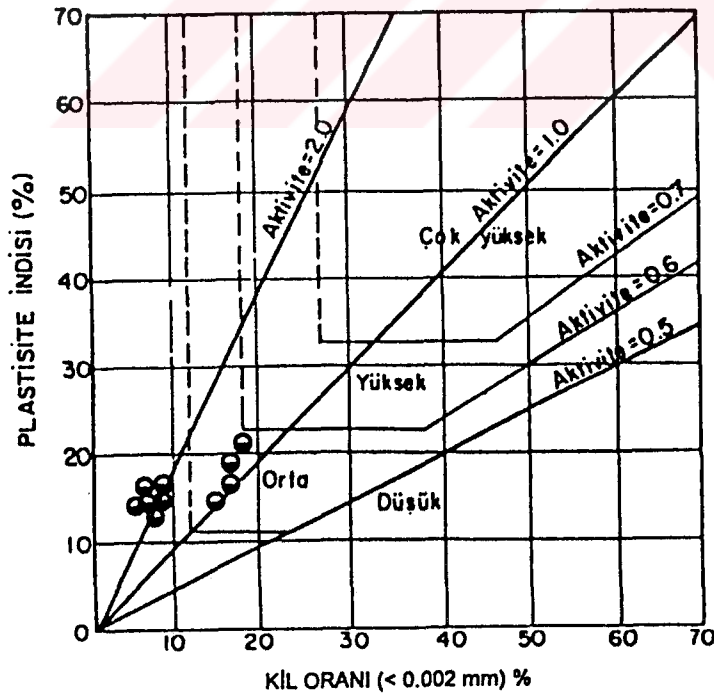
Şekil 4.25 A₁ nolu örneğe ait log zaman-deformasyon eğrisi



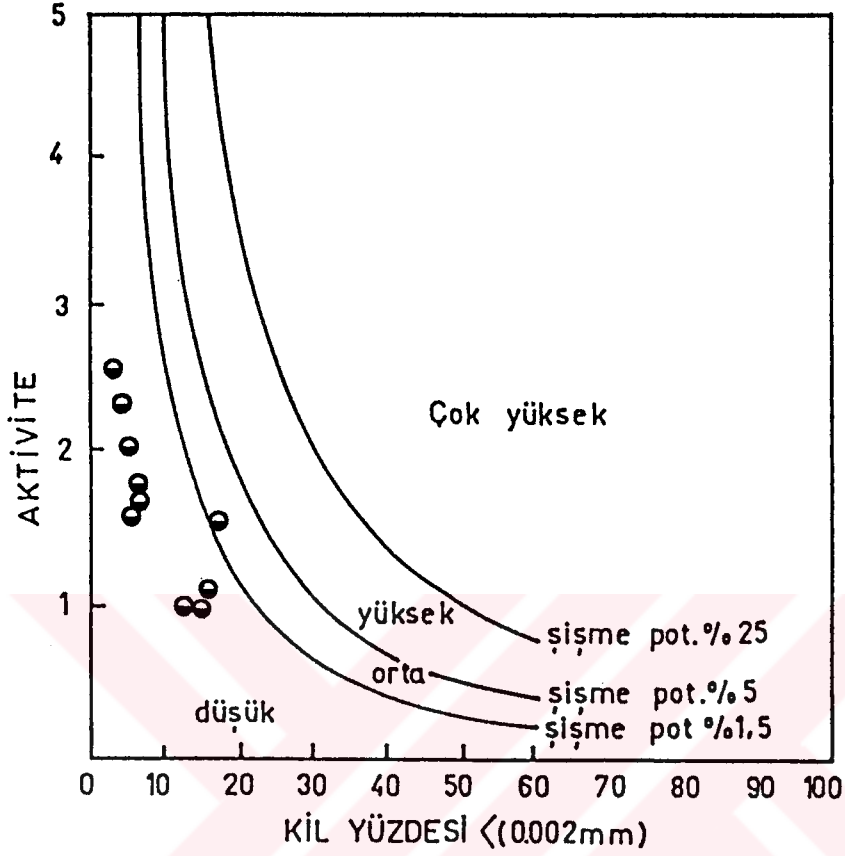
Şekil 4.26. B₄ nolu örneğe ait log zaman-deformasyon eğrisi

Araştırma alanı örneklerinin aktivite değerleri 1,00-2,60 aralığında bulunmuştur. (Çizelge 4.1) Bu değerlere göre materyaller, normal aktif ve aktif zeminler sınıfındadır (Skempton, 1953; Gillot, 1958). Örneklerin kil yüzdelерinin genellikle düşük olmasına rağmen aktivite değerlerinin yüksek çıkmasının nedeni, hakim kil mineralinin aktivitesi çok yüksek olan montmorillonit olmasıdır (Skempton, 1953; Gillot, 1958; Seed et al., 1962). Önceki çalışma (DSİ 1991) verilerine göre hesaplanan aktivite değerleri, 2,0-5,3 arasında bulunmuştur. Derinlere inildikçe aktivitenin artması hakim kil minerali olan montmorillonit oranının artmış olabileceğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Materyallerin şişme dereceleri dönüştürülmüş Van Der Merve kartına göre (Şekil 4.27) düşük ve orta değerler arasında (Gromko, 1974), kil ve aktivite değerlerine göre önerilen şişme potansiyeli abağında (Şekil 4.28), düşükten ortaya doğru yaklaşmaktadır (Seed et al., 1962). Şişme değerlerinden (Çizelge 4.1), şişme potansiyelinin düşük, düşük-orta ve orta olduğu görülmektedir (Seed et al., 1962; Holtz and Gibbs, 1956; Chen, 1988). Şekil 4.27'de A ve B materyal sahaları örneklerinin aktivite abağı üzerindeki dağılımları ve Şekil 4.28'de şişme abağı üzerindeki dağılımları görülmektedir.

Önceki çalışma (DSİ 1991) verilerine göre işlenen, dönüştürülmüş Van Der Merve kartından ve şişme potansiyeli abağından materyallerin şişme değerlerinin uyumlu olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.27. A ve B materyal sahaları örneklerinin aktivite abağı üzerindeki dağılımları (Skempton, 1953; Gromko, 1974; Holtz and Kovacs, 1981)



Şekil 4.28 A ve B meteryal sahaları örneklerinin şişme abağı üzerindeki dağılımları (Seed et al., 1962).

Materyallerin; 200 nolu elekten geçen yüzdelerinden, likit limit, plastisite indisi, rötne limiti değerlerinden, birleştirilmiş zemin sınıflarının SC,CL olmasından da , şişme potansiyelinin düşük ve orta derecede olduğu görülmektedir (Holtz and Gibbs, 1956; Seed et al., 1962; Peck et al., 1974, Dizdar, 1982; Chen, 1988).

Araştırma alanı zeminlerinin kurak aylarda geniş büzülme çatlakları göstermemesi şişme potansiyelinin düşük olacağıın bir göstergesi kabul edilebilir (Wayne et al., 1984).

Yukarıda belirtilen tüm bu verilerden materyellerin şişme yönünden sorun oluşturmayacağı açıkça görülmektedir.

Dolguadaki farklı oturmada, depremden, farklı rutubet değerlerinden vs. kaynaklanan bir çatlağın olması halinde, ŐiŐen zeminlerin ŐiŐerek bu çatlağı hemen kapatma eğiliminde olduklarından, eęer materyalin iŐlenmesi iyi ise ŐiŐmenin faydası vardır (H. TOSUN (6)). Bu durumda araŐtırma materyallerinin ŐiŐme potansiyellerinin dūŐuk ve orta değerde olması avantaj olarak gōrūlebilir.

AraŐtırma alanı materyallerinin ifte hidrometri deney sonuçlarına gōre dispersiyon yūzdesi % 25-87 oranında (izelge 4.1) bulunmuŐtur. A₁ ve B₃ rneklarine ait ifte hidrometri eęrileri Őekil 4.29 ve Őekil 4.30'de gōrūlmektedir.

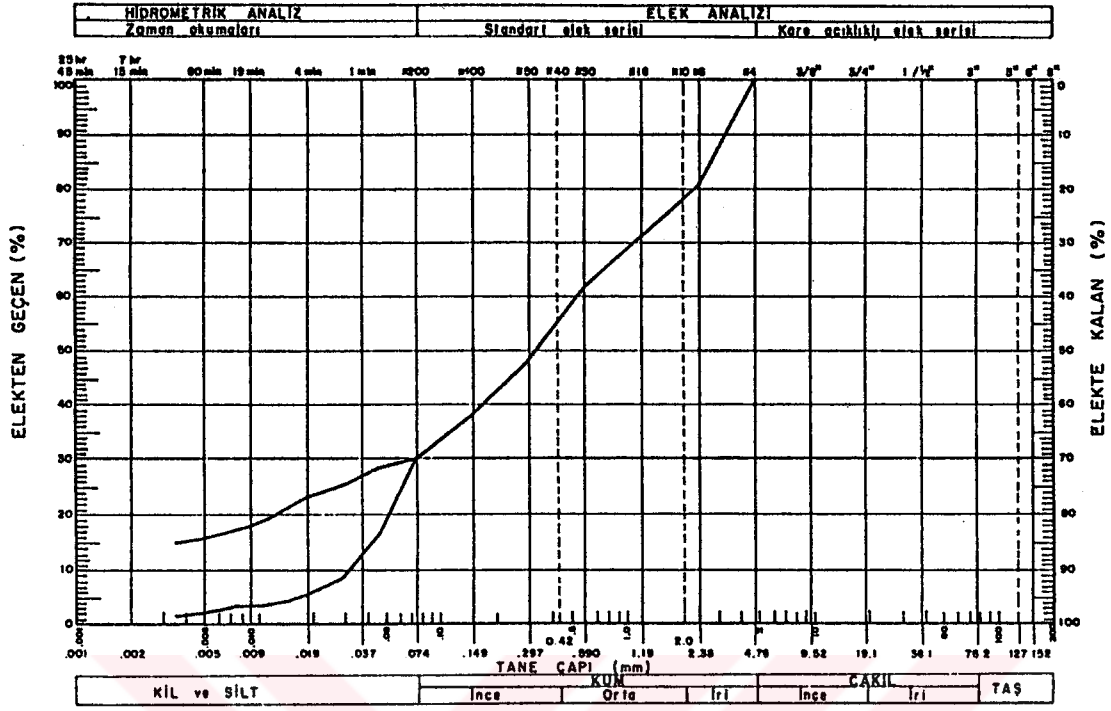
Bu sonuçlara gōre, iki örnek dispersif değil, beŐ örnek ara zemin, ũ örnek dispersiftir. Sekiz rnek üzerinde yapılan ięne deliği deneyine gōre altı örnek dispersif değil iki örnek ara zemin (izelge 4.1) olarak bulunmuŐtur. rnekların ięne deliği sonucu değerlendirmesi Őekil 4.31 ve Őekil 4.32'de gōrūlmektedir. 9 örnek üzerinde yapılan dağılma deneyi sonuçlarına (izelge 4.1) gōre bũtũn örnekler dispersif değil çıkmıŐtır. Yapılan kimyasal deney sonuçlarından (izelge 4.1) rnekların hiç birinde ESP değeri 7'yi geçmediği (Knodel, 1991), SAR değerleri de 2 den kũuk olduğu için materyaller dispersif değil bulunmuŐtur (Aitchison and Wood, 1965; Sherard et al., 1976).

Kimyasal deneylerden elde edilen sonuçlar sodyum yūzdesinin kil dispersiyonu ve sonuçta erozyonu etkileyen en önemli parametre olduğunu gōstermektedir (Tuncer, 1985). Őekil 4.33' deki boŐluk suyundaki toplam zũnmũŐ tuzlar (TDS) ile boŐluk suyundaki sodyum yūzdesine gōre verilen diyağramda rnekların dağılımına bakıldığında, materyallerin dispersif olmadığı gōrūlmektedir. Ięne deliği deneyleri ve doğada gōzlenmiŐ erozyon olaylarının bilgi birikiminden esinlenerek önerilen dispersibilite ve boŐluk suyundaki zũnmũŐ tuzlar arasındaki Ek'19'daki iliŐkiye bakıldığında B₁ ve B₅ nolu örnek ara zemin diğerleri dispersif değil gōrũnmektedir.

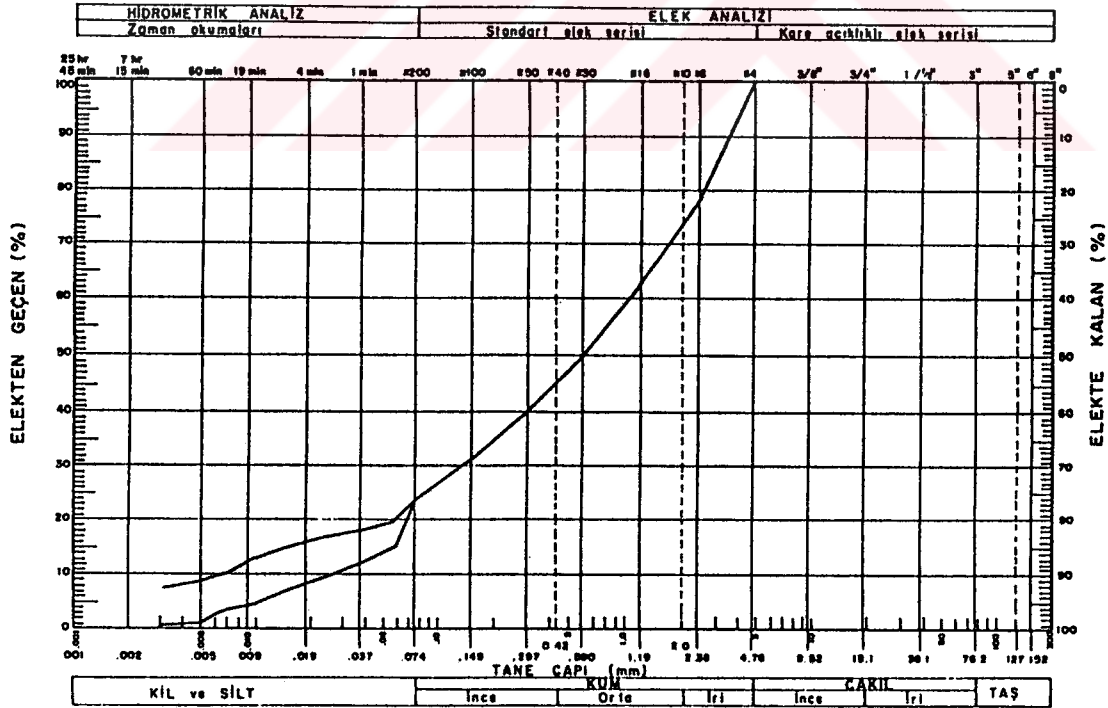
rnekların; pH, elektiksel iletkenlik, SAR, ESP değerlerine bakılarak Ek'20'de verilen izelge incelendiğinde de materyallerin dispersif karakter taŐımadıęı gōrūlmektedir.

Dispersibilite potansiyelinin belirlenmesi için yapılan deney ve analiz sonuçlarına gōre; iğne deliği, dağılma ve kimyasal değerler sonuçlarının uyumlu, ifte hidrometri deney sonuçlarının diğer deney sonuçlarıyla uyumlu olmadığı belirlenmiştir. Çifte hidrometri deney sonuçlarının çoğu kere başarılı sonuçlar vermesine rağmen tek başına kullanıldığı zaman yanılıcı değerlendirmelere

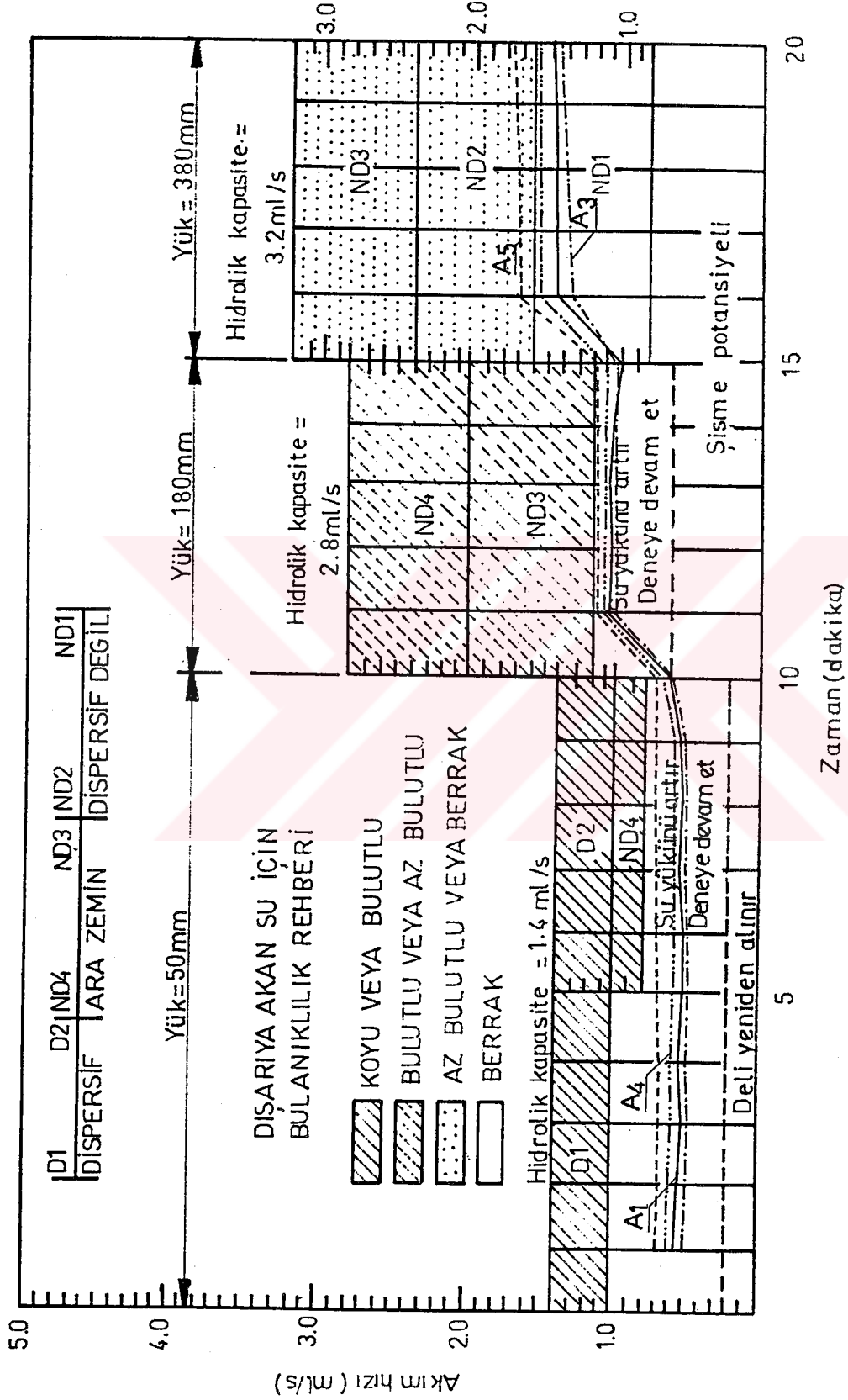
(6) Sōzltũ gōrũŐme, 1996. Doç.Dr. DSl. TAKK Dairesi Başkan Yardımcısı, ANKARA.



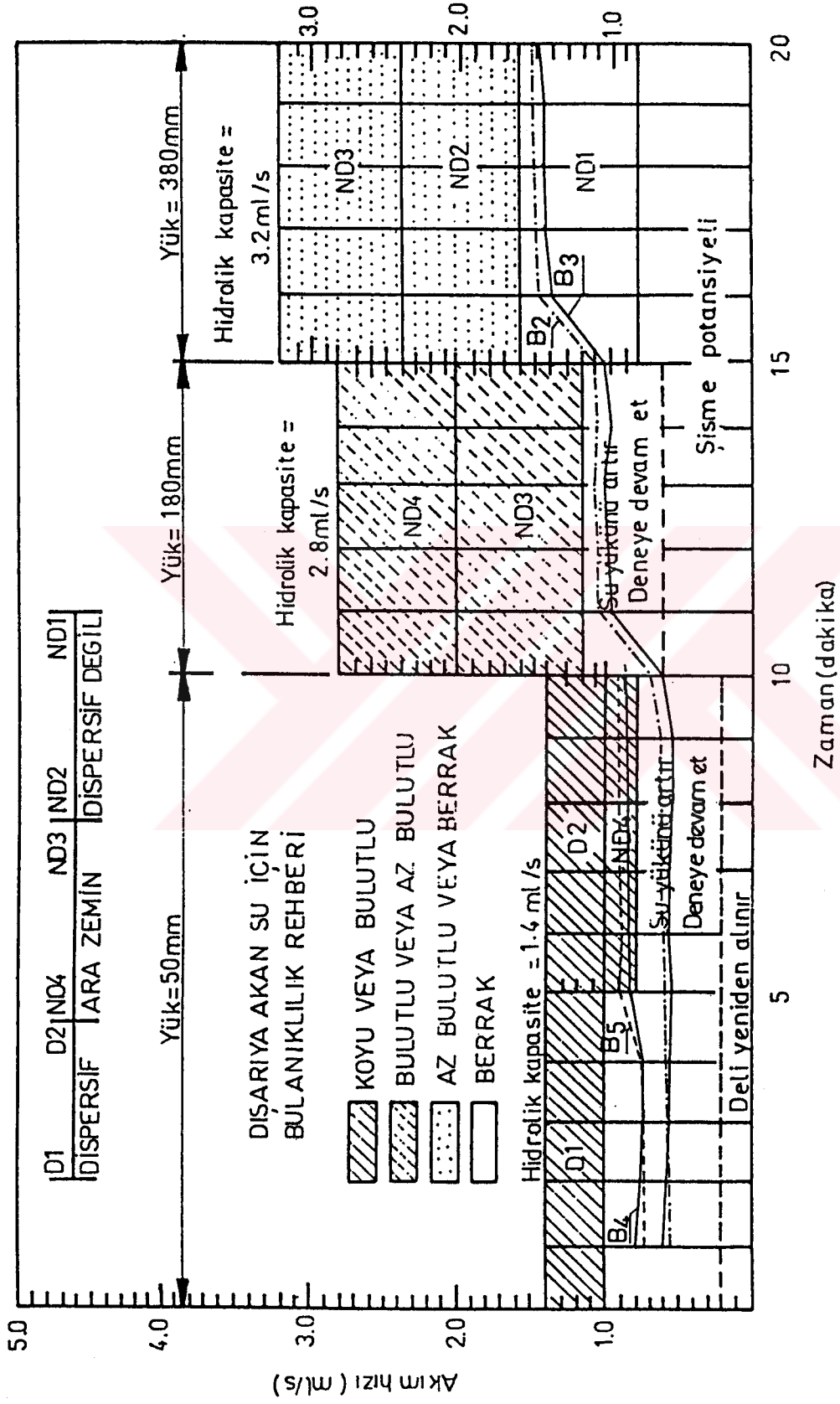
Şekil 4.29 A₄ nolu örneğin çifte hidrometri deneyi ile elde edilen dane dağılıma eğrisi



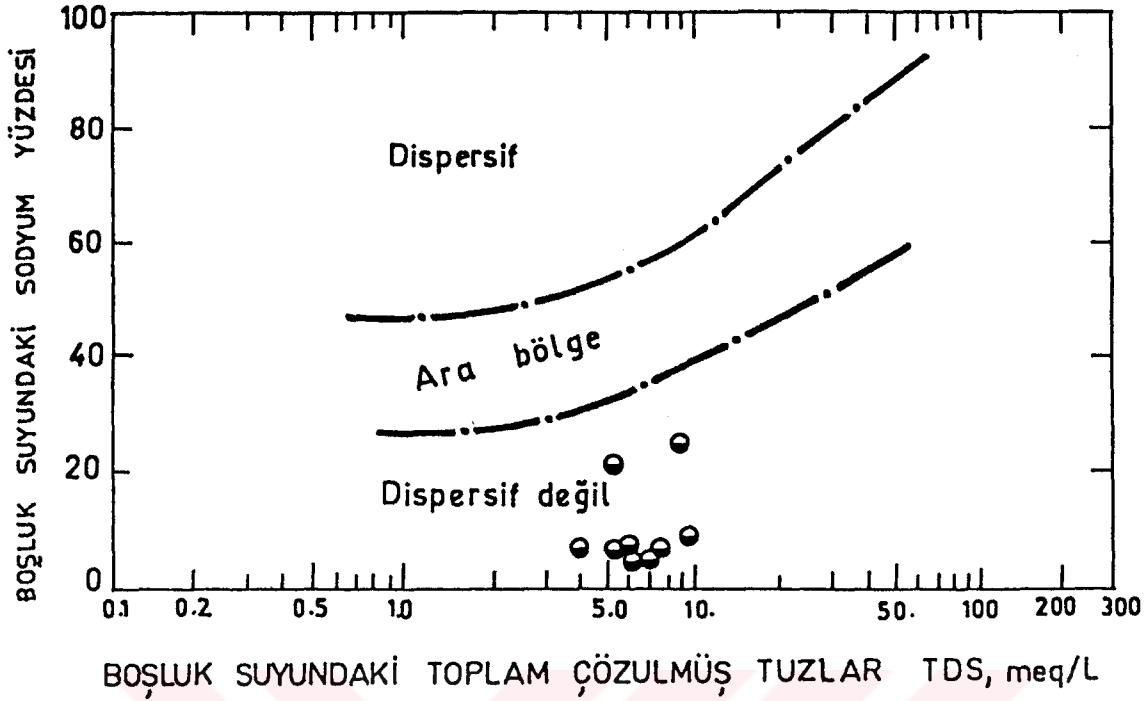
Şekil 4.30 B₃ nolu örneğin çifte hidrometri deneyi ile elde edilen dane dağılımı eğrisi



Şekil 4.31 A sahası materyallerinin iğne deliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi



Şekil 4.32. B sahası materyallerinin iğne deliği deney sonuçlarının değerlendirilmesi



Şekil 4.33 A ve B materyal sahası örneklerinin TDS ile Sodyum yüzdesi değerlerinden dispersibilite tayini

neden olmaktadır (Tuncer, 1985). DSI pek güvenli olmadığı için dispersibilite tayininde çifte hidrometri deneyi yapmamaktadır (H.TOSUN,(7)). SAR değerleri toplam çözülmüş tuz değerinin (TDS) 0,5-3,0 meq/L arasında olduğu zeminler için uyumludur (Tosun, 1993). Bulunan TDS değerleri 4,178-9,64 meq/l arasında değişmektedir.

Güzelce deresi suyu orta derecede tuzluluk, düşük derecede sodyumluluk içermektedir (DSİ, 1991). Dispersiyon yenilmesini kontrol eden özelliklerden biri olan rezervuar suyundaki çözülmüş tuzların düşük olması, materyal sahası zeminlerinin tuzlu olmaması, nötr veya asidik olmaması (Tosun, 1993), örnekler üzerinde yapılan iğne deliği, dağılma, ESP ve SAR deneyleri sonuçlarını doğrulamaktadır.

Hakim kil minareli olan montmorillonitin diğer kil minarellere göre daha fazla süspansiyona geçme eğiliminde olması (Holeman, 1965), kaolinit minaralinin düşük dispersiyon özelliği göstermesi (Tuncan, 1995), klorit minarelinin orta stabilitede olması, pH değerinin yüksek olması (7,48-7,92) bazı örneklerin arazemin sınıfı çıkmasını destekler niteliktedir.

Dispersibilite deneyleri sonuçlarından, yukarıdaki açıklamalardan, materyallerin dispersif özellik göstermeyecekleri görülmektedir.

(7) Sözlü görüşme, 1996. Doç.Dr.DSİ TAKK Dairesi Başkan Yardımcısı, ANKARA.

4.1.6 Araştırma Alanı Materyallerinin Kil Fraksiyonu ve Minerolojisinin Mühendislik Davranışlara Etkisi

Araştırma sununda artan kil minareline bağlı olarak; likit limit, plastik limit, plastisite indisi, doğal su içeriği, katyon değişim kapasitesi, porozite ve boşluk oranlarında artışlar görülmektedir. Kil miktarının artışına paralel olarak permeabilite ve kayma dayanımı azalmaktadır (Sowers, 1965; Banin and Amiel, 1970; Mitchell, 1976).

Materyellerdeki hakim kil minerali olan montmorillonit, kil oranının düşük olmasına rağmen likit limit değerlerinin % 30'un üzerinde, dolayısıyla plastikliğin orta derecede olmasını sağlamıştır (Grim, 1962; Lambe and Whitman, 1969; Harr, 1975). Hakim kil mineralinin ikincisi olan kaolinit, büzülme limiti değerlerinin %11,3-18,4 arasında olmasını büyük oranda etkilemiştir (Lambe and Whitman 1969; Harr, 1975). Hakim kil minareli olan montmorillonit, kil oranının düşük olmasına rağmen materyellerinin aktivitelerinin 1,00-2,60 gibi yüksek değerler arasında olmasına (Lambe and Whitman, 1969; Harr, 1975) ve dolayısıyla şişme potansiyelinin düşükten ortaya doğru yaklaşmasına neden olmuştur (Holtz and Gibbs, 1956; Seed et al., 1962; Peck et al., 1974; Cheen, 1978).

Yüksek özgül yüzey alanına, dolayısıyla yüksek katyon değişim kapasitesine sahip montmorillonit kil minerali, materyallerin katyon değişim kapasitesinin 12,65-29,32 değerleri arasında bulunmasını büyük oranda etkilemiştir (Grim, 1962; Lambe and Whitman, 1969; Harr, 1975).

Buradan, bir zeminde % 5 oranında bulunan montmorillonit kilinin, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı üzerinde yüksek oranda bulunan diğer killerden daha fazla etkili olduğu, tek başına kil miktarının fiziksel ve kimyasal yapıyı etkilemede belirleyici olmadığı görülmektedir (Ergene, 1972).

Montmorillonit kil minarelinde kaynaklanan ve düşükten ortaya doğru giden şişme potansiyeli materyallerin kayma dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir (Holeman, 1965).

Özgül ağırlık değerlerinin literatür değerlerinden (Lambe and Whitman, 1969; Harr, 1975; Ertan ve Ülkü, 1978) biraz yüksek çıkmasının nedeninin kil mineralinden ziyade primer minerallerden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Montmorillonit kil minarelinin diğer minerallerden daha fazla süspansiyona geçme eğiliminde olması (Holeman 1965), materyallerden bazılarının dispersibilite açısından ara zemin çıkmasında etkili olmuş olabilir.

Materyallerin likit limit, plastisite indisi, sıkışma indisi, katyon değişim kapasitesi vb. değerlere düşük oranda olmasına, organik maddenin katkısı olduğu söylenebilir (Akalan ve Ünal, 1967; Tuncer ve Birand, 1978; Çinicioğlu ve ark., 1991).

4.2 Kapama Seddesi

Homojen dolgu tipinde, temelden yüksekliği 10, 50 m, kret uzunluğu 15.00 m dolgu hacmi 0,150 hm³ olan kapama seddesinin (Ek 3 ve Ek 4) dolgusunda kullanılacak materyal sahası, kil çekirdek dolguda kullanılacak materyal sahası olan rezervuar alanı içindeki A ve B materyal sahalarıdır. (Şekil 3.8)

Kapama seddesi dolgusuna yakınlığı, dolgunun azlığı, ekonomik olması nedeniyle B₃,B₄,B₅ nolu kuyuların çevresi materyal sahası olarak kullanılması uygundur. Kapama seddesi için ayrı analiz ve deney yapılmamış olup, kil çekirdek dolgusu için yapılan deney ve analizler kapama seddesi için de geçerlidir. (Çizelge 4.1) B sahası materyalinin zemin sınıfı SC ve CL'dir. (Çizelge 4.1) SC sınıfı zeminlerin homojen dolguda kullanılma derecesi 3, inşaat malzemesi olarak işlenebilme özelliği iyi, CL sınıfı zeminlerin homojen dolguda kullanılma derecesi 5, işlenebilme özelliği iyi ile ortadır. (Ek 9) SC sınıfı zeminlerin borulaşma eğilimi ortadan düşüğe, CL sınıfının düşükten ortaya doğru gitmektedir. (Ek 10)

Seddeye yakın B₃, B₄, B₅ örneklerinin ortalama fraksiyonları, çakıl % 24,0 kum, % 44.3, silt,% 21,0 ve kil % 10.3'dür. Materyallerin fraksiyonlarına bakıldığında, çakıl oranının fazla, kum oranının biraz düşük olmasına rağmen litaratür değerleri ile uyumlu olduğu söylenebilir. (Ek 11) Önceki çalışma (DSİ, 1991) sonuçlarına göre derinlere inildikçe çakıl oranının azalıp silt oranının arttığına bakılırsa, literatür değerlerine uyumluluğun arttığı söylenebilir. SC sınıfı materyallerin deformasyonla çatlamaya karşı duyarlılığı orta, CL sınıfı materyallerin deformasyonla çatlamaya karşı duyarlılığı düşük ve yüksektir. (Ek 10) Örneklerin şişme potansiyellerinin düşük ve orta derecede olması sedde de sorun yaratmayacaktır. Kayma parametrelerine (Çizelge 4.1) ve (EK'15) de ve önerilen şev değerlerine bakıldığında,belirlenen memba ve mansap şev eğilimlerinin (2:1) uygun olduğu görülmektedir. Örnekler üzerinde yapılan tüm analiz ve deneylerin sonuçlarından, litaratür (Ek 8,Ek 9,Ek 10,Ek 11,Ek 12,Ek 14) değerlerinden B₃,B₄,B₅ nolu örnek kuyuları çevresinden alınacak materyallerin kapama seddesi homojen dolgusunda güvenle kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Belirlenen materyal sahasının kil çekirdek dolguda kullanılması dolgu inşaatı esnasında süpriz materyal çıkması vb. nedenlerinden dolayı materyal ihtiyacı sözkonusu olduğunda BR₂ nolu örnek kuyusu civarı alternatif materyal sahası olarak düşünülebilir. BR₂ nolu örnek üzerinde yapılan deney ve analizler Çizelge 4.4 'de görülmektedir. BR₂'nin birleştirilmiş zemin sınıfı SC-CL bulunmuştur. BR₂ örneği üzerinde mühendislik deneylerinden proctor ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerde γ_{max} 1.690 t/m³, Wopt % 21.1, permeabilite 4,2. 10⁻⁸ cm/sn bulunmuştur. BR₂'nin deney ve analiz sonuçlarıyla, zemin sınıfı SC-CL olan A₄ ve A₅ nolu örneklerin deney ve analiz sonuçları büyük oranda benzerlik göstermektedirler. Bundan dolayı BR₂ nolu örnek kuyusunun çevresinden alınacak materyaller güvenle sedde dolgusunda kullanılabilir.

BR₃ nolu kuyudan alınan örneğin deney ve analiz sonuçları uygun olmakla birlikte kireç oranının çok yüksek (% 37,5)olmasından dolayı materyal sahası olarak düşünülmemelidir.

4.3 Göl Alanı (Rezervuar) Zeminleri

Araştırma alanlarından alınan 10 adet örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde yapılan; fiziksel, mineralojik, kimyasal, mühendislik analiz ve deney sonuçları Çizelge 4.4 'de görülmektedir.

4.3.1 Materyallerin Sınıflandırma Özellikleri

Yapılan elek ve hidrometrik analizleri verilerinden elde edilen gradasyon eğrilerine göre materyaller (ortalama olarak) % 30 çakıl, % 44 kum, % 17 silt, % 9 kilden oluşmaktadır. (Çizelge 4.4) Örneklerin dane dağılımı eğrileri Şekil 4.34 ve Şekil 4.35 de görülmektedir. Örneklerden yalnız AR₅ ince daneli zemin, diğerleri iri daneli zemin sınıfına girmektedir (Wagner, 1957). Örneklerden 3 tanesinin (AR₃, AR₅, BR₂) kil yüzdesi 14-22 arasında olduğu için orta kohezyonlu, diğer örnekler az kohezyonlu zemin sınıfına girmektedir (MIT). Örneklerin dane dağılımları ile, geçirimsiz materyallerin dane dağılımları karşılaştırıldığında, genellikle çakıl yüzdelerinin arttığı, kum yüzdelerinin değişmediği, silt ve kil yüzdelerinin azaldığı, dolayısıyla kohezyonun da değiştiği görülmektedir (Çizelge 4.1, Çizelge 4.4).

AR₁ , AR₂ ve BR₁ nolu örnekler plastik limit deneyinde dağılıma gösterdiklerinden plastik limit değerleri belirlenememiştir. Bundan dolayı bu üç örneğin plastik olmadığı anlaşılmaktadır. (Çizelge 4.4) Diğer örneklerin likit limitleri % 34-44 arasında, plastik limitleri % 20-23 arasında, plastisite indisi % 13-24 arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.4) Materyaldeki kil miktarlarının artmasına paralel olarak likit limit değerlerinde artışlar olmuştur (Sowers, 1965; Terzaghi and Peck, 1967).

Örneklerin plastisite kartındaki dağılımları Şekil 4.36'da görülmektedir. Materyallerin; Atterberg limitlerinden, plastisite kartındaki dağılımlarından düşük ve orta plastik özellik gösterdikleri anlaşılmaktadır (Sowers, 1979).

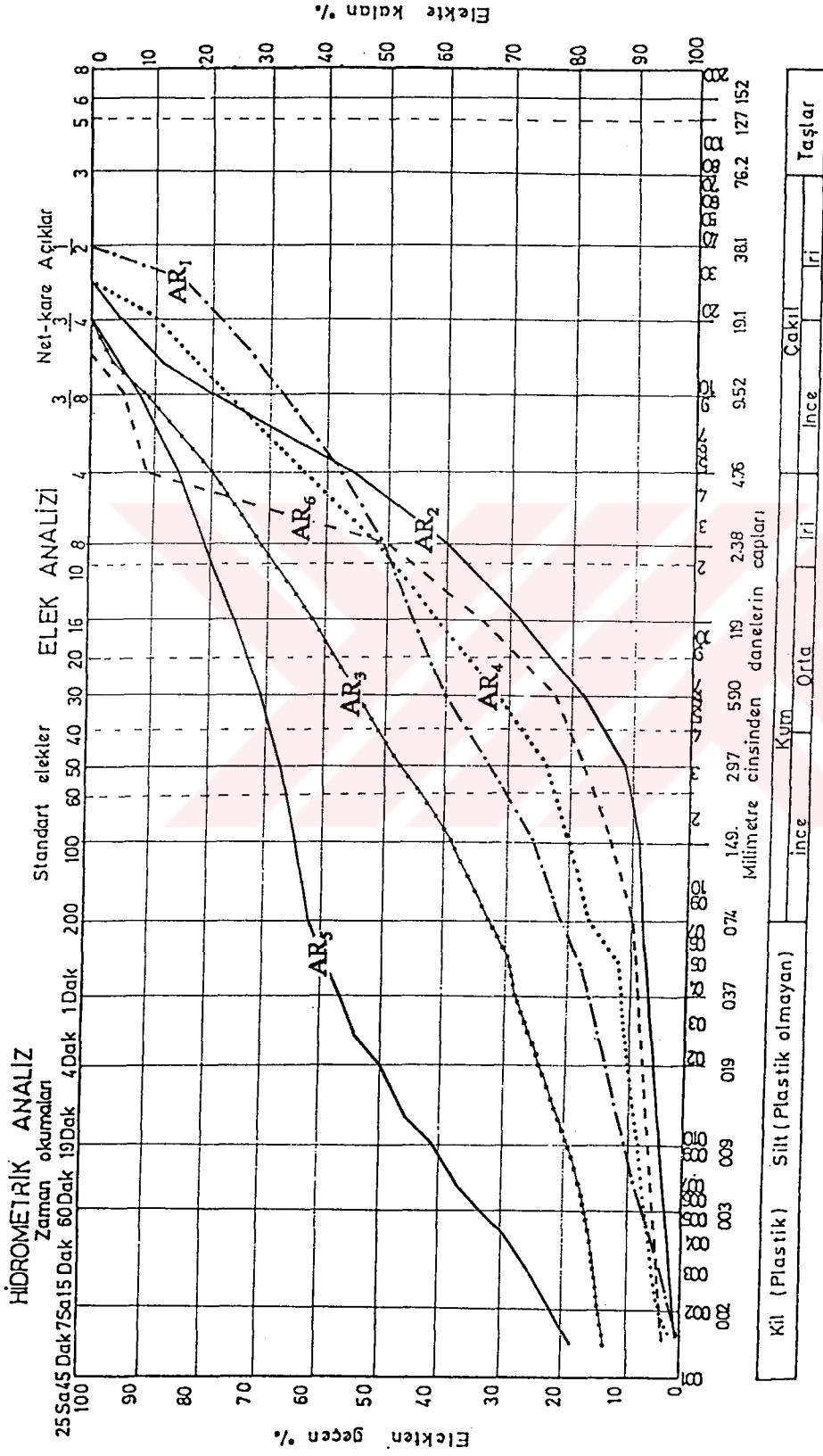
Kil yüzdesi % 15'den düşük zeminler plastik özellik göstermemektedir (Sowers, 1965; Terzaghi and Peck, 1967). Örneklerden AR₄ , AR₆ , BR₃ , BR₄ 'ün kil kapsamının % 15'den az olmasına rağmen düşük ve orta plastik bir özellik göstermesi, hakim kil minarelinin montmorillonit olmasından kaynaklanmaktadır (Grim, 1949; Seed et al., 1962; Terzaghi and Peck, 1967; Gillot, 1958; Mitchel, 1976).

Çizelge 4.4. Rezervuar alanı materyallerinin fiziksel, mineralojik, kimyasal ve mühendislik özellikleri

Örnek no	Densite (g/cm ³)	S I N I F L A N D I R M A										İc	İL	Biriştirilmiş zemin sınıflandırılması	Tekstür	Kil mineralleri
		DANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMI					ATTERBERG LİMİTLERİ									
		ÇAKIL	KUM	SİLT	KİL	LL	PL	Pİ	BL							
-	m	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	-	-	-
AR ₁	0,25-1,40	42	37	19	2	-	-	-	-	-	-	-	-	SM	SL	M-KL-K
AR ₂	0,25-1,40	44	48	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	SM	LS	M-KL-K
AR ₃	0,30-1,35	20	47	19	14	38	22	16	11,7	0,50	0,50	0,50	SC-CL	SCL	M-K-KL	
AR ₄	0,30-1,35	35	47	14	4	36	20	16	10,2	0,56	0,43	0,43	SC	SL	M-K-KL	
AR ₅	0,20-1,50	14	23	41	22	44	20	24	16,1	0,50	0,50	0,50	CL	CL	M-K-KL	
AR ₆	0,30-1,45	8	80	9	4	34	21	13	10,7	0,92	0,07	0,07	SP-SC	LS	M-K-KL	
BR ₁	0,25-1,40	35	42	20	3	-	-	-	-	-	-	-	SM	SL	M-K-KL	
BR ₂	0,30-1,45	15	48	21	16	40	23	17	13,4	0,58	0,41	0,41	SC-CL	SCL	M-K-KL	
BR ₃	0,25-1,50	44	29	21	7	36	23	13	12,1	1,23	-0,23	-0,23	GC	SL	M-KL-K	
BR ₄	0,30-1,40	43	38	11	8	35	21	14	12,1	0,92	0,07	0,07	GC	SL	M-KL-K	

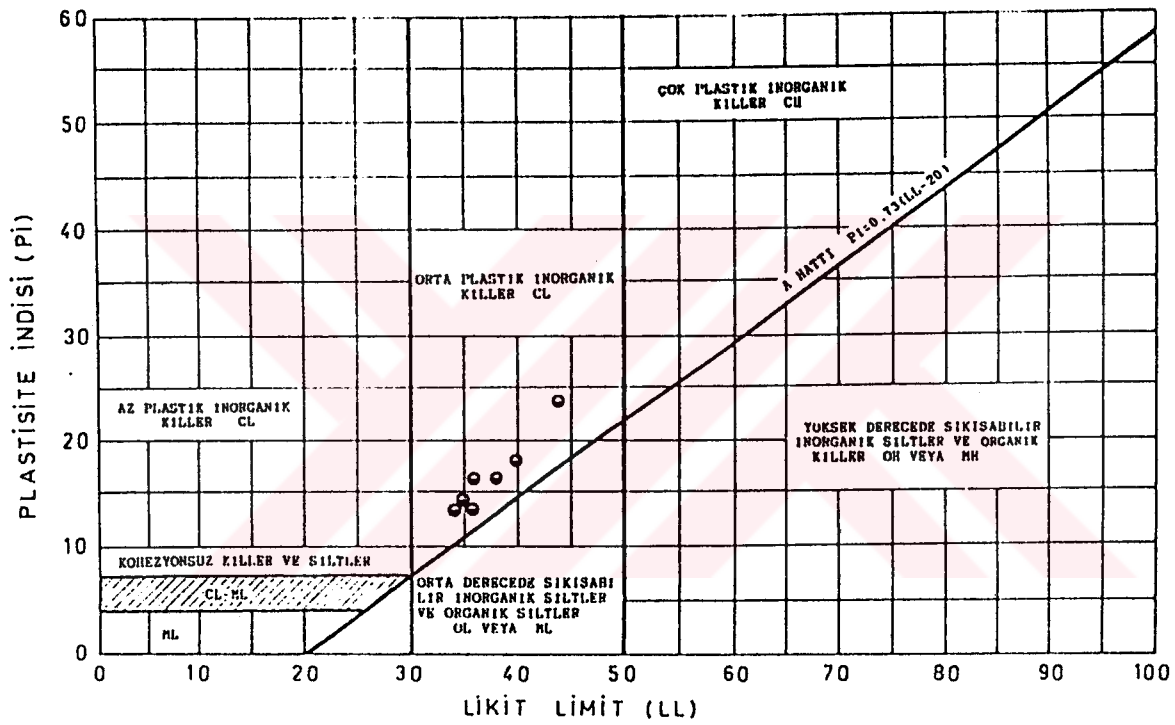
Çizelge 4.4. Devamı

Örnek no	Derinlik (H)	Organik madde	Kireç	Toplam çözülmüş tuz	Elektriksel iletkenlik	pH	KDK	Değişebilir kanyonlar			Özgül ağırlık (γ _s)	Kuru birim ağırlık (γ _k)	Doğal birim ağırlık (γ _n)	Doğal su içeriği (W)	Porozite (n)	Boşluk oranı (e)	Doğruluk yüzdesi (S)	Aktivite	Permeabilite (K)
								Na	K	Ca+Mg									
	m	%	%	%	EC25° µS/cm	-	meq/100gr	meq/100gr	meq/100gr	µm ³	µm ³	µm ³	%	%	%	%	%	cm/s	
AR ₁	0,25-1,40	0,52	7,2	0,065	1980	7,60	19,375	0,218	0,028	19,130	2,88	1,41	1,91	35	51	104	97	-	2,1.10 ⁻³
AR ₂	0,25-1,40	0,34	5,4	0,088	2916	7,55	15,562	0,087	0,078	15,397	2,87	1,37	1,79	31	52	109	82	-	0,8.10 ⁻²
AR ₃	0,30-1,50	1,12	4,6	0,072	2743	7,78	18,200	0,191	0,021	17,588	2,77	1,42	1,83	29	49	95	85	1,14	2,5.10 ⁻³
AR ₄	0,30-1,35	0,68	21,9	0,070	1965	7,55	15,321	0,059	0,051	15,211	2,74	1,46	1,86	27	51	88	84	4,0	4,3.10 ⁻³
AR ₅	0,20-1,50	1,32	2,4	0,075	2020	7,51	24,678	0,191	0,082	24,405	2,75	1,32	1,79	37	52	108	94	1,09	3,6.10 ⁻³
AR ₆	0,35-1,45	0,56	9,6	0,048	1860	7,61	15,625	0,155	0,022	15,448	2,76	1,44	1,81	27	48	92	81	4,33	7,9.10 ⁻³
BR ₁	0,25-1,40	0,70	5,2	0,068	1744	7,88	20,625	0,087	0,066	20,472	2,76	1,48	1,93	30	46	86	96	-	3,1.10 ⁻³
BR ₂	0,30-1,45	0,66	7,0	0,043	2290	7,78	26,562	0,218	0,085	26,260	2,74	1,41	1,86	30	48	94	93	1,06	6,3.10 ⁻³
BR ₃	0,25-1,50	0,88	37,5	0,049	1801	7,45	15,321	0,192	0,055	15,074	2,77	1,71	2,05	20	38	62	89	1,85	7,3.10 ⁻³
BR ₄	0,30-1,40	0,72	11,1	0,060	2061	7,75	13,750	0,188	0,041	13,522	2,75	1,52	1,86	22	45	81	75	1,75	6,0.10 ⁻³

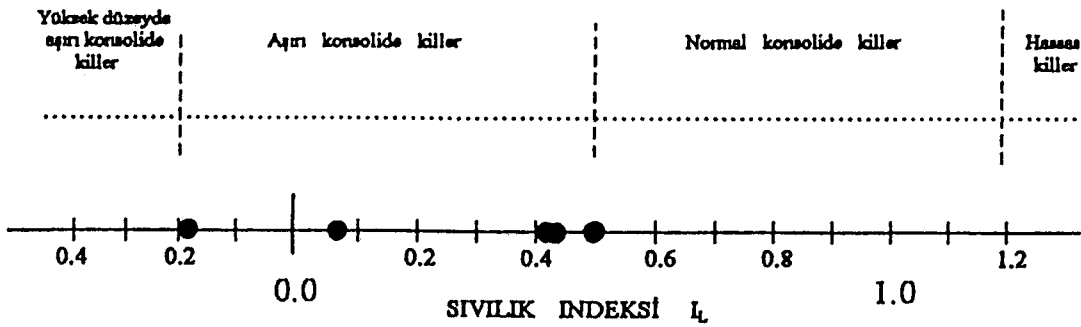


Şekil 4.34 A Rezervuar alanı materyallerinin dane dağılımı eğrileri

Büzülme limiti değerleri % 10,2-16,1 arasında (Çizelge 4.4) değişmektedir. Materyallerin Atterberg limitleri, kil çekirdek dolgusunda kullanılacak materyallerin Atterberg limitleriyle büyük oranda benzerlik göstermektedir (Çizelge 4.4) Kıvam indisi ve sıvılık indeksi değerlerinden (Çizelge 4.4) materyallerin plastik ve katı veya sert ve orta yumuşak durumda olduğu belirlenmiştir (Jumiks, 1966). Materyaller aynı zamanda Şekil 4.37' deki sıvılık indeksi abağına göre aşırı konsolide killer grubuna girmektedir (Rominger and Rutledge, 1952). Materyallerin kıvam indisi ile sıvılık indeksi değerlerinin, A ve B materyallerinin kıvam ve sıvılık indeksi değerlerinden bir miktar yüksek çıkması, rezervuar alanı materyallerinin doğal su içeriklerinin yüksekliğinden kaynaklanmaktadır.



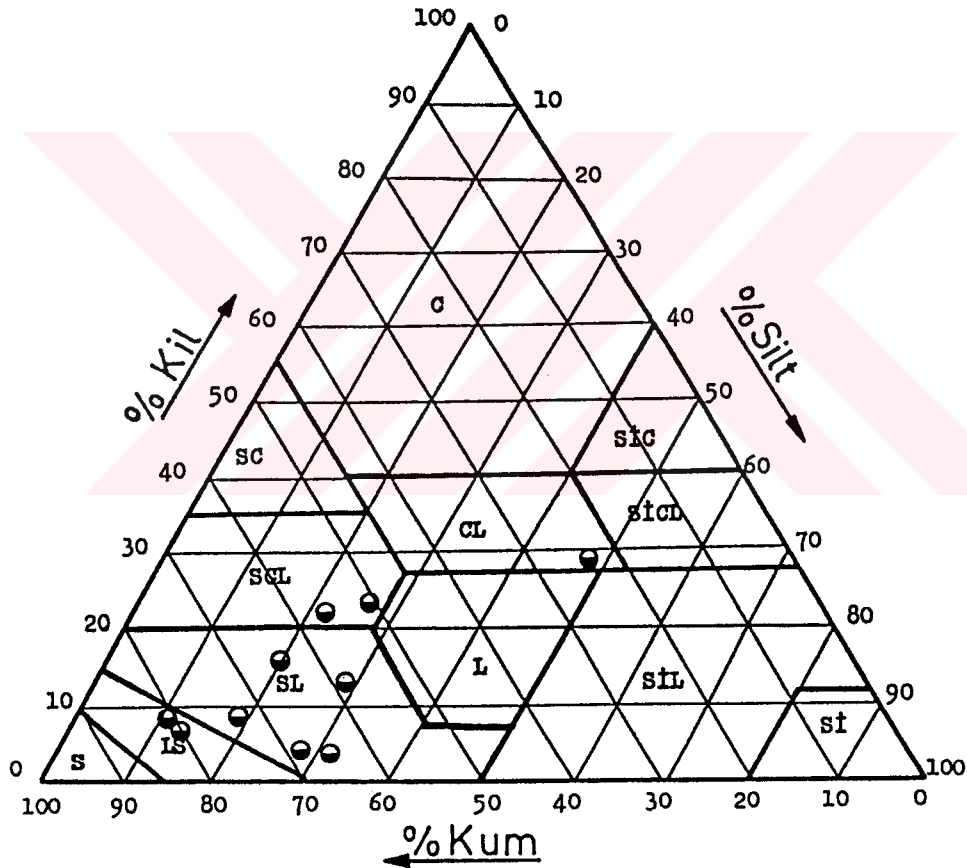
Şekil 4.36 Rezervuar alanı materyallerinin plastisite kartı üzerindeki dağılımları



Şekil 4.37 Rezervuar alanı materyallerinin sıvılık indeksi kartı üzerindeki dağılımları (Rominger and Rutledge, 1952; Means and Parcher, 1963).

Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre üç örneğin zemin sınıfı, plastik limit deneyi yapılamadığı için SM, iki örneğin SC-CL, bir örneğin SP-SC, bir örneğin SC, bir örneğin CL, iki örneğin zemin sınıfı ise GC olarak bulunmuştur. (Çizelge 4.4) SM ve GC sınıfı örnekleri hariç, diğer örneklerin zemin sınıfları, geçirimsiz kil çekirdek materyal sahaları örneklerinin zemin sınıflarıyla uyumludur.

Materyallerin toprak bünye sınıfları; SL, SCL, LS ve CL olarak bulunmuştur. Materyallerin toprak bünye sınıfları Şekil 4.38' de görülmektedir. Örneklerin birleştirilmiş zemin sınıfları ile bünye sınıfları uyumludur. (Ek 18) Aynı zamanda, bulunan bünye sınıfları ile, kil çekirdek materyalleri için bulunan bünye sınıfları uyumluluk göstermektedir.



Şekil 4.38 Rezervuar alanı materyallerinin üçgen sınıflama abağı üzerindeki dağılımları (Soil Survey Manual, USA).

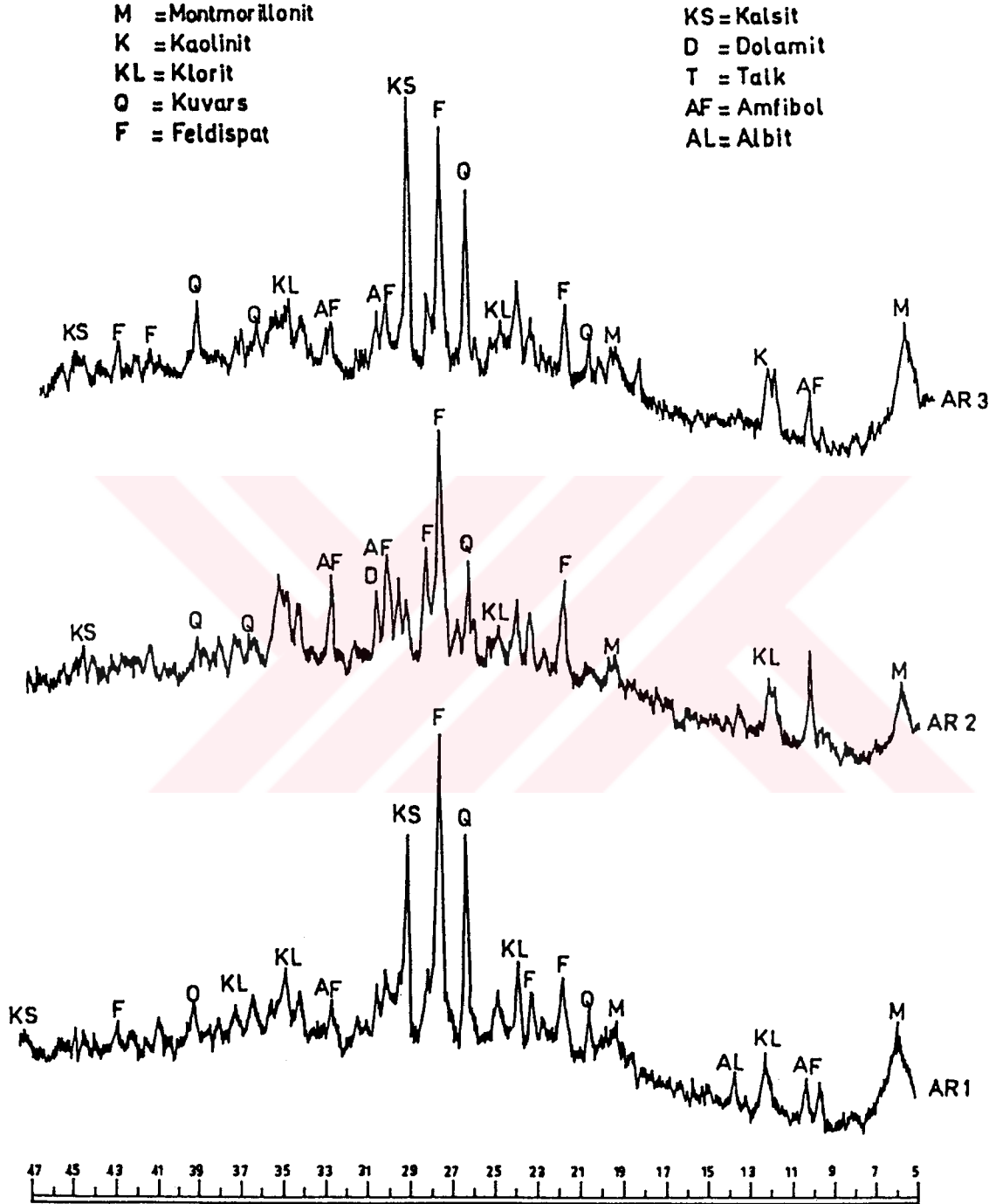
4.3.2. Materyallerin Mineralojik Özellikleri

Örneklerin x- ışını difraksiyonu analizlerinden hakim kil minerali olarak; sırasıyla montmorillonit, kaolinit ve klorit, primer mineral olarak; kuvars, feldispar, kalsit, albit, amfibol, dolomit ve talk olduğu görülmüştür. Örneklerin x- ışını difraktogramları Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de görülmektedir. Rezervuar alanı ile kil çekirdek alanı materyallerinin mineralojik yapıları benzerlik göstermektedir.

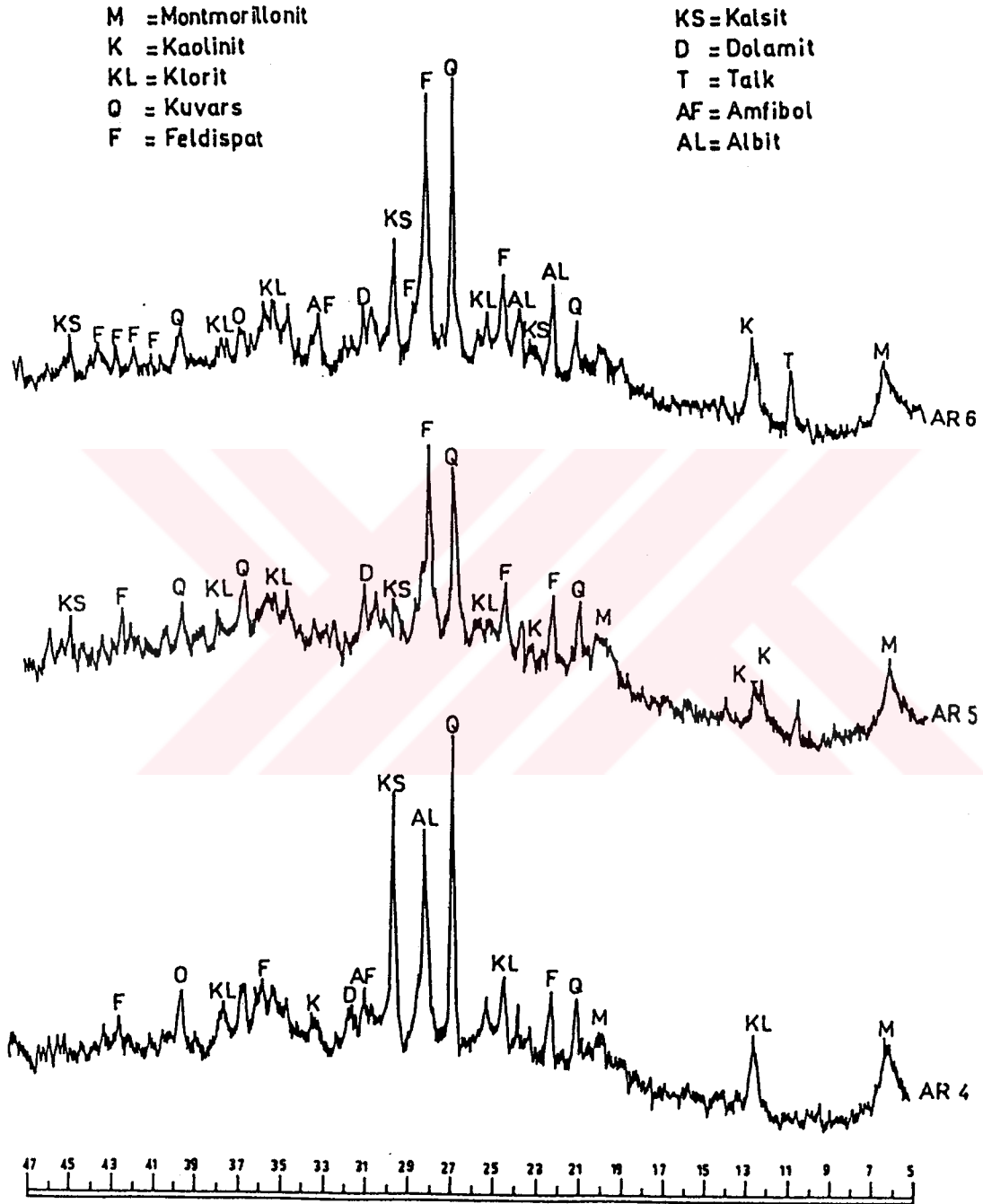
Kil kapsamı düşük örneklerin orta plastik özellik göstermesini hakim kil minerali olan montmorillonit sağlamaktadır (Holeman, 1965; Mitchell, 1976). AR₁ , AR₂ ve BR₂ nolu örneklerin sınıflandırma deney sonuçlarına bakıldığında, (Çizelge 4.4) hakim kil mineralinin ,zeminlerinin fiziksel özelliğini etkilemede tek başına belirleyici olmadığı görülmektedir (Ergene, 1972).

4.3.3. Materyallerin Kimyasal Özellikleri

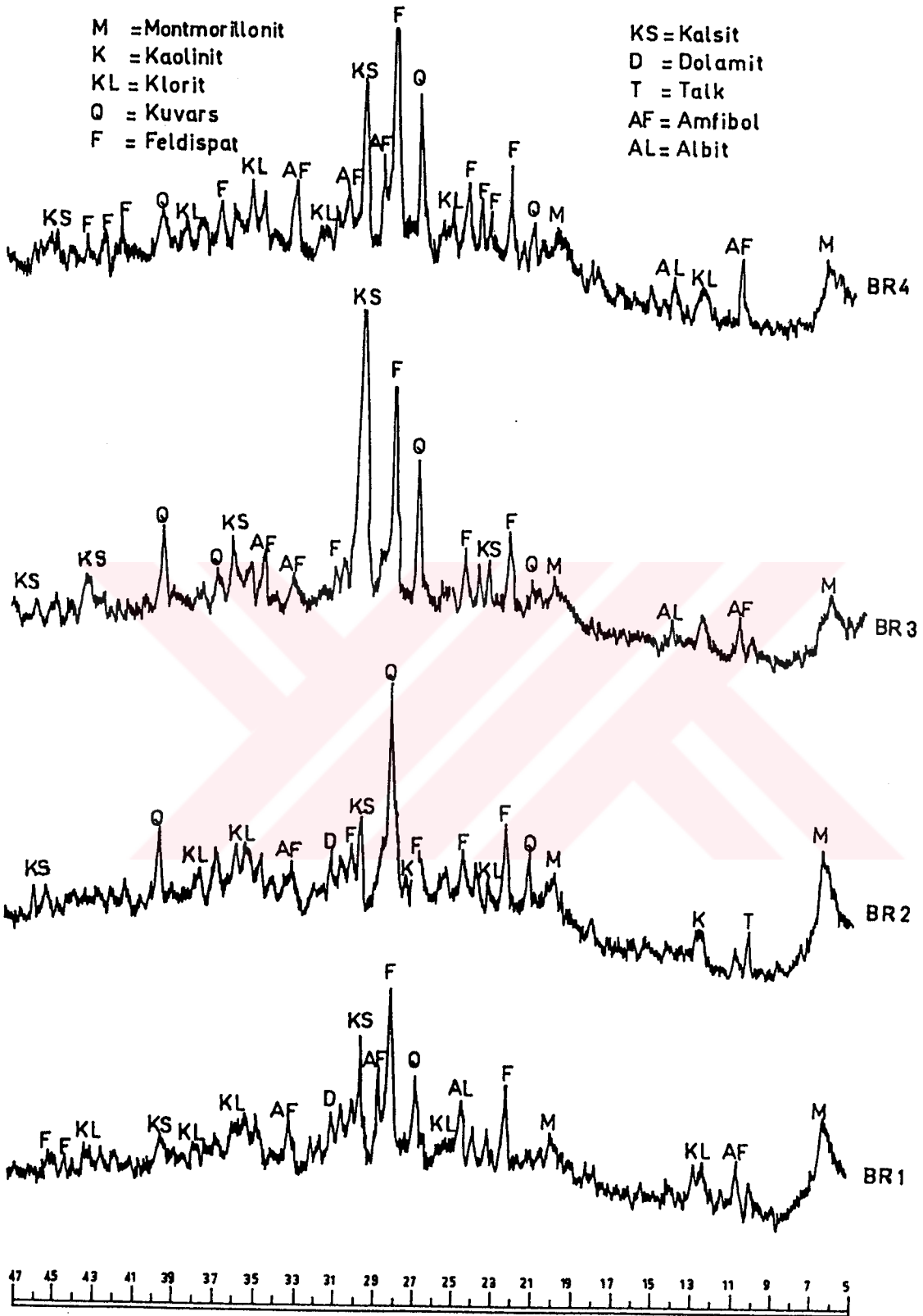
Materyallerin organik madde yüzdeleri % 0,34 - 1,32 arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.4). Bu değerlerden materyallerin organik madde oranının düşük (Bayraklı, 1986) ve Türkiye toprakları ortalaması civarında olduğu belirlenmiştir (Ergene, 1972). Serbest kireç oranı BR₃ nolu örnekte % 37,5 , BR₄'de % 11,1 , AR₄'de %21,9 diğer örneklerde % 2,4-9,6 arasında (Çizelge 4.4) değişmektedir. Serbest kireç oranları A ve B materyal sahaları kireç oranlarından bir miktar yüksektir. Örneklerin toplam çözülmüş tuz yüzdeleri % 0,043- 0,088 arasında, elektiriksel iletkenlikleri EC₂₅^o 1744-2916 µS/cm değerleri arasında bulunmuştur.(Çizelge 4.4) Bulunan toplam çözülmüş tuz yüzdeleri ve elektiriksel iletkenlik değerlerinden materyallerin tuzsuz olduğu anlaşılmaktadır (Tüzüner, 1990). pH değerleri 7,45-7,88 arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.4) Bu verilere göre materyallerin reaksiyonu hafif alkalidir (Tüzüner, 1990). Materyallerin katyon değişim kapasiteleri 13,75-26,562 meq/100gr arasında olduğu görülmektedir. (Çizelge 4.4) Örneklerin katyon değişim kapasiteleri artan silt+ kil oranına bağlı olarak yükselmiştir (Akalin ve Ünal, 1967; Banin and Amiel, 1970; Kaila, 1971). Katyon değişim kapasitesinin artmasına etki eden en önemli faktörlerden birisi de materyallerdeki hakim kil mineralinin montmorillonit olmasıdır (Grim, 1962; Chen, 1988). Değişebilir katyonlardan olan sodyum 0,059-0,218 meq/100gr, arasında, potasyum 0,021-0,085 meq/100gr, kalsyum + magnezyum 13,522-26,26 meq/100gr (Çizelge 4.4) arasında bulunmuştur. Materyallerin; organik madde, toplam çözülmüş tuz, elektiriksel iletkenlik, pH, katyon değişim kapasitesi ve değişebilir katyonlar verileri, A ve B materyal sahaları verileriyle uyumludur.



Şekil 4.39. AR₁, AR₂ ve AR₃ nolu örneklerin x-ışını difraktogramları (normal)



Şekil 4.40. A₄, AR₅ ve AR₆ nolu örneklerin x- ışını difraktogramları (normal)



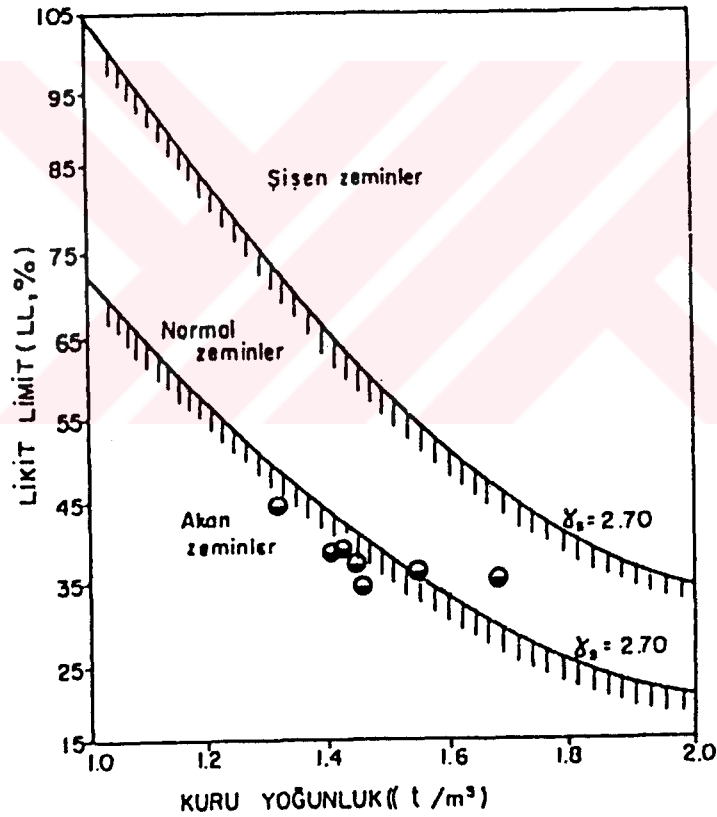
Şekil 4.41. B rezervuar alanı materyallerinin x-ışını difraktogramları (normal)

4.3.4. Materyallerin Bileşim ve Yapıya Bağlı Fiziksel Özellikleri

Materyallerin özgül ağırlık değerleri 2,74-2,88 arasında çıkmıştır. (Çizelge 4.4) Bu verilerin literatür (Lambe and Whitman, 1969; Ertan ve Ülkü, 1978) değerlerinin üst sınırında ve üzerinde olduğu görülmektedir. Bulunan değerler A ve B materyal sahası değerleri ile uyumludur.

Örneklerin yağ birim ağırlıkları $1,79-2,05 \text{ t/m}^3$ arasında, kuru birim ağırlıkların $1,32-1,71 \text{ t/m}^3$ arasında bulunmuştur (Çizelge 4.4). Doğal birim ağırlığı doğal su içeriğine bağlı olarak değişmektedir.

Materyallerin likit limit, kuru birim ağırlık ilişkisine bağlı olarak Şekil 4.42'de önerilen "Da Nilov Kartı"na göre akan zeminlerin üst sınırı ile normal zeminlerin başlangıç sınırı aralığında bulunduğu görülüyor.



Şekil 4.42 Rezervuar alanı materyallerinin likit limit-kuru yoğunluk ilişkisi (Holtz and Gibbs, 1956; Chen, 1975).

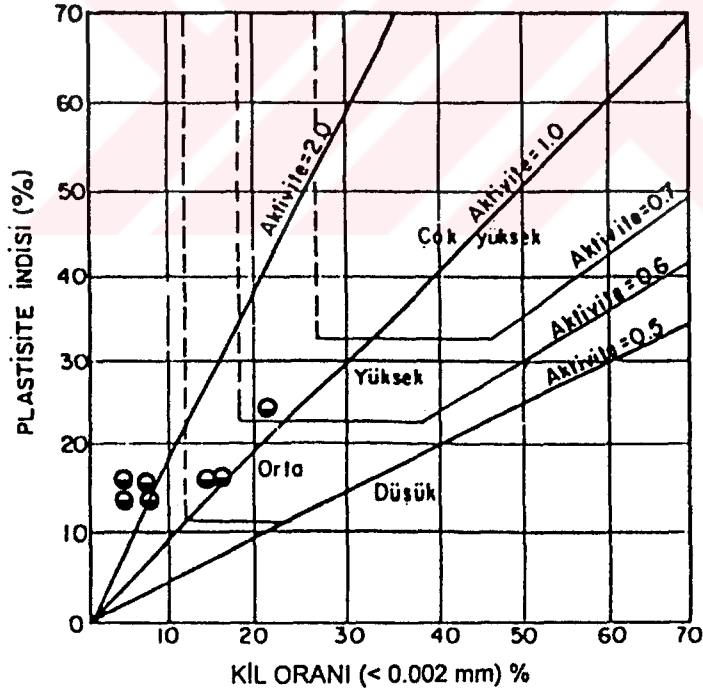
Doğal su içeriği değerleri % 20-35 arasında çıkmıştır (Çizelge 4.4). Bu değerler A ve B materyal sahası örneklerinin doğal su içeriği değerlerinden bir miktar yüksektir. Doğal su içeriğinin bir miktar yüksek bulunmasının nedeninin, tüm bozulmuş örneklerin kış mevsiminden önce (Kasım

ayında), bozulmamış örneklerin kış mevsiminden sonra (Nisan ayı başında) aktif zondan alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

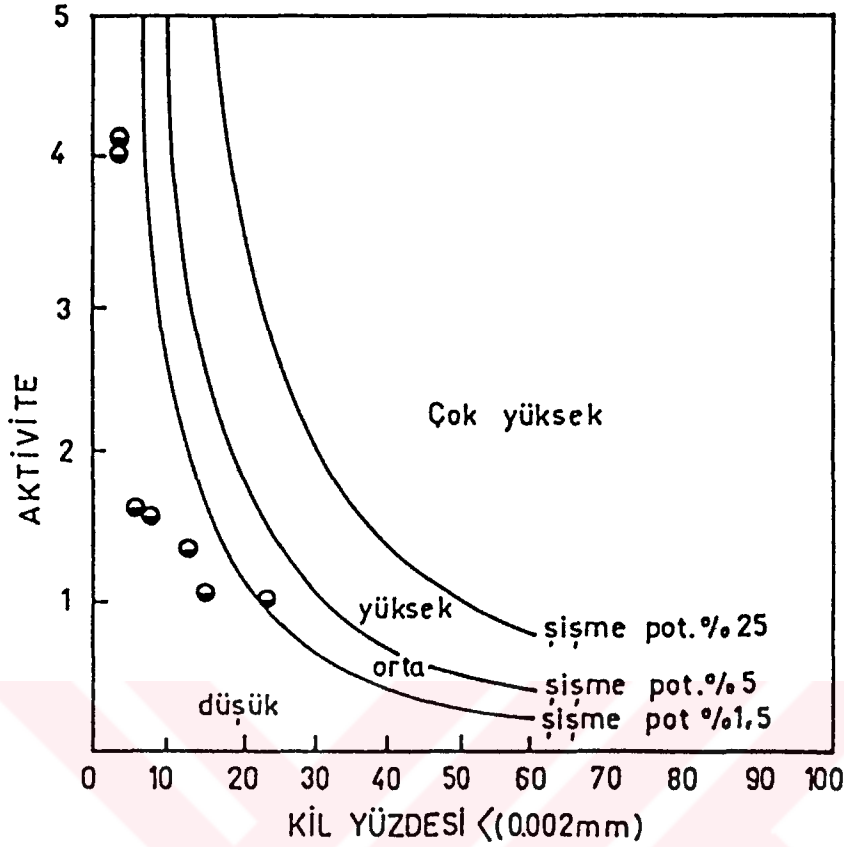
Porozite değerleri % 38-52 arasında, boşluk oranı değerleri % 62-109 arasında, doygunluk oranı % 75-97 arasında değişmektedir (Çizelge 4.4). Doygunluk derecesi, doğal su içeriğinin artmasına, boşluk oranının azalmasına bağlı olarak artış göstermektedir.

Materyallerin aktivite değerleri 1,06-4,33 arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.4) Bu değerlerden örneklerin aktif olduğu anlaşılmaktadır (Skempton, 1953; Gillot, 1958). Genellikle kil fraksiyonunun düşük olmasına rağmen materyallerin aktif olması hakim kil minerali olan montmorillonitten kaynaklanmaktadır. (Skempton, 1953; Gillot, 1958; Seed et al., 1962).

Örneklerin Şekil 4.43'de verilen plastisite indisi-kil yüzdesi ilişkisinden şişme potansiyeli düşük ve orta, Şekil 4.44'de verilen aktivite-kil yüzdesi abağındaki dağılımından ise düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.43 Rezervuar alanı materyallerinin aktivite abağı üzerindeki dağılımları
(Skempton, 1953; Gromko, 1974; Holtz and Kovacs, 1981)



Şekil 4.44 Rezervuar alanı materyallerinin şişme abağı üzerindeki dağılımları
(Seed et al., 1962)

Örneklerin; 200 nolu elekten geçen yüzdelerinden, likit limit, plastisite indisi, rötre limiti değerlerinden, birleştirilmiş zemin sınıflarının genellikle SC-CL olmasından, kuru birim ağırlığın $1,76 \text{ t/m}^3$ den düşük olmasından, zeminlerin kurak aylarda geniş büzülme çatlakları göstermemesinden, şişme potansiyelinin düşük-orta olarak bulunmasından materyallerin şişme özelliği göstermeyeceği anlaşılmaktadır (Holtz and Gibbs, 1956; Seed et al., 1962; Peck et al., 1974; Wayne vd., 1984; Chen, 1988; Acar, 1994). Şişme potansiyeli açısından A ve B materyalleri ile benzerlik göstermektedir.

4.3.5. Materyallerin Mühendislik Özellikleri

Gölet rezervuar sahasının seçiminde; zeminin geçirgenliği, taban suyu derinliği, ana kayaya veya sızmaya müsade eden diğer elverişsiz materyallere kadar olan derinlik ve toprak eğimi dikkate alınır (Dizdar, 1982). Amerika Birleşik Devletleri'nde yayımlanmış bazı toprak etütlerindeki bu kullanım ile ilgili yorumlardan anlaşıldığına göre; gölet rezervuar sahası olarak uygun kabul edilen topraklar; derin, tından kile kadar değişen bünyeli veya kaba bünyeli olup da tın yahut kil ara tabakalı, orta yavaştan çok yavaşa kadar değişen geçirgenliğe sahip, yetersiz veya kötü drenajlı

olması, taban suyunun da 1,20m'den daha derinde olması arzu edilir. Orta kullanım özelliğe sahip topraklarda; bünye geçirgen kilden kuma kadar değişebilir, drenajı iyi olabilir, topraklar derindir ve bir miktar sızma görülebilir (Dizdar, 1982).

Rezervuar alanı topraklarının tekstürü; tınlı kum, kumlu tın, kumlu killi tın ve killi tın olarak tayin edilmiştir. (Çizelge 4.4) Permeabilite değerleri ise $0,8.10^{-2}$ - $3,6.10^{-5}$ arasında bulunmuştur. (Çizelge 4.4). Buradan, rezervuar alanının 1,40 m derinliğindeki zonun orta ve az geçirimli olduğu görülmektedir. Silt ve kil oranının artışına bağlı olarak geçirimsizlik azalmaktadır. 1,40m'den ana kayaya kadar olan 3-4 m'lik birikinti konisinden, 5-6 m'lik yamaç molozu katmanlarından ve kırmızı renkli konglomera katmanları üst seviyelerinde yüzeylenen kum taşı, kil taşı birimlerinden derinlere inildikçe sıkışmanın artışından dolayı geçirimsizliğin daha da azalacağı söylenebilir (Talsma and Flint, 1958). 100-150 m genişliğinde ve 6-8m kalınlığındaki alüvyon geçirimli ve penetrasyon deneyi sonuçlarına göre orta sıklıktadır (DSİ, 1991). Alüvyondan, birikinti konisinden ve yamaç molozundan sonra ana kaya olan konglomera yer almaktadır. Temel sondajlarında yapılan basınçlı su deney sonuçlarına göre konglomera biriminin su tutma yönünden güvenilir olduğu belirlenmiştir (DSİ, 1991). Ancak baraj temelinden alınan kırmızı renkli konglomera birimi içerisinde bazı kısımlarda danecikler halinde jips oluşumuna rastlanması (DSİ, 1991) dikkate alınması gereken bir husus olarak görülmelidir.

Yeraltı su seviyesi alüvyonda 0,61-1,70 m sağ ve sol sahillerde 19,00 m kadar çıkmaktadır (DSİ, 1991). Toprak profilinde veya yüzeyde istenmeyen taşlılık olmadığı gibi pek kayalık da bulunmamaktadır (Dizdar, 1982).

Rezervuar alanının çok büyük bir kısmı tarım arazisi olarak halen kullanılmaktadır. Rezervuar alanının sol kolununun sol kısmında arazi eğimi % 6-10 arasında (tamamı tarım arazisi), sağ kısmının eğimi % 10-20 arasında (çok büyük bir kısmı tarım arazisi), sağ kolunun sağ kısmının eğimi % 12-17 arasında (tamamı tarım arazisi), sol kısmının eğimi % 10-20 arasında (yarısı tarım arazisi), her iki kolun kesim kısmında dar bir bölgede (burunda) eğim % 30 civarında (tarım arazisi değil) bulunmuştur (DSİ, 1991).

Rezervuar alanının geçirimsizliği; yeterli toprak derinliği, yeraltı su seviyesi derinliği, toprak eğimi açısından bakıldığında uygun olduğu söylenebilir (Dizdar, 1982). Ancak materyal olarak yerleri, alttaki kayacın türü ve özelliği saptanmadan menba tarafında seçilmemelidir (Tarhan, 1996). Devlet Su İşleri sadece baraj temelindeki kayacın türü ve özelliğini belirlemiştir. Rezervuar alanında alttaki kayacın türü ve özelliği belirlenmemiş, baraj temelindeki kayaca göre yorumlanmıştır. Materyallerin alınacağı bölgenin tabanındaki geçirimsizliğin güvenli belirlenmesi için; alttaki kayacın türü, erime boşluklu olup olmadığı vs. belirlenmeli ve geçirimsizlik testleri yapılmalıdır.

Güzelce barajının bulunduğu Güzelce deresinde sürüntü maddesi ölçümleri yapılmadığından, rüsubat hesapları Japon İnşaat Bakanlığınca geliştirilen ampirik formül yardımıyla hesaplanmıştır. Sürüntü maddeleri ile 50 yılda oluşacak toplam ölü hacim $1,44 \text{ hm}^3$ olarak bulunmuştur (DSİ, 1991).

4.3.6 Rezervuar Alanı Materyallerinin Kil Fraksiyonu ve Mineralojisinin Mühendislik Davranışlara Etkisi

Materyallerin artan kil oranına bağlı olarak; likit limit, plastik limit, plastisite indisi, doğal su içeriği, katyon değişim kapasitesi değerlerinin yükseldiği, permeabilite değerinin ise azaldığı (Çizelge 4.4) belirlenmiştir (Sowers, 1965; Banin and Amiel, 1970; Mitchell, 1976; Chen, 1988). Bazı materyellerin kil oranı düşük (% 4) olmasına rağmen likit limit değerlerinin % 34'ün üzerinde olmasını, dolayısıyla plastikliğin düşükten ortaya doğru ve orta derecede olmasını hakim kil minareli olan montmorillonit etkilemiştir (Grim, 1962; Lambe and Whitman, 1969; Harr, 1975). Büzülme limiti değerlerinin % 10,2-16,1 arasında çıkması hakim kil minerallerinden ikincisi olan kaolinitten kaynaklandığı düşünülmektedir (Harr, 1975).

Materyallerdeki kil oranının düşük olmasına rağmen, aktivite değerlerinin yüksek, şişme potansiyelinin de düşük ve orta değerlerde bulunmasının nedeni; hakim kil minareli olan montmorillonit olmasıdır (Holtz and Gibbs, 1956; Seed et al., 1962; Lambe and Whitman, 1969; Peck et al., 1974; Chen, 1978).

Örneklerdeki düşük kil oranına rağmen katyon değişim (KDK) oranının 13,75-26, 562 meq/100 gr arasında bulunmasını, yine hakim kil minareli olan montmorillonit etkilemiştir (Grim, 1962; Chen, 1988).

Bazı örneklerde, özgül ağırlık değerlerinin literatür değerlerinden bir miktar yüksek çıkmasını, kil minarelerinden ziyade pirimer minarellerin etkilediği düşünülmektedir. Zeminde % 5 oranında bulunan montmorillonit kili, toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı üzerine, yüksek oranlarda bulunan diğer killerde daha fazla etkili olduğu, tek başına kil miktarının fiziksel ve kimyasal yapıyı etkilemede belirleyici olmadığı görülmektedir (Ergene, 1972).

Örneklerin likit limit, plastisite indisi, katyon değişim kapasitesi vb. değerlerin, düşük oranda olmasına rağmen organik maddenin katkısı olduğu düşünülebilir (Akalın ve Ünal, 1967; Tuncer ve Birand, 1978; Çinicioğlu ve ark., 1991).

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Kil Çekirdek Dolgusu

A ve B geçirimsiz materyal sahalarından en fazla 1,50m derinliğe kadar olan kısımlardan alınan örnekler üzerinde yapılan minerolojik analiz sonuçlarına göre hakim kil minarellerinin sırası ile montmorillonit; kaolinit ve klorit, primer minerallerin de sırası ile; feldispar, kalsit kuvars amfibol, albit, dolomit ve talk olduğu saptanmıştır.

Elek ve hidrometrik analiz sonuçlarına göre materyaller; çakıl, kum, silt ve kilden oluşan, genelde kötü derecelenmiş, kil ve silt oranı yüksek olmayan iri daneli zeminlerdir.

Atterberg limitleri değerlerine göre kil oranı yüksek olan örneklerin likit limit, ve plastisite indisi değerlerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Kil fraksiyonu düşük olduğu halde likit limit değerlerinin % 31-35, plastik limit değerlerinin % 18-20 arasında olması hakim kil minareli olan montmorillonitten kaynaklanmıştır. Materyaller; katı, katı ve plastik limit sınırında olup, aşırı konsolide killer grubundadır.

Birleştirilmiş zemin sınıfları; SC, SC-CL, CL, bünye sınıfı SL,SCL ve L olarak bulunmuştur. Aynı zamanda materyaller alçaktan orta plastiğe giden inorganik siltli, kumlu, çakıllı, yağsız killer grubundadır.

Araştırma alanı materyalleri, az miktarda (% 1) organik madde, düşük oranda (% 5-6) kireç içermektedirler. Materyaller tuzsuz olup reaksiyonları hafif alkalidir. Düşük kil miktarına rağmen katyon değişim kapasitesinin 12,65 - 29,32 meq/ 100 gr arasında bulunmasını, hakim kil minareli olan montmorillonit etkilemiştir.

Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre materyallerin kil çekirdekte kullanıma derece SC sınıfı için 2, CL sınıfı için 3' dür.

Materyaller geçirimsiz ve çok az geçirimliliğe sahip olup, kil oranı arttıkça maksimum kuru birim ağırlık ve kayma dayanımı azalmaktadır. Maksimum sıklığı sağlamada önemli olan optimum su içeriği % 16,26, doğal su içeriği de % 20,60 bulunmuş olup, değerler birbirlerine yakınlık arz etmektedir.

Maksimum kuru birim ağırlık, likit limit, plastisite indisi idael değerlere yakın ve ideall değerlerde bulunmuştur.

Boşluk oranı ve porozite, iri dane oranının azalması, dolayısıyla ince danelerin artmasıyla artış göstermektedir.

Materyallerin düşük kil oranına rağmen, aktivite değerlerinin yüksek çıkmasını, şişme potansiyelinin düşük ve orta değerde olmasını, hakim kil minareli olan montmorillonit etkilemiştir.

Materyaller şişme ve dispersif özellik taşımamaktadır.

Araştırma alanı zeminleri bileşiminin mühendislik davranışlarına etkisi açısından incelendiğinde, bileşimin mühendislik davranışlarını büyük ölçüde etkilediği görülmüştür.

Dolgu esnasında materyal sıkıntısı çekilirse, BR₂ örneğinin çevresinde materyal alınabilir. BR₂ örneği üzerinde yapılan; konsolidasyon, proctor ($\gamma_{max} = 1,690 \text{ t/m}^3$ Wopt= 21,1), permeabilite ($9,6 \cdot 10^{-8} \text{ cm/sn}$) ve kayma dayanımı ($C = 1,55$, $\phi = 17,5$) deneyleri sonucu uygun özellik taşıdığı görülmüştür.

Materyal sahaları çok homojen bir yapı göstermesine rağmen, yine de kazı çalışması esnasında sürpriz materyallerle karşılaşılacağı dikkatten uzak tutulmamalıdır. Devlet Su İşleri genellikle materyal sahalarından aldığı her örnek yerine seçilen birkaç örnek üzerinde permeabilite, kayma ve konsolidasyon vb. deneyleri yapmaktadır. Materyallerin mühendislik özelliklerinin daha güvenilir olması için anılan bu deneylerin her bir örnek üzerinde yapılması faydalı olacaktır.

Devlet Su İşleri yaptığı deneylere, materyallerin mühendislik davranışlarıyla çeşitli özelliklerinin belirlenmesinde yeterli güvenilirliğin sağlanması için özellikle kil mineralleri tayini ve dispersibilite deneylerini de ilave etmesi gerekmektedir.

5.2. Kapama Seddesi Dolgusu

Kapama seddesi dolgusunun az olması, seddeye yakınlığı ve ekonomik olmasından dolayı B₃, B₄, B₅ nolu kuyuların çevresi materyal sahası için uygundur. B₃, B₄ ve B₅ örnekleri, kil çekirdek dolgu materyallerinin tüm deney ve analiz sonuçlarını tipik olarak yansıtmaktadır.

Materyallerin zemin sınıflamasına göre, homojen kapama seddesinde kullanma dereceleri SC sınıfı için 3, CL sınıfı için 5' dir.

İhtiyaç duyulduğunda, kapama seddesine yakın olan BR₂ nolu kuyu ve civarı materyal sahası olarak kullanılabilir. BR₂ nin zemin sınıfı SC-CL'dir.Yapılan proctor, kayma ve permeabilite parametrelerine göre kullanılması uygundur. Adı geçen materyaller dolguda güvenle kullanılabilir.

Devlet Su İşlerince belirlenen % 2 oturma payı uygundur.

5.3. Rezervuar Alanı Zeminleri

Elek ve hidrometrik analiz sonuçlarına göre materyaller; çakıl, kum, silt ve kilden oluşan kötü derecelenmiş, kil oranı yer yer yok denecek kadar düşük olan iri daneli zeminlerdir. Kıvam limitlerine göre 3 örnek plastik olmayıp, diğerleri düşük-orta ve orta plastik olarak bulunmuştur.

Birleştirilmiş zemin sınıflarına göre materyallerin sınıfları SM, SC, SC-CL, GC, CL ve SP-SC, bünye sınıfları ise SL, SCL, LS ve CL'dir.

Geçirimsiz materyallerde olduğu gibi kil fraksiyonunun artışına paralel olarak likit limit, plastik limit, plastisite indisi artmaktadır. Düşük kil oranına rağmen örneklerin orta plastik özellik göstermesi, aktivite değerlerinin yüksek çıkması hakim kil minareli olan montmorillonitten kaynaklanmaktadır.

Organik madde oranı çok düşük (% 0.75), kireç oranı 2 örnekte yüksek 1 örnekte orta, diğerlerinde ortalama % 5 - 6 civarındadır.

Materyaller tuzsuz olup, reaksiyon hafif alkalidir. Düşük kil oranına karşı, katyon değişim kapasitesinin ortalama 18.50 meq/100 gr olmasını montmorillonit etkilemektedir.

Materyallerin mineralojik özellikleri kil çekirdek dolgu materyal sahaları ile benzerdir.

Kil çekirdek dolguda kullanılacak geçirimsiz materyaller de rezervuar alanından alınacağından, geçirimsiz materyal örnekleri üzerinde yapılan deney ve analizler aynı zamanda rezervuar alanının özelliklerini de yansıtmaktadır. Geçirimsiz materyaller ile, rezervuar alanı zeminlerinin benzer tüm deney ve analiz sonuçlarının uyumlu olması, rezervuar alanı deney ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini artırmaktadır.

Materyaller orta ve az geçirimlidir. Derinlere inildikçe sıkışma artacağından, geçirimsizliğin azalacağı düşünülmektedir.

Rezervuar alanının; yamaç molozu, birikinti konisi, kumtaşı-kiltaşı ve alüvyonun altında bulunan konglomera su tutma ve duyarlılık yönünden güvenlidir. Gerekli toprak kalınlığı yanında yeraltı su seviyesinde yeterli derinliktedir. Rezervuar yüzey alanının eğimi fazla değildir. Bu veriler ışığında rezervuar yeri, su tutma ve depolama açısından uygun olduğu gözükse de sağlıklı sonuca varmak için mutlaka geçirimsiz materyallerin alınacağı derinliklerde (3.5 - 4.5m) geçirimsizlik testleri yapılmalıdır.

Her ne kadar ana kayayı oluşturan kırmızı renkli konglomera su tutma yönünden güvenilir olduğu belirtilmekte ise de, konglomeranın bazı kısımlarında danecikler halinde jips oluşumuna rastlanması su kaçağına neden olabileceğini düşündürmektedir. Konglomeranın su kaçağına neden olup olmayacağı mutlaka araştırılmalıdır.

Rezervuar alanına gelecek sürüntü maddesinin miktarını azaltmak için (Özümzüyer, 1992);

- Derelerde ıslah sekisi, sel kapanları yapılmalı
- Orman tahribi önlenmeli
- Rezervuar alanının sol kısmındaki bozuk orman alanları ağaçlandırılmalı
- Havzadaki dere kenarlarına, kenar erozyonunu önlemek için söğüt veya kavak dikilmeli
- Baraj gölünün etrafında en az 50 m. genişliğinde devamlı koruyucu orman örtüsü şeridi oluşturulmalı
- Eğimi %8 'e kadar olan tarım arazilerinde toprak işleme tesviye eğrilerine paralel yapılmalı
- %8 eğimden sonra arazide teraslama yapılmalı
- %10 'dan daha fazla eğimli yerlerde tarım yaptırılmayıp koruma tedbirleri alınmalı
- Ekimde, münavebeli ekim, derin köklü bitki ekimi vb. tedbirler alınmalı
- Toprağın organik madde oranını artırmak için; tarım alanlarına hayvan gübresi, saman, ot atılmalı ve anız yakılmamalı
- Su yolları ot ve vejetasyonla devamlı örtülü bulundurulmalı
- Oyuntu oluşması, enine kuru taş duvar örülerek ve otlandırılarak önlenmeli
- Erozyon kültürü, çevre köylüye ve baraj güvenliğini sağlayacak personele verilmelidir.

Sonuç olarak; materyallerdeki hakim kil minerali olan montmorillonitin şişmesi ile kayma dayanımının düşeceği, fazla su adsorbe etmesinden dolayı konsolidasyonun dolayısıyla oturmanın artacağı, geçirimsizliğin azalacağı, kompaksiyonun pek etkilenmeyeceği anlaşılmaktadır. Aynı zamanda toprak dolgu baraj ve göletlerde kullanılacak montmorillonit içerikli şişme özelliği gösteren materyallerde (yüksek pilastisiteden dolayı işleme güçlüğü yoksa) farklı oturma, deprem vb. etkiler sonucu gövdede oluşacak göçme anında materyalin şişerek çatlağı kapama özelliğinin çok önemli bir avantaj olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ACAR; C., 1994.** Killi Zeminlerin Şişme Davranışına Ön Yükleminin Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- ACCİARDİ, R., 1982.** Quantification of Pinhole Test Equipment Hydraulic Characteristics. Engineering and Research Center, Bureau of Reclamation, Report No, REC-ERC-82-15, Denver, Colorado.
- AITCHISON, C.D., WOOD, C.C., 1965.** Some Interactions of Compaction, Permeability and Post-Construction Deflocculation Affecting the Probability of Piping Failure in Small Earth Dams. Proc., Sixth International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, II, 442-446, Montreal.
- AKALIN, İ., ÜNAL, H., 1967.** The Organic Matter Contents of Some Typical Soil Groups of Turkey and Their Effects on Cation Exchange Capacity. Yearbook Fac. Agric. Uni., 12-19, Ankara.
- AKALIN, İ., 1973.** Toprak Fiziği. Ank.Üni. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın no : 527, Ders Kitabı No: 172, Ankara.
- ALPAN, B., 1973.** Toprak Barajlarda Kullanılan Çekirdek Malzemesi Etüdü. IV. Bilim Kongresi, Ankara.
- ANDERSLAND, B.O., AL-KHAFAJI, W, N, ABDUL-AMİR., 1980.** Organic Material and Soil Compressibility. Journal of the Geotechnical Engineering Division, 106, 749-758.
- ARMAN, A., 1970.** Engineering Classification of Organic Soils. Highway Research Record No:310, National Academy of Sciences, N.A.E., 75-89, Washington.
- ASTM, D.422., 1966.** Book of ASTM Standards. Part 10, Concrete and Mineral Aggregates, C127: Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregates, p. 50-51.
- ASTM, 152.H., 1966.** Book of ASTM Standard. Part 11 Bituminous Materials for Highway Construction, Waterproofing and Roofing; Soil., Shid Resistance Am. Soc. Testing Mater., ASTM Std. P.824.
- ASTM D4221., 1983.** Standart Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer . Annual Book of ASTM Standards V.04.08, 566-667.
- ASTM D 4647., 1987.** Standart Test Method for Identification and Classification of Dispersive Clay Soils by the Pinhole Test. Annual Book of ASTM Standards, V. 04. 08, 858-867.
- ATTERBERG, A., 1911.** Die Plastizität der Tone. Intern. Mitt. Bodenk., 2,149-189
- ATTERBERG, A., 1912.** Die Konsistenz und die Bindigkeit der Boder. Intern. Mitt, Bodenk. 2, 149-189.
- BADGER, W. W., LOHNES, R.A., 1973.** Pore Structure of Friable Loes. Highway Research Record, 429,14-23.
- BAGCHİ, A., 1990.** Design Construction and Monitoring of Sanitary Landfill. John Wiley and Sons.
- BANIN, A., AMIEL, 1970.** A Correlative Study of the Chemical and Physical Properties of a Group of Naturel Soil of Israel. Geoderma, 3, 185-198.

- BARDEN, L., SİDES, G.R., 1970.** Engineering Behavior and Structure of Compacted Clay. J. Soil Mech. Found. Di Div Proc. ASCE, 96, No: SM4, 1171-1200.
- BAYKAL, H., 1988.** Beydağ Barajının Mühendislik Jeolojisi ve Temel Alüvyon Geçirimsizliğinin Araştırılması., 9 Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi İzmir.
- BAYRAKLI, F., 1986.** Toprak ve Bitki Analizleri. 19 Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Samsun.
- BELL, F.G., 1993.** Engineering Geology. Blackwell Scientific Publ., Oxford, P.302
- BİLGİÇ, K., 1987.** Göletlerde Kullanılan Dolgu Malzemelerinin Mühendislik Özellikleri. Köy Hizmetleri Gen. Müd. Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, 108, Ankara.
- BİRAND, A.A., 1965.** Killi Zeminlerin Şişme Potansiyellerinin Teorik ve Pratik Yönden İncelenmesi. O.D.T.Ü. Müh. Fak. Yayını, Yayın No: 9, Ankara.
- BİRAND, A.A., ÇOKÇA, E., 1991.** Metilen Mavisini Deneyi İle Killerin Yüzey Alanının Tespiti. V. Ulusal Kil Sempozyumu, 159-161, Eskişehir.
- BISHOP, A.W., HENKEL, D.J., 1962.** The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Edward Arnold (Publishers) Ltd., London.
- BISHOP, A.W., 1963.** Ders Notları. Imperial College, London.
- BRACKLEY, I, J.A., 1975.** Swell Under Load. 6.th Regional Conference for Africa on Soil Mechanics and Found. Eng. Vol. 2, pp. 65-70, Durban.
- BRINDLEY, G.W., 1951.** X-Ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals. Mineralogy Soc. 345, London.
- BRUCE, R.R., 1955.** An Instrument for the Determination of Soil Compactibility. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 19, 253-257.
- CAN, H., 1983.** Ankara Yıldız İmar Planı Kapsamındaki Zeminlerin Minerolojik Özelliklerinin Mühendislik Davranışlarına Etkisi. A.Ü.Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara.
- CARROL, D., 1970.** Clay Minerals: A Guide to Their X-Ray Identification. Geological Society of America, 80p, ODTÜ Kütüphanesi QE 389.625.C36, Ankara.
- CHEN, F.H., 1965.** The Use of Piers to Prevent the Uplifting of Lightly Loaded Structures Founded on Expansive Soils, Engineering Effects of Moisture Changes in Soils Concluding Proceedings International Research and Engineering Conference on Expansive Clay Soils. Texas A and M Press.
- CHEN, F.H., 1975.** Foundations on Expansive Soils. Elsevier Scientific Publishing Company.
- CHEN, F.H., 1988.** Foundations on Expansive Soils. Elsevier, P 463, New York.
- CRAFT, D., 1986.** The Application of Multivariate Statistics and Saturation Extract Data to Identify Dispersive Clay Soils. Geotechnical Lesting Journal, 6 TJODJ, V.9, March, 34-37.
- ÇAĞLAR, K.O., 1958.** Toprak İlimi. Ankara Üniversitesi Zir.Fak. Yayınları No:10, Ankara.
- ÇİNCİOĞLU, Ö.F., SİYAHİ, G.M., ÜNAL, Y.G., 1991.** Organik İçerikli Kil Davranışı.V. Kil Sempozyumu, Eskişehir.

- DANIEL, T.N., DECKER, R.S., 1979.** Dispersive Soil Problem at Los Esteros Dam. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105, No:GT9, 1017-1030.
- DAVIDSON, D.T., SHEELER, J.B., 1960.** Cation-Exchange Capacity of Loess and its Relation to Engineering Properties. Iowa State University, Bulletin, 21, 96-118.
- DEMİRBAŞ, S., 1978.** Mühendislik Yönünden Toprakların İndeks Özellikleri. Topraksu Yayınları No: 59, Topraksu Teknik Yayınları No:30, Ankara.
- DEMİRBAŞ, S., 1988.** Şevlerin Dengesi. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- DİZDAR, M.Y., 1982.** Toprak Etütlerinin Mühendislik Kullanımları İçin Yorumlanması. Topraksu Yayınları No: 701. Ankara.
- DOMINY, F., 1960.** Design of Small Dams. First Edition, England.
- DÖNMEZER, H., 1974.** Teorik ve Pratik Zemin Mekaniği. İDMMA Yayınları, 1-68, İstanbul.
- DURAK, A., 1989.** Türkiye Genel Toprak Haritasının Toprak Taksonomisine Göre Düzenlenebilir Olanaklarının Tokat Bölge Örneğinde Araştırılması. Ç.Ü. Fen.Bil.Ens.Doktora Tezi, Adana.
- DURAK, A., TOPBAŞ, M. T., KILIÇ, K., 1996.** Mineroloji ve Petrografi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No:9, Tokat.
- DÜZCEER, R., 1984.** An Investigation on Internal Erosion Phenomenon in Earth Dams. ODTÜ Fen Bilim.Ens., İnşaat Müh., Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- DSİ, 1991.** Güzelce Barajı Planlama Raporu. DSİ VII. Bölge Müdürlüğü, Samsun.
- ERGENE, D., 1972.** Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 12, Ders Kitapları Sersisi No: 9, Erzurum.
- ERGUVANLI, K., 1982.** Mühendislik Jeolojisi. İTÜ Yayını, İstanbul.
- ERKEK, C., AGIRALIOĞLU, N., 1986.** Su Kaynakları Mühendisliği. Matbaa Teknisyenleri Basım Evi, 250-270, İstanbul.
- EROL, O., DHOWIAN, A., YOUSSEF, A., 1989.** A Comparative Study on Observed and Predicted Heave. Journal of KSU, Vol. 1, No: 3, Eng.Sci., pp. 39-52.
- ERTAN, Y., ÜLKÜ, S., 1978.** Zemin Özellikleri ve Deneyleri I. DSİ Gen. Müd.Genel Yayın No: 871, Ankara
- FORBES, P.J., CHASE, A.Ş., BİRREL, J., 1980.** Control of Dispersion in the Minjoli Dam. Water Power Dam Construction, 32, 12, 23-28.
- FREDLUND, D.G., RAHARDJO, H., 1991.** Stress State Variable Approach to the Prediction of Heave, International Workshop on Cornell Univ. Ithaca, New York.
- FREE, G.G., 1947.** Compactibility of Certain Soils as Related to Organic Matter and Erosion. Journal of Am. Soc. of Agronomy, 39, 1066-1067.
- FRIEDMAN, H., 1945.** Geiger-Counter Spectrometer for Industrial Research.
- GILLOTT, J.E., 1958.** Clay in Engineering Geology. Elsevier Publishing Company, 296, Amsterdam.

- GİZBİLLİ, M., 1992.** Dolgu Barajlar ve Gövde Stabilite Hesap Esasları. D.S.İ. Basımevi, Ankara.
- GRİM, R.E., 1949.** Mineralogical Composition in Relation to the Properties of Certain Soils. Geotechnique, 1,3, 139-147.
- GRİM, R.E., 1962.** Clay Mineralogy. Mc Graw-Hill, New York.
- GROMKO, G.J., 1974.** Review of Expansive Soils. Journal of Geotechnical Engineering Division.
- GÜLER, E., AVCI, B.C., 1993.** Dolgu Barajlarda Geomembran Kullanımı. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu DSI Yayını, 139-146, Ankara.
- GÜLER, E., BAYKAL, G., KAVAK, A., 1993.** Sıkıştırma Su Muhtevasının Dolgu Barajlardaki Oturmalara Etkisi. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin mekaniği Problemleri Sempozyumu Bildiri Kitabı, DSI Genel Müdürlüğü, 59-66, Gümüldür.
- GÜLTEKİN, A., 1985.** Uygulamada Zeminlerin Şişmesi Nedeniyle Meydana Gelen Hasarlar ve Alınacak Önlemler. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSI Yayını, Ankara.
- HADDİNG, A., 1923.** Eine Röntgenographische Metod Kristalline and Kryptokristalline Substanzen zu Identifizieren. 2 tschr. Krist. 58, 108-112.
- HAINES, W.B., 1925.** Studies in the Physical Properties of Soil. II. Jour. Agr.Sci.15, 529-535.
- HARR, M., 1975.** Mechanics of Particulate Media. Mc Graw-Hill Book Company. New York.
- HARPER, H.J., VORK, G.W., 1936.** A Method for the Microscopic Examination of the Naturel Structure and Pore Space in Soil, Soil Soc.Am.Proc. 1, 39-42.
- HAYAT, M.A., 1974.** Principles and Techniques of Scanning Electron Microscopy. Von Nortron Reinhold Company, New York.
- HOLEMAN, N.J., 1965.** Clay Mineralogy. U.S. Department of Agriculture Soil Canservation Service Engineering Division, USA
- HOLTZ, R. D., 1948.** The Determination of Limits for the Control of Placement Moisture in High Rolled-Earthdam 1248.
- HOLTZ, W.G., GİBBS, H.J., 1956.** Engineering Properties of Expansive Clays, Transections of ASCE 121, 641-663.
- HOLTZ, R.D., KOVACS, W.D., 1981.** An Introduction to Geotechnical Engineering. Prentice - Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey, p.733.
- JACKSON, M.L., 1962.** Soil Chemical Analysis. Ed. Prentice Hall, Inc. of Englowood Cliffs, H.J., USA.
- JUMIKIS, A.R., 1966.** Soil Mechanics. D.Van Nostrand Co.Inc.
- KAILA, A., 1971.** Effective Cation-Exchange Capacity in Finnisch Mineral Soils. Journal of the Scientific Agric.Soc.of Finland, 43 (3), 178-186.
- KOVANO, Y., HOLMES, W.E., 1958.** Compaction Test as a Means of Soil Structure Evaluation. Soil Sci.Soc.Am.Proc., 22, 369-372.

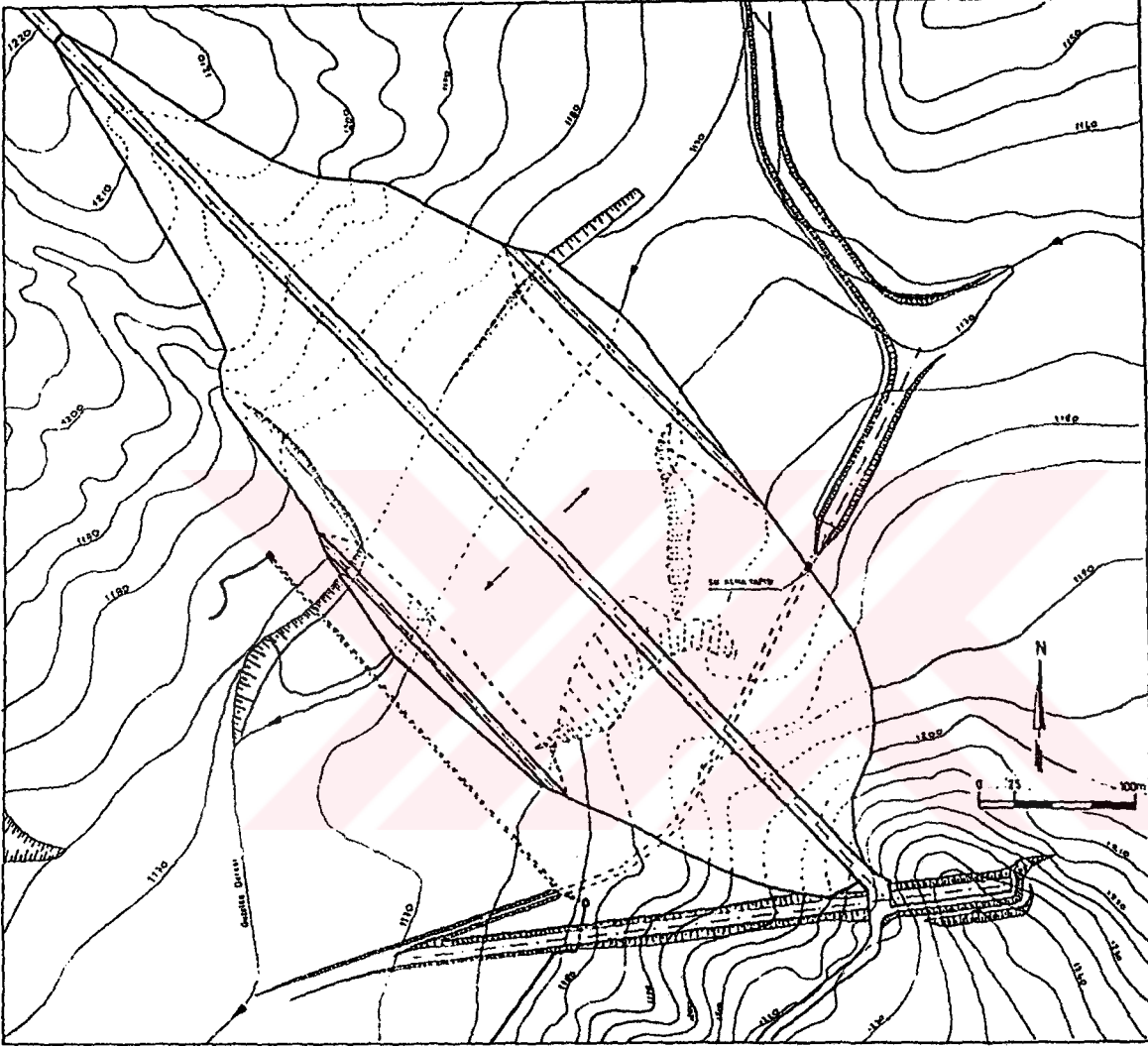
- KESKİN, N.S., 1991.** Killerin Kıvam Limiterini Etkileyen Faktörler. V. Kil Sempozyumu, Eskişehir.
- KILIÇ, M., DURAK, A., PAZAR, H.D., 1985.** Tokat ve Çevresinde İnşaa Edilen Bazı Göletlerin Bent Gövdesinde Kullanılan Dolgu Materyallerinin Bazı Özellikleri ve Kil minerolojisi. II. Ulusal Kil sempozyumu, Hacetepe Üniversitesi Bildiri Kitabı, Ankara.
- KILIÇ, M., BROHİ, A., DURAK, A., 1991.** Toprak Bilimi. C.Ü.Tokat Ziraat Fakültesi, Tokat.
- KIZILKAYA, T., YEGÜL, Ü., 1978.** Su Yapıları. M.E.B. Yayını, İstanbul.
- KNODEL, P.C., 1991.** Characteristic and Problems of Dispersive Clay Soils. Bureau of Reclamation, Materials Engineering Branch, R-91-09.
- KUBIANA, W.L., 1938.** Micropedology. Colle Giate Press, Ames, Iowa, 140-134.
- KUMBASAR, F., KİP, F., 1984.** İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği. Çağlayan Yayınevi, İstanbul.
- LADD, C.C., LAMBE, T.W., 1961.** Identification and Behaviour of Compacted Expensive Clays. Proc. 5 th Int. Conf.on Soil Mechanics and Foundation Engineering 1, 201-205.
- LAMBE, T.W., 1964.** The Permeability of Fine-Grained Soils. Special Technical Publication No: 163 ASTM.
- LAMBE, T.W., WHITMAN, R.V., 1969.** Soil Mechanics. John Wiley and Sons, New York.
- LAMBE, T.W., WHITMAN, R.V., 1979.** Soil Mechanics. Massachusetts Institute of Technology Universty of Sydney, 32-38, Sydney.
- LANDAU, H.G., ALTSCHAEFFL, A.G., 1977.** Conditions Caving Piping in Compacted Clay, Dispersive Clays. Related Piping and Erosion in Geotechnical, Projects, ASTM, STP, 623, 240-259.
- LAV, M.A., ANSAL, M.A., 1991.** Killi Zeminlerde Şişme Basıncının Amirik Olarak Bulunması. V. Kil Sempozyumu, Eskişehir.
- LEE, I.T., WHITE, W., INGLES, O.G., 1983.** Geotechnical Engineering. The Universty of New South Wales, 14-23, Australia.
- MEANS, W.E., PARCHER, J.V., 1963.** Physical Propertis of Soils. Charles E. Merril Publ.Co., Columbus, Ohio. 476p.
- MELLOR, J.W., 1922.** On thhe Plasticity of Clays. Trans. Foraday Soc., 17, 354-365.
- MERTDOĞAN, S., 1982.** Toprak Mekaniği El Kitabı. Topraksu Kartografya Müd. Mat. Ankara.
- MESRİ, G., ROGHSAR, A., BOHOR, B.F., 1975.** Compositon and Compressibility of Typical Samples of Mexico City Clay. Geotechnique 25, No:3, 527-554.
- MITCHELL, J.K., 1976.** Fundametals of Soil Behavior. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- MUNSUZ, N., NOURİ, K., 1969.** The Clay Mineralogy of Certain Soils that Have Been Formed from a Variety of Parent Materials. Research. Uni. Ank. Yearbook of the Faculty of Agriculture, 1-8, Ankara.
- MUNSUZ, N., RASHEED, M.A., 1970.** The Relationship Between the Porosity of Artificially Prepared Soil Slabs and the Types of Soils Clay Minerals. Üniv. of Ankara, Yearbook of Agriculture, 65-68, Ankara.

- MUNSUZ, N., 1985.** Toprak Mekaniği ve Teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No:922. Ankara.
- NICHOLS, M.L., 1929.** Methods of Research in Soil Dynamics. Alabama Agr. Exp. Sta. Bull, 29.
- ODEL, R.T., THORNBURN, T.H., MCKENZIE, L.J., 1960.** Relationships of Atterberg Limits to Some Other Properties of Illinois Soils, Proceedings of the Soil Science Society of America, 24, 297-300.
- ORDEMİR, I., ALYANAK, I., BİRAND, A., 1975.** Report on Ankara Clay. ODTÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:12, 275, Ankara
- ÖNALP, A., 1982.** İnşaat Mühendisliğinde Geoteknik Bilgisi. KTÜ Yayını No : 187, Cilt 1-2, Trabzon
- ÖZAYDIN, K., 1989.** Zemin Mekaniği. Meva Matbacılık ve Yayıncılık, İstanbul.
- ÖZBAYOĞLU, F., ÜNSAL, N., 1993.** Düzce-Bolu Killerinin Oluşumu, Jeo-mühendislik Özellikleri ve Bunların Şişme Davranışları Üzerindeki Etkileri. VI. Kil Sempozyumu, İstanbul.
- ÖZAL, K., 1967.** Küçük Toprak Barajların Planlama Projelene İnşaat ve İşletme Esasları. ODTÜ, 619, Ankara.
- ÖZENCİ, R., 1985.** Dolgu Malzemesi Etüdü ve Barajlarda Dolgu Yapımında Karşılaşılan Güçlükler, Uygulamadaki Çözümleri. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Semineri, DSİ Basım ve Foto Film İşletme Müdürlüğü, Ankara.
- ÖZTOPRAK, B., 1987.** Tokat-Artova Bebekderesi Göleti Dolgu Materyallerinin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yük. Lisans Tezi, Ankara.
- ÖZÜMSÜYER, A., 1992.** Altınapa Baraj Gölü (Konya) Çevresinde Erozyon ve Erozyonun Önlenmesi. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- PAULING, L., 1930.** The Structure of Micas and Related Minerals. Natl. Acad. Sci. Proc., 16, 123-129.
- PASCHEN, R., RIZKALLAH, V., 1979.** Investigation of Cohesive Soils with the Electron Microscope. Vortr. Baugrundtag. Dt. Ges. Erd. U. Grundb, Berlin.
- PECK, R.B., HANSON, W.E., THORBURN, T.H., 1974.** Foundation Engineering. John Willey and Sons.
- PETERSON, J.B., 1944.** The Effect of Montmorillonitic and Kaolinitic Clay on the Formation of Platy Structure. Soil Sci. Soc. Am, Proc. 9, 37-48.
- PETTİJOHN, F. J., 1957.** Sedimentary Rocks. Harper and Bros, New York.
- PIGULEVSKY, M.C., 1930.** Soil as an Object for Work in Agriculture. Proc. 2d Intern. Cong. Soil Sci., 1, 82-93, Leningrad.
- POPESCU, M., 1980.** Behaviour of Expansive Soils with a Crumb Structure. 4th International Conference on Expansive Soils.
- PROCTOR, R.R., 1933.** Fundamental Principles of Soil Compaction. Engineering News, 3, 245-248, 286-289, 348-351, 372-376.
- RICHARDS, L.A., 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. U.S. Dept. Agr. Handbook 60.
- RİNNE, F., 1924.** Röntgenographische Untersuchungen an Inigen. Feizerteilten Mineralien, Kunstprodukten und Dichten Gaesteinen Ztschr. Krist. 60, 55-69.

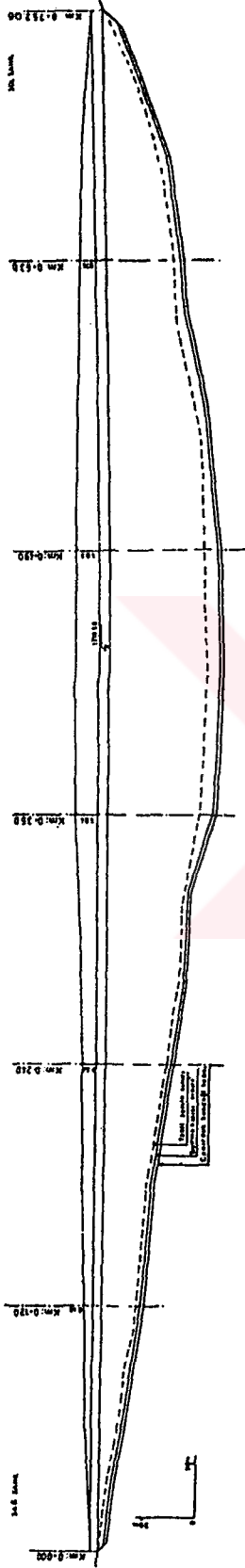
- ROMİNGER, J.F., RUTLEDGE, P.C., 1952.** Use of Soil Mechanics Data in Correlation and Interpretation of Lake Agassiz Sediments. *J. Geol* 60(2): 4-160-180p.
- SAHNEZ, B., 1969.** Contribution of Silt Clay and Organic Matter to the Cation-Exchange Capacity of Acid Soils. *An. Edafol. Agrobiol*, 28, 14-23.
- SAYIN, M., 1981.** Toprak Teknolojisi Ders Notları. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Adana.
- SCHREINER, H.D., 1987.** State of The Art Review on Expansive Soils. Transport and Road Research Laboratory Report, Ministry of Transport, Berkshire, England.
- SEED, H.B., CHEN, C.K., 1969.** Structure and Strength Characteristic of Compact Clays. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Div. Proceedings the A.S.C.E.* October, USA.
- SEED, H.B., WOODWARD, J., LUDGEN, R., 1962.** Prediction of Swelling Potential for Compacted Clays. *ASCE S. Mech. Journal*, 88, 53-87.
- SHERARD, J.L., DECKER, R.S., RYKER, N.L., 1972.** Piping in Earth Dams of Dispersive Clay. *Proceeding, Speciality Conference on the Performance of Earth and Earth Supported Structures, ASCE*, 589-626.
- SHERARD, J.L., DUNNIGAN, L.P., DECKER, R.S., 1976.** Identification and Nature of Dispersive Soil. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 102, No:GT2, 287-301.
- SİNGH, G., 1971.** A Study on the Relationship of Texture and Total Exchange Capacity in Some of the Soil Profiles at Different Elevations of Chamba District in Himachal Pradesh. *Indian Journal of Agricultural Chemistry*, 4, 29-41.
- SKEMPTON, A.W., 1953.** The Coloidal Activity of Clay. *Third International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1, 57-61, Switzerland.
- SLESAREVA, L.N., 1972.** Density and Structure of Tropical Serozem and Their Agronomic Importance. *Pochvovedenie*, 12, 80-90, USSR.
- ST. ARNAUD, R.J., SEPHTON, G.A., 1972.** Contribution of Clay Organic Matter to CEC of Chernozemic Soils. *Canadian Journal of Soil. Sci.* 52.(1), 124-126.
- SOWERS, G.F., 1965.** Consistency Methods of Soil Analysis. Part 1. *American Society of Agronomy, Madison*, pp: 394-397. Vinconsin, USA.
- SOVERS, G.F., 1979.** *Introductory Soil Mechanics and Foundations.* Collier Macmillan Canada Ltd.
- SUNGUR, T., 1978.** Su Yapıları (Baraj ve Göletler). Cilt 1, DSİ Basım ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü, Ankara.
- TALSMA, T., FLİNT, S.E., 1958.** Some Factors Determining the Hydraulic Conductivity of Subsoil with Special Reference to Tile Drainage Problems. *Soil Sci.* 85, No:4, 198-206.
- TARHAN, F., 1966.** Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. KTÜ Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Genel Yayın No : 145, Trabzon
- TERZAGHI, K., PECK, R.B., 1948.** *Soil Mechanics in Engineering Practice.* John Wiley, New York.
- TERZAGHI, K., PECK, R.B., 1967.** *Soil Mechanics in Engineering Practice.* John Wiley and Sons, New York.
- TS 1900., 1975.** İnşaat Mühendisliğinde Zemin Deneyleri. TSE, Ankara.

- TS 1901., 1975.** İnşaat Mühendisliğinde Sondaj Yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri. TSE, Ankara.
- TRASK, P.D., 1959.** Efect of Grain Size on Strength of Mixtures of Clay, Sand and Water. Geological Society of America Bült. 70, 5. USA.
- TOPRAKSU., 1971.** Tokat İli Toprak Kaynağı Envanter Raporu. Topraksu Gen.Müd.Yayın No: 223. Ankara.
- TOSUN, H., TURFAN, M., ARSLAN, A., 1993.** Toprak Dolgu Barajlar açısından Dispersif Kil Zeminlerin Yarattığı Problemler ve Mühendislik Çözümleri. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, İzmir.
- TUĞLU, H., BALKIR, T., 1975.** Zeminlerin Fiziksel Özellikleri. Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü, Ankara.
- TUNCAN, A., 1995.** Bazı Kil Minerallerinin Fiziko Kimyasal Özelliklerinin Laboratuvarda Tayini. VII. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.
- TUNCER, R.E., LOHNES, R.A., 1977.** An Engineering Classification for Certain Basalt-Derived Lateritic Soils. Engineering Geology, 319-339.
- TUNCER, R.E., BİRAND, A.A., 1978.** Yumuşak Killi Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri. VI.Bilim Kongresi, Müh.Arş.Grubu Tebliğleri, İnşaat Seksiyonu, 1021-1031, İzmir.
- TUNCER, R.E., 1985.** Toprak Dolgu Barajlarda İç Erezyon. Toprak Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği semineri, Adana.
- TUNCER, R.E., 1985.** Zeminlerin Tanımı, İndeks Özellikleri, Sınıflandırılmaları ve Efektif Gerilme Kavramı.Dolgu barajlar Yönünden Zemin Mekaniği semineri, Adana.
- TURSKİ, R., 1979.** Shear strength Changes in Loess Soil in Relation to Soil Density and Soil Water Content. Department of Soil Socience and Agr. Chemistri Üniv. of Luplin, Roczniki Gleboznawze, 30: 199-213.
- TÜZÜNER, A., 1990.** Toprak ve Su Analiz El Kitabı. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara.
- USBR 5400., 1989.**Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Crumb Test Method: Earth Manual Vol 2. P: 414-418.
- USBR 5405, 1989.** Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Double Hydrometer Test Methods. Earth Manual, Vol. 2, p: 419-424.
- USBR 5410., 1989.** Determining Dispersibility of Clayey Soils by the Pinhole Test Method. Eart Manual Vol. 2, 425-437.
- USBR 5705, 1989.** Determing the One-Dimensional Expansion Properties of Soil, Eart Manuel (Part 2), P: 654-671, Denver, Colarado.
- U.S. Salinty Laboratory Staff, 1954.** Diagnosis Improvement of Saline and Alkali Soils. Agr.Handbook No: 60. U.S.D.A.
- UZUNER, A.B., 1992.** Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, Ankara.

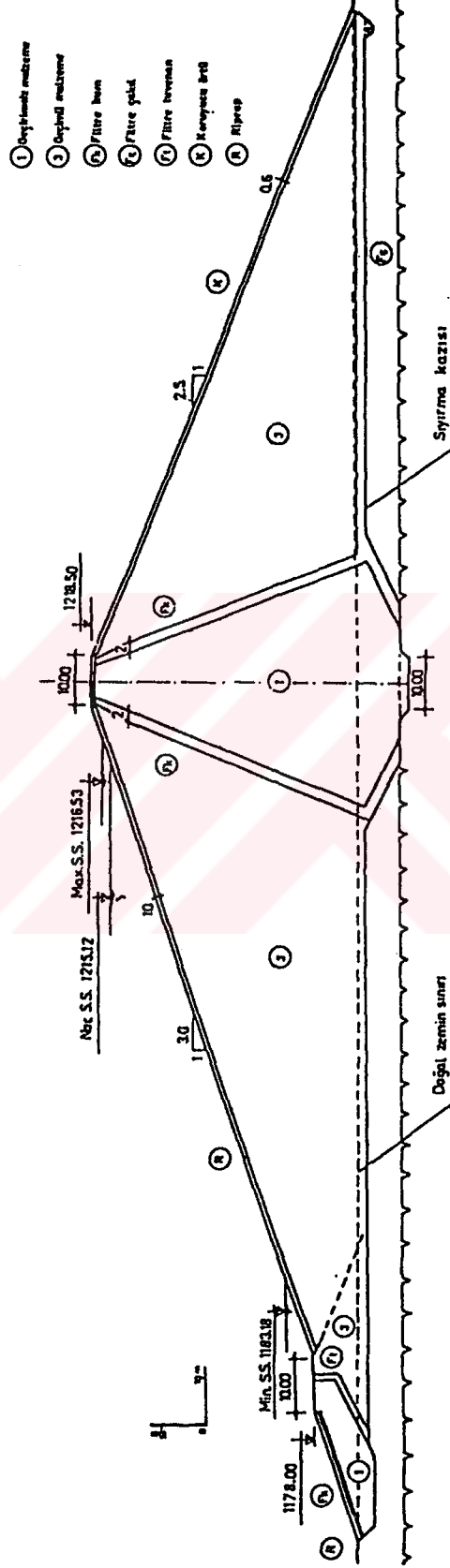
- ÜLKER, R., YILDIRIM, H., KESKİN, S.N., 1993.** Killerin Şişme Davranışına Ön Yüklemenin ve Minerolojinin Etkisi, VI.Ulusal Kil Sempozyumu, s.323-334, İstanbul.
- VELA YUTHAM, M., RAJ, D., 1971.** Interrelationship Between Soil Separates and Properties of the Soils of Tamil Nadu. Journal of the India Soc. of Soil Sci., 19, 353-362. India.
- VICKERS, B., 1984.** Laboratory Work in Soil Mechanics Granada Technical Books. Granada Publishing Ltd. and Grafton Street, London.
- WAGNER, A.A., 1957.** The Use of the Unified Soil Classification System by the Bureau of Reclamation. Proc. 4th. Inter. Conf. Soil Mech. Found. Eng. Vol. 1, p. 125, London.
- WASTİ, Y., 1985.** Zeminlerin Kompresibilite-Konsolidasyon ve Kayma Dayanım Özellikleri. Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Sempozyumu, Adana.
- WARKENTİN, B.P., 1972.** Soil Properties and Behavior. Elsevier Scientific Publishing Co., New York.
- WARKENTİN, B.P., 1974.** Physical Properties Related to Clay Minerals in Soil of the Caribbean Tropical Agr. Mc Gill University, 279-287, Montreal.
- WAYNE, A.C., OSMAN, M.A., ELFATİH, M.A., 1984.** Construction on Expansive Soils in Sudan. Journal of Construction Engineering and Management, 359-374.
- WEARVER, C.E., 1958.** Geologic Interpretation of Argillaceous Sediments. AAPG Bult, 42.
- WENZEL, L.K., 1942.** Methods for Determining Permeability of Water Bearing Materials. U.S. Geological Survey Water-Supply, 887, 13-14.
- WHİTTİG, L.D., 1965.** X-Ray Diffraction Techniques for Clay Mineral Analysis, Metod of Soil Analysis. American Society of Agronomy Pub. No: 9 VI. 586-602.
- WILSON, H., 1917.** Ceramics. Clay Technology, Mc Grow-Hill Book Co. 55, New York.
- WRİNG, W.R., FOSS, J.E., 1972.** Contribution of Clay and Organic Matter to the Cation Exchange Capacity of Maryland Soils. Soil Sci. Soc. of Am. Proc. 36 (1), 115-116.
- YILMAZ, H.R., 1987.** Zemin Geoteknik Parametrelerinin Değişkenliği, İstatistiksel Özellikleri ve İzmir İç Körfezi Kuzey Kıyıları Zeminleri Üzerinde Uygulamalar. 9 Eylül Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.
- YILMAZ, I., KARACAN, E., 1995.** 4 Eylül Barajı (Sivas) Çevirme Tünelindeki Killerin Jeoteknik Özellikleri. VII. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.



Ek 1 Baraj Gövdesi Yerleşim Planı (DSİ, 1991)

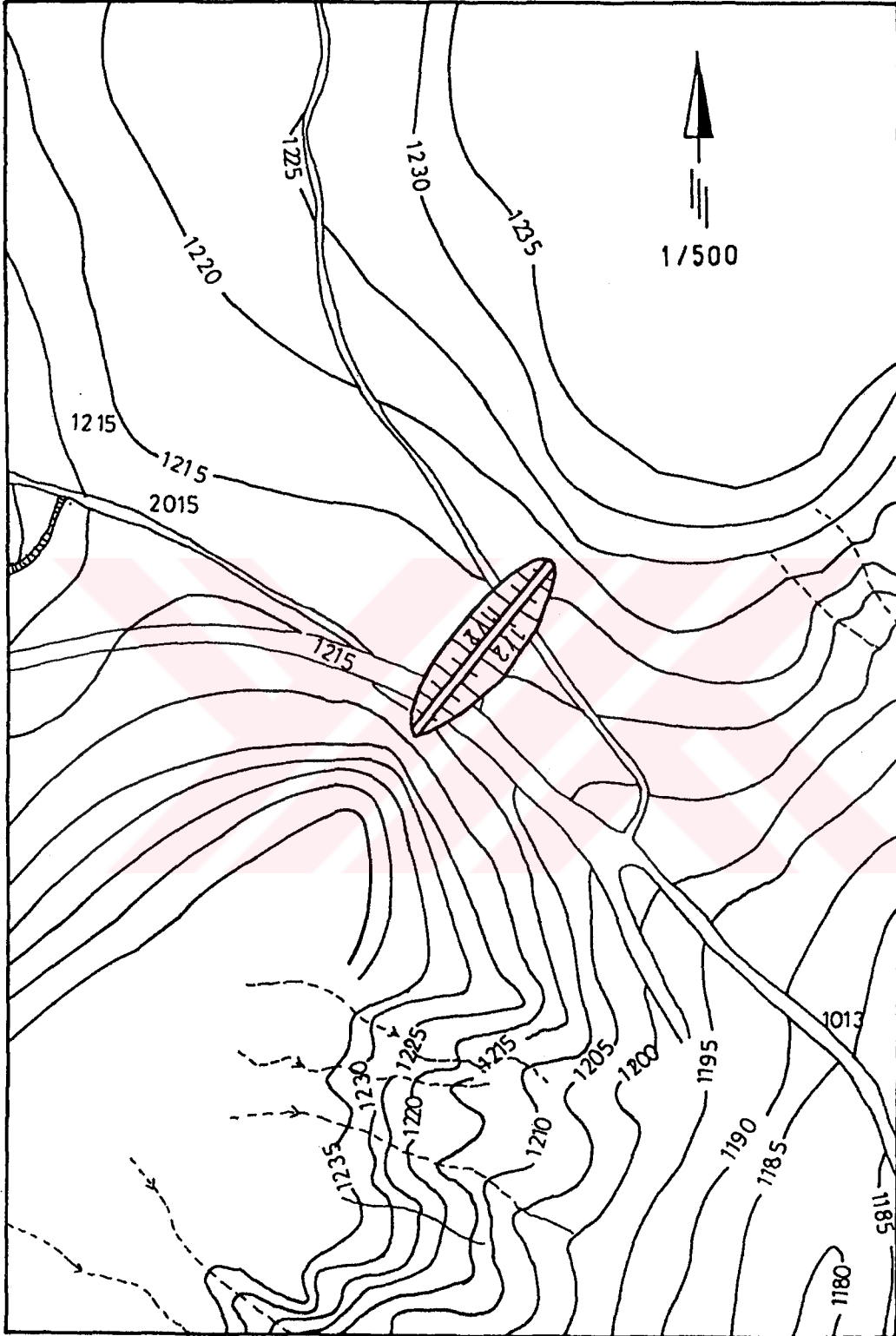


BARAJ GÖVDESİ BOY KESİTİ VE OTURMA PAYI AYARLAMASI

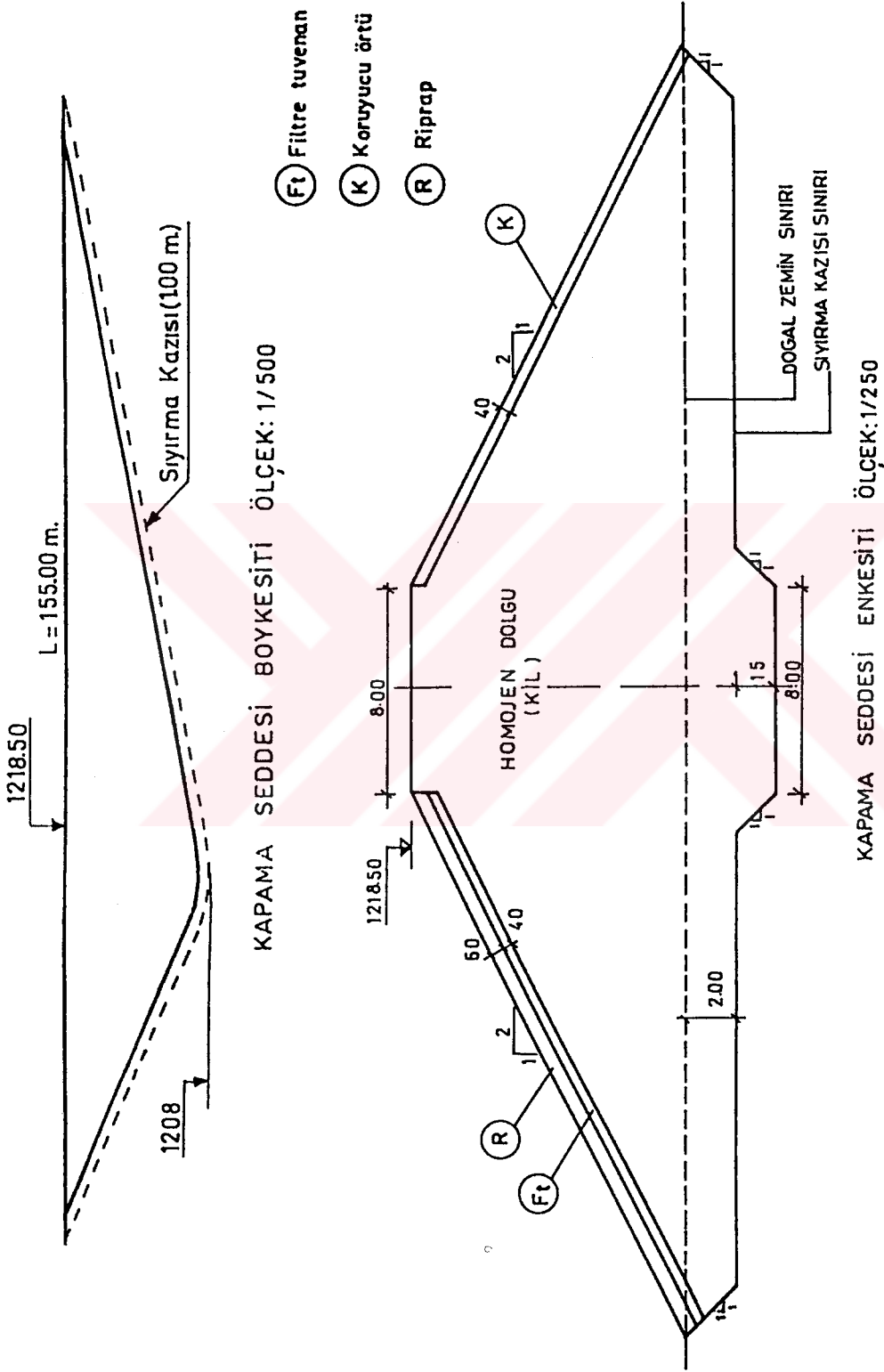


BARAJ GÖVDESİ EN KESİTİ

Ek 2. Baraj Gövdesi En Kesiti, Boy Kesiti ve Oturma Payı Ayarlaması (DSİ, 1991)



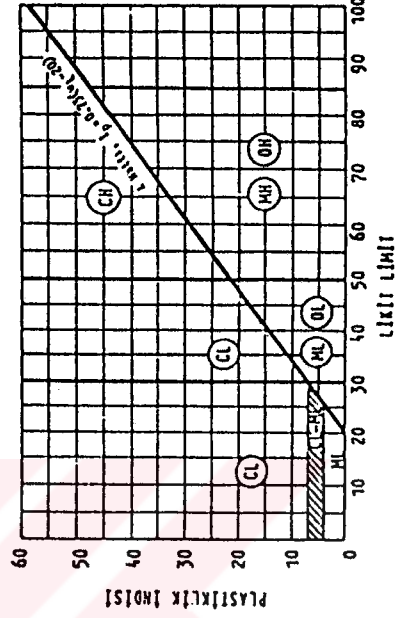
Ek 3. Kapama Seddesi Yerleşim Planı (DSİ, 1991)

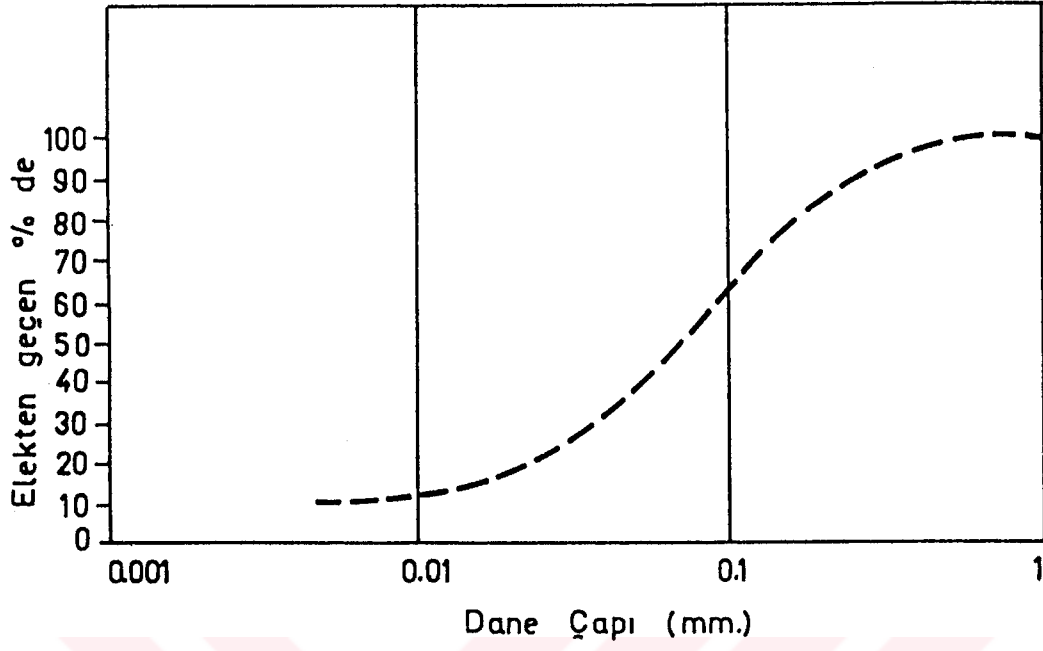


Ek 4. Kapama Seddesi En ve Boy Kesiti (DSİ, 1991)

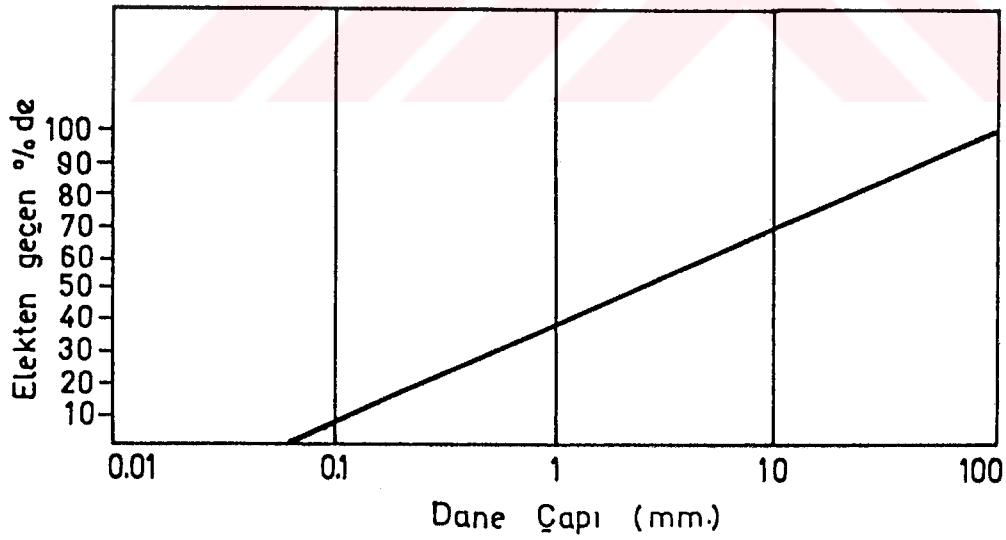
Ek 5. Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırması (Wagner, 1957)

ANA GRUPLAR		Grup Sem-bölü	Tipik isimler	Laboratuvar sınıflandırma kriterleri				
(7.5 cm. den iri malzeme hariç tutulmuştur).	İRI DANELLİ ZEMİNLER (Malzemenin % 50' sinden fazlası 200 No. lu elek çapından büyüktür).	ÇAKIL İri malzemenin % 50' sinden fazlası 4 No. lu elekten büyüktür.	CW	İyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları (ince danele-ri az veya hiç olmayan)	$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4 ; C_u = C_g = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} D_{40}} = 1-3$			
			CP	Fena derecelenmiş çakıl, çakıl - kum karışımları (ince danele-leri az veya hiç olmayan)				
			CM	Siltli çakıllar, fena derecelenmiş çakıl-kum-silt karışımları				
			CC	Killi çakıllar, fena derecelenmiş çakıl-kum-kil karışımları				
		KUM İri malzemenin % 50' sinden fazlası 4 No. lu elekten küçüktür.	Temiz Kum (ince az veya hiç malzeme yok)	SW	İyi derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar (ince danele-ri az veya hiç olmayan)	Atterberg limitleri A hat-tının altında veya $I_p < 4$ Atterberg limitleri A hat-tının üstünde ve $I_p > 7$ Her iki sembol beraber kullanılır.		
				SP	Fena derecelenmiş kumlar ve çakıllı kumlar (ince danele-ri az veya hiç olmayan)			
			Kum (ince malzeme yok)	SM	Siltli kumlar, fena derecelenmiş kum-silt karışımları	$U = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6 ; C_u = C_g = \frac{(D_{60})^2}{D_{10} D_{40}} = 1-3$		
				SC	Killi kumlar, fena derecelenmiş kum-kil karışımları			
			NCE DANELLİ ZEMİNLER (Malzemenin % 50' sinden fazlası 200 No. lu elek çapından küçüktür).	Fazla organik zeminler	Siltler ve Killler Likit Limit < 50	ML	İnorganik silt ve çok ince kum-lar, kaya tozu çok az plastik siltli veya kilif ince kumlar	SW nin bütün granülometri şartlarını karşılamayanlar Atterberg limitleri A hat-tının altında veya $I_p < 4$ Atterberg limitleri A hat-tının üstünde ve $I_p > 7$ Her iki sembol beraber kullanılacaktır.
						CL	İnorganik killler (düşük ilâ orta plastisitede) çakıllı killler, kumlu killler, siltli killler, yağ-sız killler	
Siltler ve Killler Likit Limit > 50	OL	Organik siltler ve düşük plas-tisiteli organik silt-kil karı-şımları			X 5 - 12 sınırlı halidir. İki sembol birten kullanı-lacaktır. X 12 den fazla GM, GC, SM, SC X 5 den az GW, GP, SW, SP line göre İri taneli zeminler şöylece sınıflandırılır. Bulunur. 200 No. dan geçen ince malzeme nisbe-Grandiometri eşitsinden çakıl ve kum yüzdeleri			
	MH	İnorganik siltler, diyatomeali veya mikali ince kumlu veya siltli zeminler, elastik siltler						
	CH	Yüksek plastisiteli inorganik killler, yağlı killler						
	OH	Ortadan yükeçe plastisiteli organik killler						
PT	Turba ve diğer fazla organik zeminler							

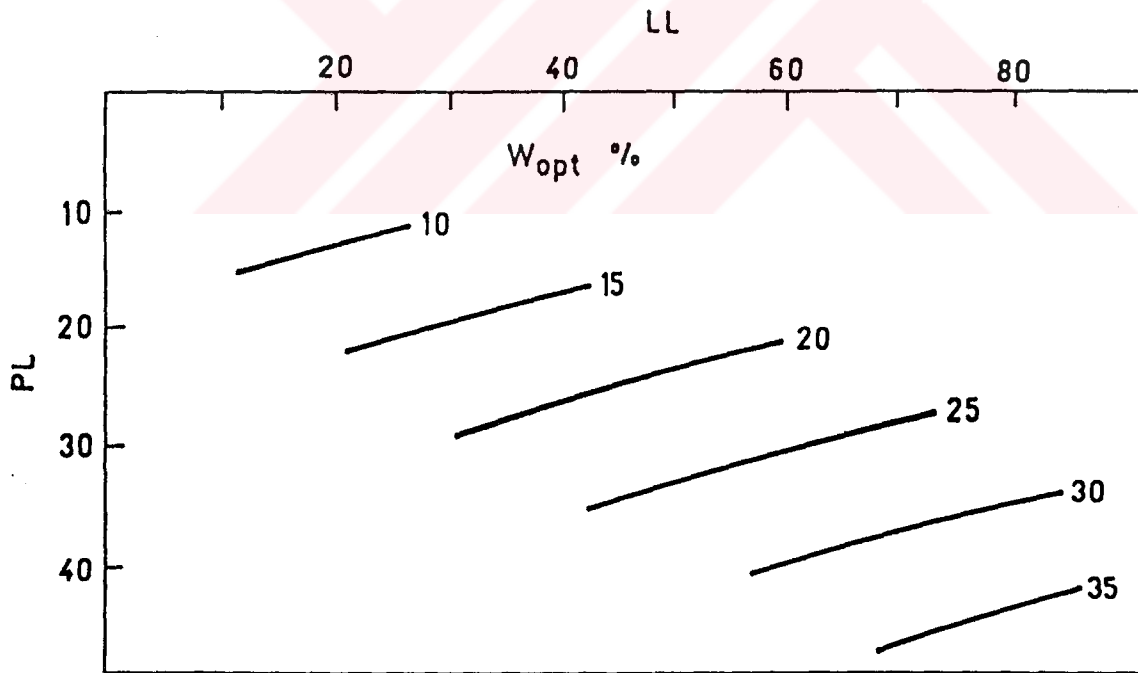
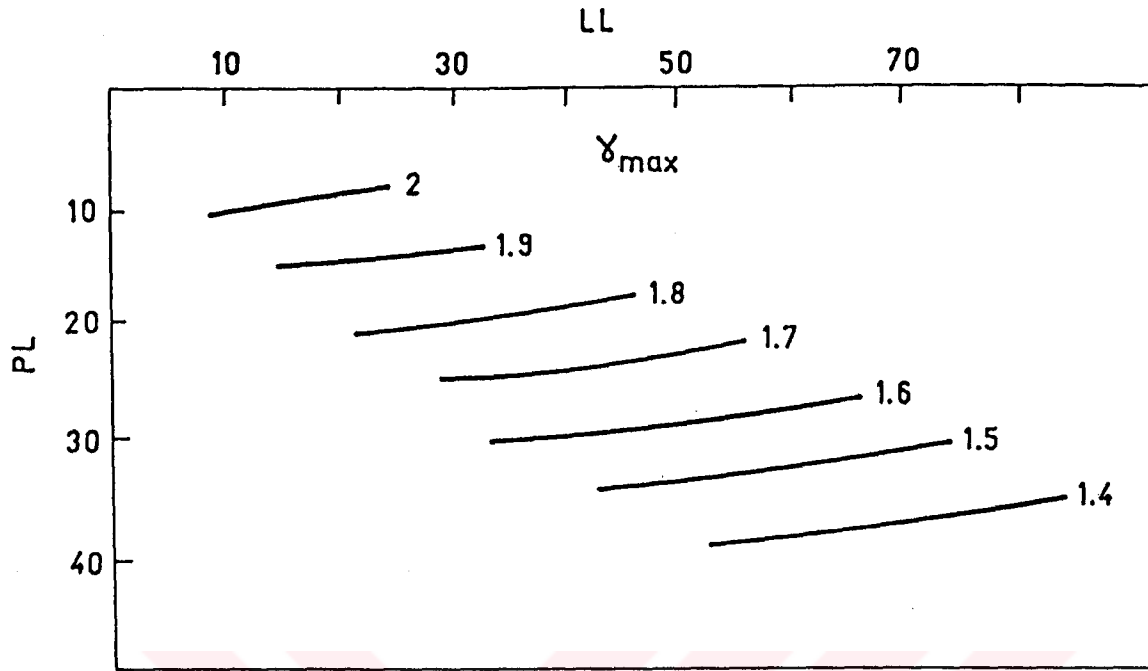




İdeal çekirdek malzemesi eğrisi (Erguvanlı, 1982)



İyi sonuç veren 16 barajın granülometrik ortalaması (Erguvanlı, 1982)



Ek 7. Kıvam Limitleriyle Kompaksiyon Arasındaki Bağını (Önalp, 1982)

Ek 8. Zeminlerin Ortalama Mühendislik Özellikleri (Bureau of Reclamation, USA; Özal, 1967)

Toprak grubu	Proktor sıkıştırma		Boşluk oranı	Permeabilite	Sıkışılma		Kayma mukavemeti		
	Maks kuru kesafet t/m^3	Optimum rutubet %			1.4 kg/cm ² altında % olarak	3.5 kg/cm ² altında % olarak	Co kg/cm kolezyon optimum rutubet	Cd kg/cm kolezyon doygun rutubet	Ø
GW	> 1.938	13.3	*	$2.6 \times 10^{-2} \pm 1.3 \times 10^{-2}$	< 1.4	*	*	*	> 38°21'
GP	> 1.793	12.4	*	$62 \times 10^{-2} \pm 3.3 \times 10^{-2}$	< 0.8	*	*	*	> 36° 30'
GM	< 1.858	14.5	*	> 2.9×10^{-3}	< 1.2	3.0	*	*	> 33° 50'
GC	< 1.874	14.7	*	> 2.9×10^{-3}	< 1.2	2.4	*	*	> 31° 00'
SW	1.939 ± 0.080	13.3 ± 2.5	$0.37 \pm *$	*	$1.4 \pm *$	*	0.4 ± 0.04	*	$38^{\circ}20' \pm 40'$
SP	1.793 ± 0.032	12.4 ± 0.1	0.50 ± 0.03	> 14.5×10^{-6}	0.8 ± 0.3	*	0.23 ± 0.06	*	$36^{\circ}30' \pm 45'$
SM	1.838 ± 0.016	14.5 ± 0.4	0.48 ± 0.02	$7.3 \times 10^{-6} \pm 4.6 \times 10^{-6}$	1.2 ± 0.1	3.0 ± 0.4	0.52 ± 0.06	0.2 ± 0.07	$33^{\circ}50' \pm 2^{\circ}50'$
SM SC	1.874 ± 0.016	12.8 ± 0.5	0.41 ± 0.02	$7.7 \times 10^{-6} \pm 5.8 \times 10^{-6}$	1.4 ± 0.2	2.9 ± 1.0	0.51 ± 0.22	0.15 ± 0.06	$33^{\circ}30' \pm 2^{\circ}50'$
SC	1.874 ± 0.016	14.7 ± 0.4	0.48 ± 0.01	$2.9 \times 10^{-6} \pm 1.9 \times 10^{-6}$	1.2 ± 0.2	2.4 ± 0.5	0.76 ± 0.15	0.11 ± 0.06	$31^{\circ}00' \pm 2^{\circ}50'$
ML	1.678 ± 0.016	19.2 ± 0.7	0.63 ± 0.02	$5.7 \times 10^{-6} \pm 2.2 \times 10^{-6}$	1.5 ± 0.2	2.6 ± 0.3	0.68 ± 0.11	$0.09 \pm *$	$31^{\circ}50' \pm 1^{\circ}40'$
ML CL	1.776 ± 0.032	16.8 ± 0.7	0.54 ± 0.03	$1.3 \times 10^{-6} \pm 6.8 \times 10^{-6}$	1.0 ± 0.2	2.2 ± 0.0	0.65 ± 0.17	$0.22 \pm *$	$31^{\circ}50' \pm 2^{\circ}25'$
CL	1.760 ± 0.016	17.3 ± 0.3	0.56 ± 0.01	$7.7 \times 10^{-6} \pm 2.9 \times 10^{-6}$	1.4 ± 0.2	2.6 ± 0.4	0.89 ± 0.11	0.13 ± 0.02	$28^{\circ}20' \pm 1^{\circ}45'$
OL	*	*	*	*	*	*	*	*	*
MH	1.320 ± 0.65	36.3 ± 3.2	0.15 ± 0.12	$1.5 \times 10^{-6} \pm 0.9 \times 10^{-6}$	2.0 ± 1.2	3.8 ± 0.8	0.74 ± 0.3	0.2 ± 0.09	$25^{\circ}10' \pm 2^{\circ}20'$
CH	1.565 ± 0.032	25.5 ± 1.2	0.80 ± 0.04	$4.8 \times 10^{-6} \pm 4.8 \times 10^{-6}$	2.6 ± 1.3	3.9 ± 1.5	10.5 ± 0.34	0.11 ± 0.06	$19^{\circ}20' \pm 4^{\circ}30'$
OH	*	*	*	*	*	*	*	*	*

% 90 ihtimalle ortalama değerler

* Belirsiz

> Büyük

< Küçük

Ek 9. Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasındaki Zemin Gruplarının Mühendislik Özellikleri (Wagner, 1957)

Grup	Tipik İsim	Önemli Özellikler					Mühtelif kullanan yerleri için izafi uygunluk derecesi									
		Sıkıştırılmış doğyan halde ileten geçirimsizlik	Sıkıştırılmış ve doğyan halde ileten kıyama mukavemeti	Sıkıştırılmış ve doğyan halde ileten kıyama mukavemeti	İnşaat malzemesi olarak işlenebil- me dereceliği.	Toprak Barajda		Kanalarda		Temellerde		Yollar da		Stabilite		
						Hamajon Dolgu	Hamajon Dolgu	Hamajon Dolgu	Hamajon Dolgu	Sızma Önemli İse	Sızma Önemli İse	Sızma Önemli İse	Sızma Önemli İse		Don İnşaat İçin İse	Don İnşaat İçin İse
GW	İyi derecelenmiş çakıl, kum-cabul karışımından ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler.	Geçirimsiz	Çok iyi	İhmal edilebilir	Çok iyi	-	1	1	-	-	1	1	1	3		
GP	Kötü derecelenmiş çakıl, kum-cabul karışımından ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler.	Çok geçirimsiz	İyi	İhmal edilebilir	İyi	-	2	2	-	-	3	3	3	-		
GM	Siltli çabuklar, kötü derecelenmiş çabul-kum silt karışımları.	Yarı geçirimsiz İli geçirimli	İyi	İhmal edilebilir	İyi	2	4	-	4	4	4	4	9	5		
GC	Kıllı çabuklar, kötü derecelenmiş çabul-kum silt karışımları.	Geçirimsiz	İyi ila orta	Çok az	İyi	1	1	-	3	1	2	6	5	1		
SW	İyi derecelenmiş kumlar ve çabul kumlar ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler.	Geçirimsiz	Çok iyi	İhmal edilebilir	Çok iyi	-	-	3	3	6	2	2	2	4		
SP	Kötü derecelenmiş kumlar ve çabul kumlar ince taneleri az veya hiç olmayan malzemeler.	Geçirimsiz	İyi	Çok az	Orta	-	-	4	7	-	-	5	6	4		
SM	Siltli kumlar, kötü derecelenmiş kum-silt karışımları.	Yarı geçirimsiz İli geçirimli	İyi	Az	Orta	4	5	-	6	5	3	7	8	10		
SC	Kıllı kumlar, kötü derecelenmiş kum-kil karışımları.	Geçirimsiz	İyi ila orta	Az	İyi	3	2	-	5	2	4	8	7	6		
ML	İnorganik silt ve çok ince kumlar, kası, unu, az plastik siltli veya kıllı ince kumlar.	Yarı geçirimsiz İli geçirimli	Orta	Orta	Orta	6	6	-	-	6	6	9	10	11		
CL	Alçıdan orta derecede doğru pldatistife de inor- ganik kiler çabul kumlu kiler siltli kiler yağsızlık.	Geçirimsiz	Orta	Orta	İyi ila orta	5	3	-	9	3	5	10	9	7		
OL	Organik siltler ve aşok plastisite de orga- nik silt kil karışımları.	Yarı geçirimsiz İli geçirimli	Zayıf	Orta	Orta	8	8	-	-	7	7	11	11	12		
MH	Inorganik siltler, dyatomali veya ince mikali kumlu veya siltli topraklar eldıştik siltler.	Yarı geçirimsiz İli geçirimli	Orta ila zayıf	Fazla	Zayıf	9	9	-	-	-	8	12	12	13		
CH	Yüksak pldatistife inorganik kiler yağlı kiler.	Geçirimsiz	Zayıf	Fazla	Zayıf	7	7	-	10	9	9	13	13	8		
OH	Oradan yüksek pldatistife inorganik kiler.	Geçirimsiz	Zayıf	Fazla	Zayıf	10	10	-	-	10	10	14	14	14		
PI	Turba ve organik topraklar.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

NOT: Çizelgedeki sayılar rölatif değerleri gösterir.

Ek 10. Sıkıştırılmış Dolgular İçin Materyallerin Karakteristikleri (SCS Guide)

NORMAL SIKIŞMADA KURU YOĞUNLUK (g/cm ³)	İŞLENME veya İNŞAAT KARAKTERİSTİKLERİ	ARZU EDİLEN SIKIŞTIRICI	GÖVDE VE GEÇİRİMSİZ BLANKETLER İÇİN KIYMETİ	Grup Sembolü
2.000	İyi	Paletli traktör veya çelik tekerlekli ve titreşimli araçlar.	Çok emniyetli (stabil) geçirimli sedde ve baraj şevleri.	GW
1.840	İyi	Paletli traktör veya çelik tekerlekli ve titreşimli araçlar.	Makul derecede emniyetli (stabil) geçirimli sedde ve baraj şevleri.	GP
1.920	Orta	Lastik tekerlekli vasıtalar veya keçi ayağı.	Makul derecede emniyetli, geçirimli şevler için uygun değil, geçirimli şevler ortasında geçirimsiz çekirdek materyali olarak kullanılabilir. Daha az geçirimli materyalin dış kısımlarında kullanılabilir.	GM
1.840	İyi	Keçi ayağı veya lastik tekerlekli vasıtalar.	Emniyetli (Stabil) homojen gövdeler, geçirimsiz blanketler veya her türlü geçirimsiz kısımlar için kullanılabilir.	GC
1.840	İyi	Paletli traktör ve titreşimli veya çelik tekerlekli araçlar.	Çok emniyetli (Stabil), geçirimli kısımlarda kullanılır. Şev korumasına ihtiyaç gösterir.	SW
1.680	Orta	Paletli traktör ve titreşimli veya çelik tekerlekli araçlar.	Makul derecede emniyetli kısımlarda, düşük meyilli dolgular için kullanılır, şev muhafaza tedbirine ihtiyaç gösterir.	SP
1.760	Orta	Lastik tekerlekli vasıtalar veya keçi ayağı	Makul derecede emniyetli (Stabil), geçirimli şevler için uygun değil, geçirimli şevler veya daha az geçirimli dış kısımlar içinde geçirimsiz çekirdek malzemesi olarak kullanılabilir. Şev muhafaza tedbirine ihtiyaç gösterir.	SM
1.760	İyi	Keçi ayağı veya lastik tekerlekli vasıtalar.	Emniyetli (Stabil) homojen dolgular, geçirimsiz blanketler veya her çeşit geçirimsiz kısımlar için kullanılabilir.	SC
1.600	Orta	Keçi ayağı	Zayıf stabilite iyi bir kontrolle gövdeler için kullanılabilir, şev korumasına ihtiyaç gösterir.	ML
1.680	iyiden- Ortaya	Keçi ayağı	Emniyetli (Stabil) homojen dolgular, geçirimsiz blanketler veya herhangi bir geçirimsiz kısım için kullanılabilir.	CL
1.440	Zayıf		Gövde için arzu edilmez.	OL
1.360	Zayıf	Keçi ayağı	Zayıf stabilite barajın esas kısımları için kullanılması arzu edilmez. İnce geçirimsiz çekirdekler için iyi bir kontrolle ve muhafaza blanketlerle kullanılabilir.	MH
1.360	Zayıf	Keçi ayağı	Zayıf stabilite, çekirdeklerde, geniş şev veya muhafazalı blanketlerde kullanılır. Çatlamlara sebebiyet verecek kurumaya mani olmamıştır.	CH
1.200	Zayıf		Gövdeler için arzu edilmez.	OH
GÖVDE İNŞAATI İÇİN KULLANMAYINIZ				Pt

Ek 10. Devamı

TİPİK İSİM	% 95 MAKSİMUM STANDARD YOĞUNLUK Veya % 70 İZAFİ YOĞUNLUĞA KADAR SIKIŞTIRILMIŞ MATERYALLERİN İZAFİ ÖZELLİKLERİ					Grup Sembolleri
	Sature durumunda kesme mukavemeti	Sature durumunda sıkışabilme	Permeabilite	Borulanmaya karşı direnç	Deformasyona çalmaya karşı hassasiyet	
İyi derecelenmiş çakıllar, çakıl kum karışımları, az veya hiç yok derecede ince materyaller.	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yok	GW
Kötü derecelenmiş çakıllar, çakıl kum karışımları, az veya hiç yok derecede ince materyaller.	"	"	"	"	"	GP
Siltli çakıllar, çakıl-kum-silt karışımları.	"	"	Orta	Ortadan Düşüğe	Orta	GM
Killi çakıllar, çakıl-kum-kil karışımları	"	"	"	Yüksek	"	GC
İyi derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar, az veya hiç yok derecede ince materyal.	"	"	Yüksek	Orta	Yok	SW
Kötü derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar, az veya hiç yok derecede ince materyal	Orta	"	"	Ortadan Düşüğe	"	SP
Siltli kumlar, kum-silt karışımları	"	Orta	Orta	Orta PI>6 Düşük PI<6	Ortadan Yüksekçe	SM
Killi kumlar, kum-kil karışımları	"	"	Düşük	Orta	Orta	SC
Anorganik siltler ve çok ince kumlar, koya unları, siltli veya killi ince kumlar veya düşük plâstisiteli killi siltler.	Ortadan Düşüğe	"	Orta	Yüksek PI>15 Orta PI<15	Yüksek PI<15 Düşük PI>15	ML
Düşükten orta plâstisiteye kadar anorganik killer, çakıllı killer, kumlu killer, siltli killer, yağsız killer	Orta	"	Düşük	Yüksek PI>15 Orta PI<15	Yüksek PI<15 Düşük PI>15	CL
Düşük plâstisiteli organik silt ve organik siltli killer.	Düşük	Yüksek	Orta	Ortadan Düşüğe	Orta	OL
Anorganik siltler, mikak yahut diatomeli ince kumlu veya siltli topraklar, elastik siltler.	"	"	Düşük	"	"	MH
Yüksek plâstisiteli anorganik killer, yağlı killer.	"	"	"	Yüksek	Düşük	CH
Orta plâstisiteden yüksek plâstisiteye kadar organik killer, organik siltler.	"	"	"	Ortadan Yüksekçe	Orta	OH
Pırl ve diğer yüksek organik topraklar	İNŞAAT İÇİN ELVERİŞLİ DEĞİL					Pt

Ek 11. Gölet Gövde Malzemesinin Özellikleri (Bilgiç, 1987)

Yoğunluğu	Geçirgenliği	Stabilitesi	İşlenebilme kabiliyeti	Kum %	Silt %	Kil %	Gövde de kullanılacağı yer
iyi	Yavaş	iyi	Çok iyi	60	30	10	Homojen
iyi	Yavaş	iyi	Çok iyi	60	20	20	Homojen
iyi	Yavaş	iyi	iyi	60	10	30	Homojen
Orta	Yavaş	Ortadan Kötüye	Kötü	40	40	20	Çekirdek
Orta	Çok Yavaş	Kötü	Ortadan Kötüye	40	20	40	Çekirdek
Orta	Çok Yavaş	Kötü	Kötü	40	10	50	Çekirdek
İyi	Ortadan hızlıya	iyi	iyi	10	10	20	Dış Zar

Ek 12. Sıkışmış Materyallerin Özellikleri (Demirbaş, 1988)

Birleştirilmiş sınıflama	Kesme mukavemeti	Sıkıştırılabilirlik	Sıkışmış toprağın geçirgenliği	Borulaşma İstidatı	Sıkışma karakteristiği
GW	Yüksek	Düşük	Yüksek	düşük	İyi
GP	Yüksek	Düşük	Yüksek	Düşük	İyi
GM	Yüksekten Ortaya	Düşük	Ortadan Düşüğe	Ortadan Düşüğe	Ortadan İyiye
GC	Orta	Düşükten Ortaya	Düşük	Ortadan Düşüğe	İyiden Ortaya
SW	Yüksek	Düşük	Yüksek	Orta	İyi
SP	Orta	Düşük	Yüksek	Ortadan düşüğe	İyi
SM	Orta	Düşükten Ortaya	Ortadan Düşüğe	Ortadan Yüksekçe	Ortadan iyiye
SC	Ortadan Düşüğe	Düşükten Ortaya	Düşük	Ortadan Düşüğe	İyiden ortaya
ML	Ortadan Düşüğe	Orta	Ortadan Düşüğe	Yüksek	Ortadan Zayıfa
CL	Ortadan düşüğe	Orta	Düşük	Düşükten Ortaya	Ortadan İyiye
MH	Düşük	Yüksek	Düşükten Ortaya	Ortadan düşüğe	Zayıf
CH	Ortadan düşüğe	Yüksek	Düşük	Düşük	Ortadan Zayıfa
OL ⁽¹⁾	Düşük	Yüksek	Düşükten Ortaya	Ortadan Yüksekçe	Ortadan Zayıfa
OH ⁽¹⁾	Düşük	Yüksek	Düşük	Ortadan Düşüğe	Zayıf
Pt ⁽²⁾					

(1) Sadece çok düşük zararlı alçak dolgularda kullanmaya uygundur.

(2) Dolgulara uygun değil.

Ek 13. Kaba Daneii Toprakların Seddelerde ve Temellerde Kullanılma Karakteristikleri (Sungur, 1978)

Ana bölüm	Adı	Seddede kullanılma değeri	Sıkıştırılma karakteristikleri	Max. Birim ağı. t/m ³	Temelde kullanılma değeri	Sızma kontrolü için şartlar
Çakıl ve çakılı topraklar	GW - İyl derecelenmiş Çakıl, kum - Çakıl karışımı, az veya hiç ince yok.	Çok stabil, sedde ve barajların geçirimsiz kabuklarında.	İyl, traktör, lastik tekerlekli, çelik silindir.	2.00-2.20	İyl taşıma değeri	Çekirdek hendeği
	GP - Zayıf derecelenmiş çakıl, kum - çakıl karışımı az veya hiç ince yok.	Makul derecede stabil, Sedde ve barajların geçirimsiz kabuklarında.	İyl, traktör, lastik tekerlekli, Çelik silindir.	1.85-2.00	İyl taşıma değeri	Çekirdek hendeği
	GM - Millî çakıl, kum çakıl Mill karışımı	Makul derecede stabil, Özellikle kabuklarda uygun değil geçirimsiz çekirdek ve perdelerde kullanılabilir.	İyl, sıkı kontrol, lastik tekerlek, keçi ayağı silindir.	1.95-2.20	İyl taşıma değeri	Etek hendeği veya hiçbirşey
	GC - Killi çakıl, kum - Çakıl - kil karışımı.	Oldukça stabil, geçirimsiz çekirdekte kullanılır.	Oldukça İyl, lastik tekerlek, keçi ayağı silindir.	1.85-2.10	İyl taşıma değeri	Hiçbirşey
Kum ve kumlu çakılı topraklar	SW - İyl derecelenmiş kum, kumlu çakıl, az veya hiç ince yok.	Çok stabil, geçirimsiz kesitler şev korunmasına ihtiyacı gösterirler.	İyl, traktör	1.80-2.10	İyl taşıma değeri	Mamba halısı ve etek drenajı veya kuyuları.
	SP - Zayıf derecelenmiş kum, çakılı kum, az veya hiç ince yok.	Makul derecede stabil, sedde kesitlerinde yatkın şevlerle kullanılabilir.	İyl, traktör	1.60-2.10	Yoğunluğa bağlı olarak İyiden zayıfa kadar taşıma değeri	Mamba halısı ve etek drenajı veya kuyuları.
	SM - Millî kum, kum - mill karışımı.	Oldukça stabil, özellikle kabuklara elverişli değil, Geçirimsiz çekirdek ve seddelerde kullanılabilir.	İyl, sıkı kontrol, lastik tekerlek, keçi ayağı silindir.	1.80-2.00	Yoğunluğa bağlı olarak İyiden zayıfa kadar taşıma değeri	Mamba halısı ve etek drenajı veya kuyuları.
	SC - Killi kum, kum - kil karışımı.	Oldukça stabil, taşkın kontrolü yapılarının geçirimsiz çekirdeğinde kullanılabilir.	Orta, keçi ayağı silindir, lastik tekerlek.	1.70-2.00	İyiden zayıfa kadar taşıma değeri.	Hiçbirşey

Ek 14. İnce Danejli Toprakların Seddelerde ve Temelerde Kullanılma Karakteristikleri (Sungur, 1978)

Ana bölüm	Adı	Seddelerde kullanılma değeri	Sıkıştırılma özelliği	Max. Birim Ağ. τ/m^3	Temelde kullanılma değeri	Sızma kontrolü için şartlar
Miller ve killer LL < 50	ML - Organik olmayan miller ve çok ince kumlar kaya tozları, milli veya Plastisiteli killi miller.	Zayıf stabilite, uygun kontrolle seddelerde kullanılabilir.	İyiden kötüye kadar esaslı sıklık kontrol, lastik tekerlekli silindir, keçi ayağı silindir.	1.55-1.95	Çok zayıf akıcı olma niteliği	Etek hendeği veya hiçbirşey
	CL - Organik olmayan ve alçaktan orta derecede kadar plastisiteli killer, Çakıllı killer, kumlu killer, milli killer, yağsız killer.	Stabl, gecirimsiz çekirdekler ve halılar.	Ortadan iyiye kadar keçiayağı silindir, lastik tekerlekli silindir.	1.55-1.95	İyiden kötüye kadar taşıma gücü.	Hiç
	OL - Organik miller ve alçak plastisiteli organik milli killer.	Seddelerde kullanılmaya elverişli değildir.	Ortadan kötüye kadar keçi ayağı silindir.	1.30-1.60	Ortadan kötüye kadar taşıma gücü, aşırı oturma.	Hiç
Miller ve killer LL > 50	MH - Organik olmayan miller, mikaşistil ve diyotomali İnce kumlu veya milli topraklar, elastik miller (yüksek plastisiteli)	Zayıf stabilite, hidrolik dolgu- lu barajların çekirdeklerinde kullanılır, silindirle sıkıştırılmış dolgularda arzu edilmez.	Kötüden çok kötüye kadar, Keçi ayağı silindir.	1.15-1.55	Zayıf taşıma gücü	Hiç
	CH - Organik olmayan killer, Yağlı killer.	Orta derecede stabilite, yatık şevlerle ince çekirdeklerde, halı ve seddelerde.	Ortadan kötüye kadar keçi ayağı silindir.	1.20-1.70	Ortadan zayıfa kadar taşıma gücü.	Hiç
Yüksek Organik Topraklar	OH - Orta dereceden yüksek derecede kadar plastisiteli organik killer, organik miller.	Seddelerde kullanılmaya elverişli değildir.	Kötüden çok kötüye kadar, keçi ayağı silindir.	1.05-1.60	Çok zayıf taşıma gücü.	Hiç
	Turba ve diğer yüksek Organik topraklar.	İnşaatta kullanılmaz.	Sıkıştırma tatbik edilemez.		Temelden temizlenmesi	

Ek 15. Stabil Temel Üzerine Oturan Homojen Toprak Dolgu Küçük Barajlar İçin Tavsiye Edilen Şevler (Dominy, 1960; Özal, 1967)

Hal	Tip	Amaç	Ani boşalmaya maruz (1)	Toprak sınıfı (2)	Memba Şevi	Mansap Şevi
A	Homojen yada modifiye homojen	Kapan ya da depolama	Hayır	GW, GP, SW, SP GC, GM, SC, SM CL, ML CH, MH	Geçirimli 2 1/2 : 1 3 : 1 3 1/2 : 1	Elverişli değil 2 : 1 2 1/2 : 1 2 1/2 : 1
B	Modifiye homojen	Depolama	evet	GW, GP, SW, SP GC, GM, SC, SM CL, ML CH, MH	Geçirimli 3 : 1 3 1/2 : 1 4 : 1	Elverişli değil 2 : 1 2 1/2 : 1 2 1/2 : 1

(1) Yüksek rezervuar seviyelerinde uzun depoyu mütakip su yüzeyinin günde 15 cm veya daha büyük hızla düşmesi

(2) OL ve OH toprakları homojen toprak dolgu barajların büyük kısımları için tavsiye edilemez. Pt toprakları elverişsizdir.

Ek 16 Çifte Hidrometri ve Dağılıma Deneyi Sonuçlarına Göre Nitel Dispersibilite Sınıfları (Knodel, 1991)

Dispersiyon yüzdesine bağlı nitel sınıflama

Dispersiyon yüzdesi (%)	Dispersiyon derecesi
< 30	dispersif değil
30-50	geçiş zemini
> 50	dispersif

Dağılıma deneyi sonucuna göre nitel dispersibilite sınıflama

Reaksiyon derecesi	Numunede oluşan belirtiler
Reaksiyon yok	Zemin numunesi eriyebilir ve deney kabının tabanına doğru hareket eder. Ancak süspansiyon içindeki kolloidallerin neden olduğu bulanıklık görülmez
az - orta	Süspansiyon içindeki kolloidlerin bulutlanması ile ilgili belirgin bir ipucu vardır. Kolloidler, numunenin tam yüzeyinde olabilir veya deney kabının tabanında çok ince bir iz şeklindedir.
Kuvvetli reaksiyon	Koloidal bulut, genellikle deney kabının tabanını ince bir tabaka halinde kaplar. Aşırı durumlarda deney kabındaki su bütünüyle bulanık hale gelir.

Ek 17 İğne Deliği Deney Sonuçlarına Göre Dispersibilite Sınıflaması (Sherard et al., 1976)

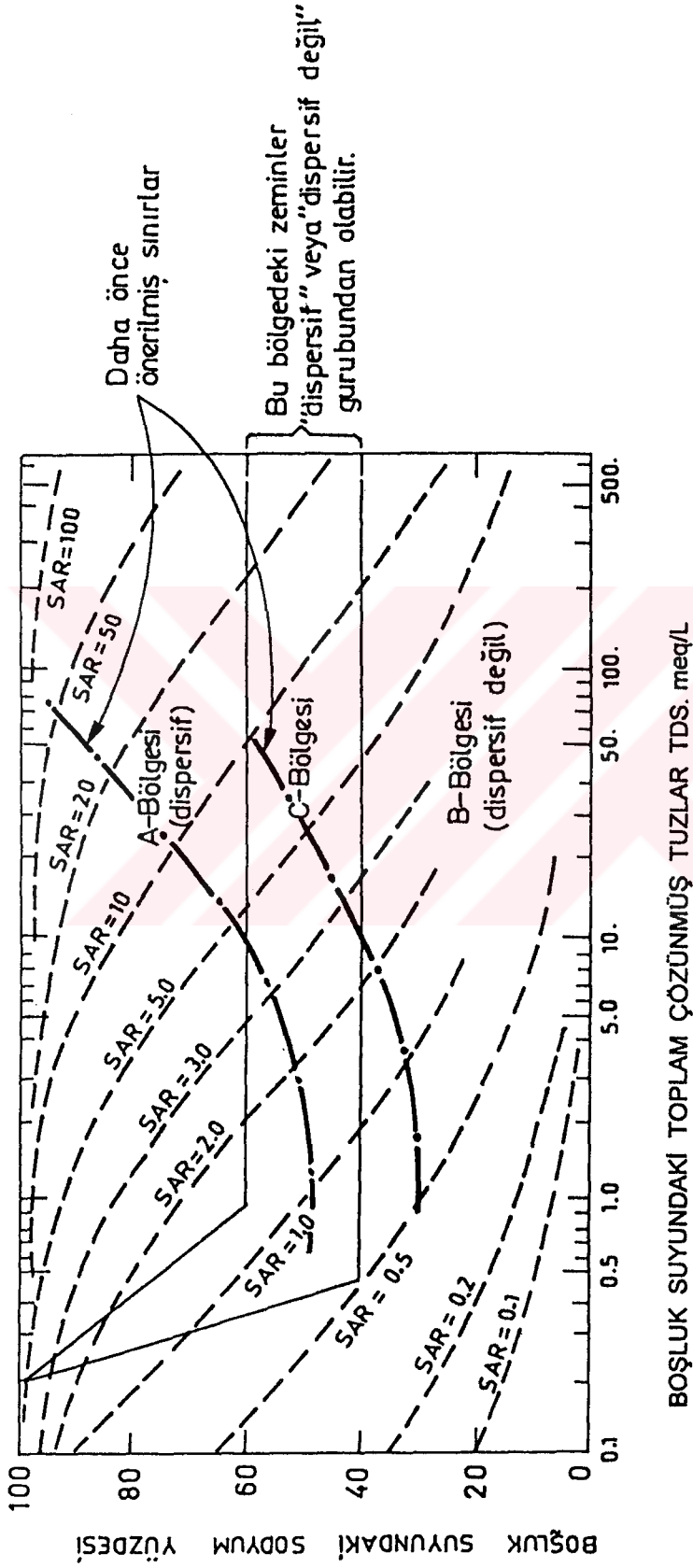
Sınıf	Basınç (mm-su)	Deney süresi (dakika)	Çıkışta gözlenen akım (ML/s)	Deney sonunda akan suyun rengi (bulanıklık -renk)	Deney sonrası delik çapı
D1	30	5	1.5	Çok belirgin	2 x
D2	30	10	1.0	Az belirgin ile belirgin arası	2 x
ND4	50	10	0.8	Az fakat kolaylıkla görülebilir	1.5 x
ND3	180-380	5	2.5	Az fakat kolaylıkla görülebilir	2 x
ND2	1020	5	3.5	Temiz veya zorlukla görülebilir	2 x
ND1	1020	5	5.0	Çok temiz	Erozyon yok

Zeminlerin Dispersiflik Sınıflandırması

Sınıflandırma	Zemin tanımı
D1 ve D2	Dispersif zeminler; 50 mm su basıncı altında çabucak erozyona uğrarlar
ND4 ve ND3	Ara zeminler; 50mm veya 180mm su basıncı altında erozyona maruz kalırlar
ND2 ve ND1	Dispersif olmayan zeminler; 380mm veya 1020mm su basıncı altında herhangi bir koloidal erozyona maruz kalmazlar

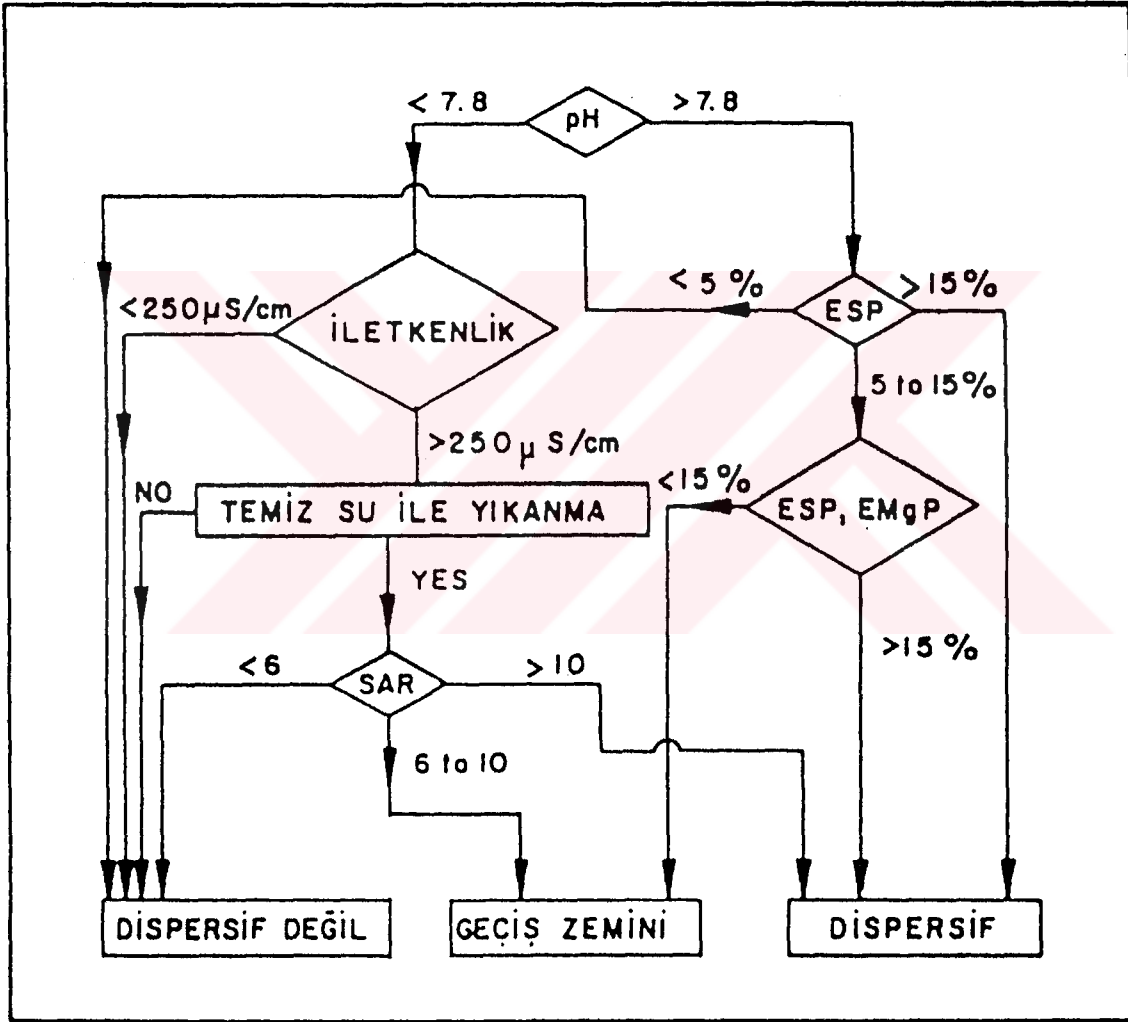
Ek 18 Toprak Derecelendirmeleri ve Mühendislik Kullanımları İçin Özellikler (FAO Soils Bulletin, 19)

A.B.D. Tarım Bakanlığı Bünyesi	Birleştirilmiş Sembol	Toprak Özellikleri
Kil, milli kil	CH	Şişme-büzülmesi yüksek killer
	MH	Mika,demir oksit, kollonit killeri
	CL	Düşük likit limit, genellikle < %45 kil
Milli Killi tın	CL	Düşük likit limit, plastik
	ML-CL	Düşük likit limit, orta plastik
	CH	Yüksek likit limit, şişme-büzülmesi yüksek killer
	MH	Yüksek likit limit, mika, demir, oksit, koolinitik
Killi tın	CL	Düşük likit limit, plastik
	ML-CL	Düşük likit limit, orta plastik
	CH	Yüksek likit limit,şişme-büzülmesi yüksek killer
	MH	Yüksek likit limit, mika, demir, oksit, koolinitik
Tın	ML-CL	Orta plastik
	CL	Plastik
	ML	Düşük Plastik
Milli tın	ML-CL	Orta plastik
	ML	Düşük plastik
	CL	Plastik
Mil	ML	Düşük plastik
Kumlu kil	CL	İnce kısım > %50
	SC	İnce kısım < %50
Kumlu killi tın	SC	Plastik, ince kısım % 36-50
	SC	Plastik, ince kısım < %35
	CL	Plastik, ince kısım > % 50
Kumlu tın	SM	Düşük plastik
	SC	plastik
	SM-SC	Orta plastik
İnce kumlu tın	SM	Plastik değil, ince kısım < %50
	ML	Plastik değil, ince kısım > %50
	ML-CL	Orta plastik, ince kısım > %50
	SM-SC	Orta plastik, ince kısım < %50
Çok ince kumlu tın	ML-CL	Orta Plastik
	ML	Düşük Plastik
Tınlı kum,	SM	Plastik değil, ince kısım < % 35
Tınlı ince kum	SM-SC	Orta plastik, ince kısım < %35
Tınlı çok ince kum	SM	Düşük plastiklik, ince kısım > %35
	ML	Az plastik veya değil
Kum, ince kum	SP-SM	İnce kısım %5-10
	SM	İnce kısım > %10
	SP	İnce kısım < %5
Çok ince kum	SM	Düşük Plastik
	ML	Az Plastik ve değil
Kaba kum	SP veya GW	İnce kısım < %5
	SP-SM	İnce kısım %5-12
	SM	İnce kısım % 13-25
	SM	İnce kısım > % 25
Çakıl (% 50 No.200 elekten geçmiş, kaba kısım % 50'si	GP veya GW	İnce kısım < %5
	GM veya GC	İnce kısım %5-25
	GM veya GC	İnce kısım %26-35
No.4 elekten geçiyor	GC	İnce kısım > %35



Ek 19 İğnedeliği Deneyleri ve Doğada Gözlenmiş Erozyon Olayları Bilgi Birikiminden Esinlenerek Önerilen Dispersibilite ve Boşluk Suyundaki Çözünmüş Tuzlar Arasındaki İlişki (Sherard et al., 1976)

Ek 20 Boşluk Suyundaki Çözünmüş Tuzların Analizinden Dispersiyon Potansiyelinin Belirlenmesi (Knodel, 1991)



ÖZGEÇMİŞ

1956 yılında Bolu'nun Yeniçağa İlçesinin Kındıra köyünde dünyaya geldi. İlkokulu Kındıra köyünde, Ortaokulu Yeniçağa ilçesinde, liseyi İstanbul'da bitirdi. 1979 yılında Ankara Teknik Yüksek Öğretmen Okulu'ndan mezun oldu.

1979 yılında tayin olduğu Kayseri Mimar Sinan Endüstri Meslek Lisesi ve İnşaat Teknik Lisesinde meslek dersleri öğretmenliği, müdür yardımcılığı, müdür başyardımcılığı görevlerinde bulundu.

1984 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Tokat Meslek Yüksekokulu'nun İnşaat programına öğretim görevlisi olarak atandı.

1987'de Ankara Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi anabilim dalında yüksek lisansını tamamladı.

Evli ve üç çocuk babasıdır. Halen Gaziosmanpaşa Üniversitesi Tokat Meslek Yüksekokulu İnşaat programında öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.