

134843

AĞIR METAL VE TUZLARLA KİRLENMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN GEOTEKNİK
ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tayfun Şengül

DUMLUPINAR ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.



Danışman : Yrd.Doç.Dr. Yücel GÜNEY

134843

Şubat - 2003

Kabul ve Onay Sayfası

Tayfun ŞENGÜL 'ün YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "AĞIR METAL VE TUZLARLA KİRLENMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

..03 / 02 / 2003

Üye : Prof.Dr. Mehmet T. BAYER



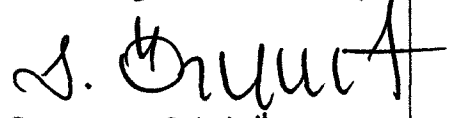
Üye : Doç.Dr. Mahmut TURAN



Üye : Yrd.Doç.Dr. Yücel GÜNEY (Danışman)



Fen Bilimleri Enstitüsü'nün Yönetim Kurulu'nun ..18/02/ 2003 gün ve ..02..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof.Dr. M. Sabri ÖZTÜRK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

AĞIR METAL VE TUZLARLA KİRLENMİŞ KİLLİ ZEMİNLERİN GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Tayfun ŞENGÜL

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2003

Tez Danışmanı: Yrd.Doç.Dr. Yücel GÜNEY

ÖZET

Evsel ve endüstriyel atık depolama alanlarında oluşan sızıntı suları geçirimsiz kil tabakalarının geoteknik özelliklerini değiştirmektedir. Bu değişimin önceden tanımlanabilmesi geoteknik mühendisliği açısından önemlidir. Çünkü bu tür geçirimsiz deponi tabakalarında kimyasal kirlilikten dolayı oluşabilecek hasarlar, çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilmektedir.

Bu çalışmada, çöp deponi tabakası malzemelerinin kirleticiler karşısında geoteknik, fiziko-kimyasal ve mikro yapısal özelliklerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla laboratuarda deneyler yapılmıştır. Çalışmalarda çöp deponi tabakası malzemesi olarak Na-Bentonit/Kaolin kili karışımları, kirleticiler olarak da $PbCl_2$, $CuCl_2$, $ZnCl_2$ metal çözeltileri, NaCl, $CaCl_2$, KCl tuz çözeltileri, HCl asidik çözeltisi, NaOH bazik çözeltisi ve B_2O_3 içerikli bor madeni ayrıştırma suyu kullanılmıştır. Bu çözeltilerle kirlenilen Na-bentonit/Kaolin karışımları üzerinde konsolidasyon, serbest şişme, kıvam limitleri, serbest basınç, elektriksel iletkenlik, pH deneyleri ve taramalı elektron mikroskobu analizleri yapılmıştır.

Deneyler sonucunda; kirlenmiş Na-Bentonit/Kaolin karışımlarının, serbest basınç mukavemeti, likit limit ve plastik limit miktarlarında azalma, permeabilite değerlerinde ise artma belirlenmiştir. Taramalı elektron mikroskobu analizlerinden ise kilin mikro yapısında bozulmalar meydana geldiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çöp Deponi Tabakası, Geoteknik Özellikler, Kaolin, Kimyasal Kirlilik, Mikro Yapı, Na-Bentonit.

DETERMINING THE GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAYS CONTAMINATED BY HEAVY METALS AND SALTS

Tayfun ŞENGÜL

Civil Engineering, Master Thesis, 2003

Supervisor: Assist. Prof. Yücel GÜNEY

SUMMARY

The leakage waters of house and industrial wastes change the geotechnical properties of impervious landfill clay liners. Determining these changes is important for geotechnical engineering. Because; the damages that could happen on these impervious landfill liners as a result of chemical pollution might have negative affect on environment and human health.

In this study, experiments were made for determining the changes in geotechnical, physico-chemical and micro structural properties of landfill liners. For this purpose, mixtures of Na-Bentonite and Kaolen clays were used to simulate landfill liners, for contaminatents the metallic solutions of $PbCl_2$, $CuCl_2$, $ZnCl_2$, salty solutions of NaCl, $CaCl_2$, KCl, asidic solution of HCl, basic solition of NaOH, and the water used to decompose the boron mine which contains B_2O_3 were used. Na Bentonite and Kaolen mixtures were polluted with these solutions and consolidation, free swell, consistency limits, unconfined compression, electrical conductivity, pH tests and scanning electron microscopy analysis were carried out.

Experimental results of polluted Na-Bentonite/Kaolen mixtures showed decreases in shear strength, liquid and plastic limit values where as showed increases in permeability. Scanning microscopy analysis showed microstructural corruptions.

Keywords: Landfill Liner, Geotechnical Properties, Kaolen, Chemical Pollution, Micro Structure, Na-Bentonite.

TEŐEKKÜR

Bu çalışmanın tım aőamalarında değerli fikir ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőmanım Yrd.Doç.Dr. Yücel GÜNEY ve Yrd.Doç.Dr. Hakan KOYUNCU 'ya, gerek lisans gerekse Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini bizlere aktaran değerli hocalarım Prof.Dr. Mehmet T. BAYER ve Doç.Dr. Mahmut TURAN'a Őukranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmaların değerlendirilmesi için istatistiksel çalıőmaya yönlendiren ve değerli fikirlerini esirgemeyen Prof.Dr. Alim IŞIK 'a çalışma süresi boyunca yardımcı olan ArŐ.Gör. Abdurrahman YILDIZ 'a ve laboratuardaki çalışma arkadaőım Uzman Murat ÇETİN'e teŐekkür ederim.

Hayatımın hiçbir aőamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve beni teŐvik eden kıymetli aileme teŐekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇÖP DEPOLAMA ALANLARI İLE İLGİLİ BAZI GENEL BİLGİLER	5
2.1. Çöp Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşası ve İşletmesi Esnasındaki Önlemler	5
2.1.1. Katı atık depolama alanları seçimi kriterleri	5
2.1.1.1. Ulaşım ve meskun mahal durumu	5
2.1.1.2. Meteorolojik durum	5
2.1.1.3. Jeomorfolojik durum	5
2.1.1.4. Jeolojik ve hidrojeolojik durum	6
2.1.1.5. Jeoteknik inceleme	7
2.1.2. Depo inşası ve işletmesi esnasındaki önlemler	7
2.2. Atıkların Depolanmasında ve Kontrolünde Jeolojinin Önemi	8
2.2.1. Katı atıkların çevredeki zararlı etkileri	8
2.2.2. Depolama ortamlarının yer bilimciler tarafından değerlendirilmesi	8
2.2.2.1. Depolama ortamının jeolojik yapısı	8
2.2.2.2. Depolama ortamının hidrojeolojik özellikleri	10
2.2.3. Depolama tekniği	13
2.3. Çöp Depolama Alanlarında Kullanılan Geçirimsizlik Malzemeleri	15
2.4. Deponi Alanı Dizaynı Önerileri	16
3. KİLLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	19
3.1. Kil ve Kil Mineralinin Tanımı	19
3.2. Kil Minerallerinin Özellikleri	19
3.3. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması	20
3.4. Ana Kil Mineralleri Gruplarının Kökenleri	21

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

3.4.1. Kaolin grubu kil mineralleri	22
3.4.2. Montmorillonit (smektit) grubu kil mineralleri	22
3.5. Kil Minerallerinin Oluşum Ortamları	22
3.6. Kil Minerallerinin Şekilleri ve Genel Yapıları	24
3.7. Kil Minerallerinin Mineralojik Yapıları	25
3.8. Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri	28
3.8.1. Spesifik yüzey alanı	28
3.8.2. Elektriksel iletkenlik	28
3.8.3. pH değeri	29
3.8.4. Ağır metaller	29
3.8.5. Katyon değişim kapasitesi (KDK)	29
4. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ	31
4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımı	31
4.1.1. Na-Bentonit kili	31
4.1.2. Kaolin kili	31
4.1.3. Kimyasal maddeler	32
4.1.3.1. Sodyum klorür (NaCl)	32
4.1.3.2. Kalsiyum klorür ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)	32
4.1.3.3. Potasyum klorür (KCl)	32
4.1.3.4. Kurşun klorür (PbCl_2)	33
4.1.3.5. Bakır klorür ($\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	33
4.1.3.6. Çinko klorür (ZnCl_2)	33
4.1.3.7. Sodyum hidroksit (NaOH)	34
4.1.3.8. Hidroklorik asit (HCl)	34
4.1.3.9. Atık	35
4.1.4. Kimyasal madde çözeltilerinin hazırlanması	36
5. DENEYSEL YÖNTEMLER	38
5.1. Geoteknik Özellikler	38
5.1.1. Kıvam limitleri	38
5.1.1.1. Likit limit deneyi	39
5.1.1.2. Plastik limit deneyi	42
5.1.2. Özgül ağırlık (spesifik gravite)	44
5.1.3. Standart proktor kompaksiyon deneyi	45
5.1.4. Serbest basınç deneyi	47
5.1.5. Konsolidasyon deneyi	49
5.1.6. Serbest şişme deneyi	50

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.2. Fiziko-Kimyasal Özellikler	51
5.2.1. pH	51
5.2.2. Elektriksel iletkenlik	52
5.3. Mikro Yapısal Özellikler	53
5.3.1. Scanning (tarama) elektron mikroskobu (SEM)	53
6. BULGULAR ve TARTIŞMA	54
6.1. Geoteknik Özellikler	54
6.1.1. Atterberg kıvam limitleri	54
6.1.2. Özgül ağırlık (spesifik gravite)	59
6.1.3. Kompaksiyon deneyleri	60
6.1.4. Serbest basınç deneyleri	62
6.1.5. Konsolidasyon	70
6.1.6. Serbest şişme deneyi	71
6.2. Fiziko-Kimyasal Özellikler	72
6.2.1. pH	73
6.2.2. Elektriksel iletkenlik	75
6.3. Mikro Yapısal Özellikler	77
6.3.1. Scanning (tarama) elektron mikroskobu (SEM)	77
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR DİZİNİ	86

EKLER

1. Likit Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
2. Plastik Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
3. Plastisite İndisi Değerleri
4. Likit Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
5. Plastik Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
6. Plastisite İndisi Değerleri İçin Varyans Analizi Sonuçları
7. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
8. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
9. Serbest Basınç Deneyi Sonucunda Çeşitli Kil ve Kil Karışımları İçin Gerilme Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
10. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda 28 Günlük Numuneler İçin Elde Edilen Değerler

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Katı atık deponilerinin yeraltı sularını etkilemesi	6
2.2. Katı atık tabanı kesiti	7
2.3. a) Atık deposu dolayının jeoloji-hidrojeoloji haritası	9
b) Atık deposu dolayının jeoloji-hidrojeoloji harita kesiti	10
2.4. Geçirimli temel üzerinde atık deposu	11
2.5. Kirletici elementlerin yer altı suyu akımı ile dağılımı	12
2.6. Çeşitli akiferlerde kirlilik dağılımının şematik gösterimi	12
2.7. Modern bir atık deposunun şematik görünümü	14
2.8. Geçirimsiz tabanları etkileyen kuvvetler ve oluşturdukları hasarlar	15
2.9. Tipik bir çöp depolama alanı	18
3.1. Kaolinit kilinin yapısı	25
3.2. Kaolinitin elektron mikroskop fotoğrafı	26
3.3. Kaolinitlerin elektron mikroskop fotoğrafı	26
3.4. Montmorillonit kilinin yapısı	27
3.5. Montmorillonit (smektit) grubu kil minerallerinin elektron mikroskop fotoğrafı	28
5.1. Likit limit deney aletleri	40
5.2. Likit limit deneyinin yapılışı	41
5.3. Su muhtevası-düşüş sayısı ilişkisi ile likit limit değerinin bulunması	41
5.4. Plastik limit deney aletleri	42
5.5. Plastik kıvama getirilmiş zemin örneği	42
5.6. Özgül ağırlık (spesifik gravite) deneyinde kullanılan aletler	44
5.7. Standart proktor deneyi aletleri	46
5.8. Sıkıştırılmış bir zeminde $\gamma_k - \omega$ ilişkisi	46
5.9. Serbest basınç deney aleti	48
5.10. Konsolidasyon deney aleti	49
6.1. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının likit limit değerleri	56
6.2. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının plastik limit değerleri	57

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.3. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının plastisite indisi değerleri	58
6.4. Kimyasal kirliliğe maruz kalmış çeşitli kil karışımlarında özgül ağırlığın değişimi ..	59
6.5. Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımları için optimum su muhtevasının değişimi	60
6.6. Na-Bentonit kili için optimum su muhtevası ve doygunluk çizgileri	61
6.7. Kaolin kili için optimum su muhtevası ve doygunluk çizgileri	61
6.8. Serbest basınç deneyinde kullanılacak numunelerin muhafaza edilmesi	62
6.9. Serbest basınç deneyinde değişik numunelerin kırılma şekilleri	64
6.10. Serbest basınç deneyi sonucunda 1 günlük numunelerin dayanım (q_u) grafikleri (kg/cm^2)	65
6.11. Serbest basınç deneyi sonucunda 28 günlük numunelerin dayanım (q_u) grafikleri (kg/cm^2)	66
6.12. Serbest basınç deneyi sonucunda 1 günlük numunelerin eksenel şekil değiştirme (ε) grafikleri	67
6.13. Serbest basınç deneyi sonucunda 28 günlük numunelerin eksenel şekil değiştirme (ε) grafikleri	68
6.14. Kullanılan atığa ilişkin 1 günlük ve 28 günlük numunelerin dayanım değerleri (kg/cm^2)	69
6.15. Kullanılan atığa ilişkin 1 günlük ve 28 günlük numunelerin eksenel şekil değiştirme yüzdeleri	69
6.16. Değişik oranlardaki kil karışımlarının kirletici etkisi altındaki şişme yüzdeleri	72
6.17. NaCl'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı ..	78
6.18. CaCl'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı ...	78
6.19. KCl 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı ...	79
6.20. PbCl ₂ 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı .	79
6.21. CuCl ₂ 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı	80
6.22. ZnCl ₂ 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması	21
3.2. Yer kabuğunda en fazla bulunan minerallerin ayrışma ürünleri	24
4.1. Deneylerde kullanılan Na-Bentonit'e ait geoteknik ve fizkokimyasal deney sonuçları	31
4.2. Deneylerde Kullanılan Kaolin'e ait Geoteknik ve Fizikokimyasal Deney Sonuçları	32
4.3. Atık malzemenin içeriği	35
4.4. Deneysel çalışmada kullanılan tuz çözeltileri	37
4.5. Deneysel çalışmada kullanılan ağır metal çözeltileri	37
4.6. Deneysel çalışmada kullanılan asit ve baz çözeltileri	37
6.1. Geçirimsizlik katsayısı (k) değerleri (cm/sn)	70
6.2. Konsolidasyon katsayısı (C_v) değerleri (cm ² /sn)	71
6.3. Sıkışma indisi (C_c) değerleri	71
6.4. Kabarma veya şişme indisi (C_s) değerleri	71
6.5. Deneysel yöntemlerde kullanılan kimyasalların su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin pH değerleri	73
6.6. Kirletilmiş Na-Bentonit'e ait pH değerleri	74
6.7. Kirletilmiş kaolin'e ait pH değerleri	74
6.8. Deneysel yöntemlerde kullanılan kimyasalların su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin elektriksel iletkenlik değerleri	75
6.9. Kirletilmiş Na-Bentonit'e ait elektriksel iletkenlik değerleri	76
6.10. Kirletilmiş kaolin'e ait elektriksel iletkenlik değerleri	76
7.1. %100 Na-Bentonit kili için özelliklerin değişimi	83
7.2. %90 Na-Bentonit +%10 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi	83
7.3. %50 Na-Bentonit +%50 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi	84
7.4. %20 Na-Bentonit +%80 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi	84
7.5. %5 Na-Bentonit +%95 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi	85
7.6. %100 Kaolin kili için özelliklerin değişimi	85

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
ADK	Anyon Değişim Kapasitesi
CH	Yüksek Plastisiteli İnorganik Killer
CL	İnorganik Killer (Düşük ile Orta Plastisitede)
EI	Elektriksel İletkenlik
HDPE	Yüksek Yoğunluklu Polietilen
KDK	Katyon Değişim Kapasitesi
LL	Likit Limit
M	Molarite
MH	İnorganik Siltler
N	Normalite
ÖA	Özgül Ağırlık
PL	Plastik Limit
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SYA	Spesifik Yüzey Alanı
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
YSS	Yeraltı Su Seviyesi

1. GİRİŞ

Yaşadığımız yüzyılda, başta insan olmak üzere tüm canlılar için en büyük tehlike; denetimsiz ve doğa dengelerini gözetmeksizin hızla gelişen sanayileşme sonucu oluşan çevresel kirliliktir. Sanayileşme ve artan insan nüfusu sonucunda çok büyük miktarlarda evsel ve endüstriyel atıklar meydana gelmektedir. Bu atıklardan sızan sular çok çeşitli kimyasal, organik ve inorganik maddeleri içermektedirler.

Endüstriyel ve evsel atık depolanma alanlarının yerlerinin belirlenmesi, bu bölgedeki mevcut zemin tabakalarının ve yer altı sularının sızıntı sularıyla kirlenmesinin önlenmesi çok önemlidir. Deponi alanlarında sızıntı sularının yer altı sularına karışmasını engellemek amacıyla; permeabilitesi düşük kil karışımları, jeosentetikler veya her ikisi birlikte kullanılarak bariyer sistemleri oluşturulabilir. Bu bariyer sistemlerinde düşük permeabiliteli kil karışımlarının kullanılması düşük maliyetinden dolayı yaygındır. Deponi alanlarında taban sızdırmazlığını sağlamak için serilen sıkıştırılmış kil tabakalarının farklı kimyasallarla (Tuzlar, Ağır Metaller, Asidik ve Bazik özellikteki çözeltiler) teması söz konusudur. Bu temasın kilin yapısını ve davranışını değiştirdiği bilinmektedir. Kirletici hareketin tanımlanması, bu ortamın çerçevesinin belirlenmesi gerekli önlemlerin alınabilmesi ve doğru tasarımın yapılabilmesi için büyük önem taşır. Bu amaçla yapılacak çalışmaların kapsamı içinde kil astar tabakalarının performansının öngörülebilmesi ve sızıntı yahut deşarj sularıyla kirlenmiş zeminin temel zemini olarak davranışında oluşacak değişikliklerin tanımlanması önemli bir yer tutmaktadır.

Ahmad N.S., Karunaratne G.P., Chew S.H. ve Lee S.L., 105 °C 'de etüvde kurutulan Na-Bentonit ve Kaolin killerini ağırlıkça (0:100), (10:90), (20:80), (30:70), (40:60), (50:50), ve (100:0) oranlarında karıştırarak Atterberg Kıvam Limitlerini belirlemişlerdir. Ayrıca yukarıdaki oranlarındaki Na-Bentonit ve Kaolin karışımları üzerinde yapılan tek boyutlu konsolidasyon testleri, damıtılmış su kullanılarak şişme indeksi ve sıkışabilirlik tayini yapmışlardır. Konsolidasyon katsayısı (C_v), sıkışabilirlik katsayısı (m_v) ve permeabilite katsayısı (k_v) değerleri bu testlerden bulunmuştur. (k) değerlerini ortaya çıkaran oran saf bentonite yakın eşik karışım oranı olarak tanımlanmıştır. Saf kaolin ve eşik karışım oranındaki Na-Bentonit ve Kaoline uygulanan permeabilite testlerinde; damıtık su, 0,25M $CaCl_2$, 0,1M HCl, 0,1M NaOH karışımlarının herbiri hazırlanarak uygun numuneler belirlemişlerdir.

Jo et al (2001); Farklı tuz çözeltilerinin bentonit kili üzerinde şişme etkileri incelenmiştir. Aynı konsantrasyonda, en yüksek şişme sırasıyla NaCl, KCl ve LiCl çözeltileri ile, en düşük kabarma ise $LaCl_3$ çözeltileri ile gerçekleştiğini belirlemiştir.

1991 yılında yapılan 900.000 m²'lik İzmir Harmandalı katı atık depolama sahası tabanında hakim kırık ve çatlak sistemler belirlenmiştir. Yapılan çalışmalarda birçok sondaj kuyusu açılmıştır. Daha sonra çöp depolama alanındaki katı atıkların, yer altı suyuna olabilecek etkisini araştırmak için, derinlikleri 30 metreyi bulan gözlem kuyuları açılmıştır. Gözlem kuyularından ve çeşitli su örneklerinden yararlanılarak elde edilen verilere göre, tüm gözlem noktalarında yeraltı sularının kirliliğe maruz kaldığı belirlenmiştir.

Hassini, S., (1992); New Jersey'deki endüstriyel atıklar 5 depolama alanına atılmaktadır. Tabii kil zeminden ya da kil ile minerallerinin karışımlarından ibaret olan tabakalar 0.60-6.10 m kalınlığındadır. Kil tabakaları, tabaka boyunca atık kirliliğini aşağıya çekecek özellikte inşa edilmiştir. Bu depolama tabanında bulunan kildeki geniş çatlak ve boşluklardan yüksek permeabilite oluşmakta ve tabaka gerilmesi kil tabakası ağırlığından dolayı azalmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, organik kimyasallar ve güçlü asitlerle kil tabakalarının etkileşimlerine de bakılmıştır. Organik kimyasallar ile etkileşime maruz kalındığında permeabilitenin arttığı görülmüştür.

Özbayoğlu (1993); belirli oranlarda (%5, %10, %15, %20) bentonitle karıştırılan kumlu numunelerin değişik çözelti ortamlarında şişme miktarını belirlemek amacıyla serbest şişme deneyleri yapmıştır. Deneylerde distile su, asit (HCl, pH=3), tuz (NaCl, %5, %10, %15), baz (NaOH, %5, %10), gibi çözeltiler belirli yüzdelerde kullanılmıştır. Deneyler, farklı sıkıştırılmış numuneler üzerinde basit olarak geliştirilmiş bir deney düzeninde yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, distile su içindeki şişme değerlerinin, diğer çözelti ortamlarındaki şişme değerlerine göre daha fazla olduğu, bu değerlerin bentonit katkı miktarıyla arttığı, tuz çözeltisi içinde şişme miktarının büyük ölçüde azaldığı ve şişmenin kısa sürede gerçekleştiği, %20 bentonit katılı numunelerde farklı çözeltiler içindeki şişme miktarının büyükten küçüğe doğru distile su, baz çözeltisi, asit çözeltisi ve tuzlu çözelti şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Muhsin Yalçın (1997), çevresel kirlilik şartlarının bentonit kilinin şişme ve büzülme özelliklerine etkisi ile ilgili çalışması sonucunda tuzlu su, çöp suyu ve gazyağı gibi çevresel kirlilik şartları altındaki davranışların şişen zeminin normal su altındaki davranışlarından farklı olduğunu belirlemiştir. Bu farklılık, özellikle tuzlu su durumunda çok daha belirgin olarak görülmektedir. Kireç stabilizasyonu sonunda bentonit kilinin şişme potansiyelinde ve şişme basıncında oldukça fazla azalmalar görülmüştür.

Worrall W.E.; 1940 yılından sonra Hooker Kimya Şirketi'nin atıklarıyla dolan New York Love Kanalı tehlikeli kimyasal atıklarla dikkati çekmiştir. Depolama ünitesi en az 3 metre sıkıştırılmış kil tabakası ve 50 cm yükseklikte üst kaplamadan oluşmaktadır. Tehlikeli atık bileşimli dolgularda kullanılan düşük permeabiliteli kil tabakaları, aktif kimyasalların etkisi ile kilin permeabilitesini artırmıştır. Tehlikenin artması ile Love Kanalında iyileştirme çalışmaları başlamıştır. Dolgunun stabilitesini artırmak için çok tabaka oluşturacak şekilde içten bölünmüş ve daha fazla sentetik tabaka ile kaplanmıştır. Depolanan atıklar karıştırılarak bu problemler ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Bu düşünceyle yapılan ve bu tezde sunulan çalışmada; Na-Bentonit ve Kaolin'in belirli oranlardaki karışımları, kimyasal kirliliği temsilen kullanılan ağır metaller, tuzlar, asidik ve bazik çözeltilerle ve ayrıca diğer kirleticilerle karşılaştırma yapabilmek amacıyla endüstriyel bir atıkla karıştırılarak Atterberg Kıvam Limitleri, Özgül Ağırlık, Serbest şişme, Konsolidasyon, Sıkışma, Elektriksel İletkenlik, pH, Dayanım özellikleri ve ayrıca dayanım özelliklerinin zamanla ve muhafaza şartlarıyla değişiminin ne ölçüde etkilendiği araştırılmıştır. Kirletici etkisindeki kil karışımlarında mikro yapısal özelliklerin değişimi belirlenmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan kimyasallar endüstride yaygın olarak kullanılmakta ve kullanım sonucu oluşan endüstriyel atıklarda büyük miktarlarda bulunmaktadır.

Örnek vermek gerekirse, atom yakıtları ile ilgili işlerde NaCl, gübre sanayiinde KCl, tekstil boyacılığında, piroteknikte, fotoğrafçılıkta, petrol endüstrisinde koku ve kükürt giderilmesinde $CuCl_2 \cdot 2H_2O$, galvaniz yapılmasında ve amonyum klorürle beraber lehincilikte, aktif kömür elde edilmesinde, eşyaları ateşe karşı dayanıklı kılmak için ve parşömen kağıdı imalinde, tekstil boyacılığında mordan olarak, merserize pamuk elde edilmesinde, kauçuk vulkanizasyonunda $ZnCl_2$, sabun endüstrisinde, kağıt, tekstil endüstrisi, petrol rafinerileri, rayon ve sellüloz filmlerin imalatında NaOH gibi kimyasal maddeler günümüzde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Kaldı ki endüstride kullanılan kimyasal maddeler bunlarla da sınırlı değildir.

Bu tezde kullanılan killer; yüksek plastisiteli Na-Bentonit, düşük plastisiteli Kaolin ve bunların %90 Na-Bentonit + %10 Kaolin, %50 Na-Bentonit + %50 Kaolin, %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin, %5 Na-Bentonit + %95 Kaolin oranlarındaki seçilen karışımları kullanılmıştır. Bu karışım oranları literatürdeki çalışmalarda kullanılan karışım oranlarına göre seçilmiştir. Karışım oranlarını arttırmak, hatta kullanılan kil çeşidini arttırmak mümkündür ve deponi alanlarında taban sızdırmazlığını sağlamak için geçirimsiz bariyer tabakanın oluşturulmasında doğru tasarımın yapılabilmesi büyük önem taşır.

Genel olarak; bu çalışmada kullanılan killer ve kimyasal maddeler, evsel veya endüstriyel atık deponi alanlarında bulunmaktadır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar; geoteknik özellikleri ne şekilde değiştireceğini göstermektedir. Bu sonuçlara göre bir fikir edinmek mümkündür. Ancak tasarlanacak deponi alanının barındıracağı atık cinsine göre belirlenmesi, bu atığın kimyasal analizinin tam olarak bilinmesi, kullanılacak kil seçiminin uygun olması, geçirimsiz tabakanın tasarımı ve çevre sağlığı açısından çok büyük öneme sahiptir.



2. ÇÖP DEPOLAMA ALANLARI İLE İLGİLİ BAZI GENEL BİLGİLER

2.1. Çöp Depo Yerlerinin Seçimi ve İnşası ve İşletmesi Esnasındaki Önlemler

2.1.1. Katı atık depolama alanları seçimi kriterleri

Depo yerlerinin belirlenmesinde üzerinde çalışılması gerekli ana koşullar:

- Ulaşım ve meskun mahal durumu,
- Meteorolojik durum,
- Jeomorfolojik durum,
- Jeolojik ve hidrojeolojik durum,
- Jeoteknik inceleme,

olarak sıralanabilir (Baran, 1995).

2.1.1.1. Ulaşım ve meskun mahal durumu

Deponi sahasına ulaştırılacak katı atıkları; optimal uzaklıklara çevreyi etkilemeyecek şekilde uygun yol ve güzergahlardan özel araçlarla taşınmalıdır. Bunun ulaşım ekonomisi açısından önemi vardır. Deponi alanlarının meskun mahallere olan uzaklığı bir kilometreden daha az olmamalı, deponi yerleri kötü manzara etkisi yapmayacak noktalarda bulunmalı ve görüntü kirliliğine yol açmamalıdır. Çevresel olumsuzlukların yaşanmaması için çöp depolama alanı seçimlerinde şehircilik açısından da çok iyi planlama gerekmektedir.

2.1.1.2. Meteorolojik durum

Katı atık deponi tesisinin tasarımında sıcaklık, yıllık yağış miktarı, buharlaşma değerleri ve rüzgar yönlerinin bilinmesi gereklidir. Rüzgar yönleri koku etkisi bakımından önemlidir, bu nedenle hakim rüzgar yönleri ile meskun mahallerin aynı doğrultuda bulunduğu alanlarda depo yeri seçilmemelidir (Baran, 1995).

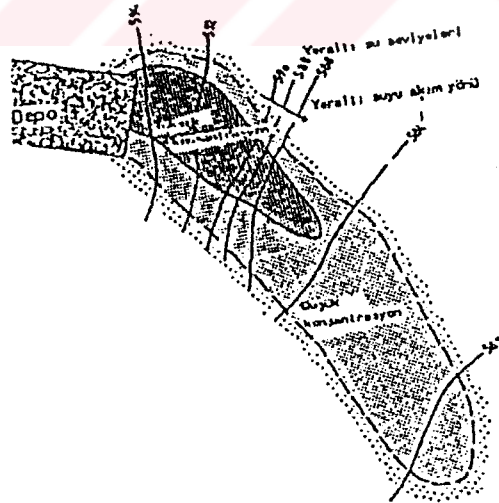
2.1.1.3. Jeomorfolojik durum

Depo inşaa edilecek saha; mümkün olduğunca su toplama havzaları dışında tutulmalı, sürekli ve süreksiz yüzeysel akışlardan etkilenmeyecek yerlerde seçilmeli özellikle dere yataklarından kaçınılmalıdır. Heyelan, sel ve çığ tehlikesi açısından yüzey eğimi ve duyarlılığı

çok önemlidir. Bu nedenle katı atık deponi yerleri için çöp depo alanları drenaj ağının kurulabileceği en az eğime sahip alanlar elverişlidir (Baran, 1995).

2.1.1.4. Jeolojik ve hidrojeolojik durum

Yukarıdaki durumların optimal yaklaşımlarla ele alınıp sentezlenmesiyle belirlenecek alternatif alanların 1/5000 ölçekli jeolojik ve hidrojeolojik detay etüdü yapılmalıdır. Zira depo yeri seçiminde temel husus yeraltı ve yerüstü su kirliliğine yol açılmamasıdır. Bunun için yörede mevcut kayaların litolojik, stratigrafik, tektonik özellikleri belirlenmeli fay, çatlak sistemleri gibi kırıklı yapılar değerlendirilerek riskli yerlerden kaçınılmalıdır. Kırıklı ve karstik yapı arz etmeleri nedeniyle kireçtaşları, sık çatlaklı magmatik kayalar, kumtaşı-konglomera, gevşek kum ve çakıllar gibi porozite ve permeabiliteleri yüksek, akifer niteliği taşıyabilecek kayalar, deponi alanın düşey ve yatay yakın zonlarında yer almamalıdır. Kiltası, marn, silttaşı ve bunların ayrışımından oluşan fliş karakterindeki seriler, fazla ayrışmamış ofiyolitik kayalar deponi sahaları için uygun zemin oluşturabilirler. Akifer niteliği taşıyan formasyonlar üzerinde kurulan katı atık depolarından oluşabilecek muhtemel kaçaklar yeraltı sularına karışmakta ve yeraltı suyu akım yönlerince kirlilik yayılmaktadır (Barkowski, 1990). Katı atık deponilerinin yer altı sularını etkilemesi Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



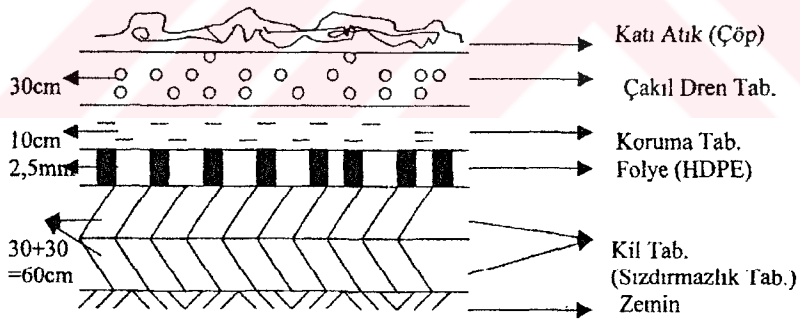
Şekil 2.1. Katı atık deponilerinin yeraltı sularını etkilemesi (Barkowski, 1985)

2.1.1.5. Jeoteknik inceleme

Yeri kesinleştirilen katı atık deponi yerinde depo hacmi ve kapasitesi dikkate alınarak yeterli zemin sondajı yapılmalıdır. Kayaçların mekanik ve diğer mühendislik özellikleri sayısal olarak ortaya konulmalı zemin taşıma kapasitesi belirlenip deprensellik dikkate alınarak depo tasarım ve inşaatı gerçekleştirilmelidir. Bütün bu çalışmalara ek olarak depo yeri ve çevresinin su kimyası belirlenmelidir. Bunun sonradan meydana gelebilecek değişiklikleri anlamada büyük önemi vardır (Baran, 1995).

2.1.2. Depo inşaatı ve işletmesi esnasındaki önlemler

Deponi sahasının işletmesi esnasında depo üzerine düşen yağışlardan ve/veya katı atığın kendi bünyesinde oluşabilecek kirli suyun yeraltı ve yüzey sularını kirletmesine engel olmak için özellikle sızıntı suyun miktarını azaltmak, bu suyun zemine sızmasını önleyerek drene etmek ve toplanan suları arıtmak gerekmektedir. Ayrıca uygun zemin koşulları oluşturulan depo tabanı özel bir izolasyon tasarımıyla inşa edilmektedir (T.C. Çevre Bakanlığı Yönergesi, 1993). Bu tasarıma ilişkin katı atık taban kesiti Şekil 2.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Katı atık tabanı kesiti
(T.C. Çevre Bakanlığı Katı Atık Depo Alanları Yönetimi ile İlgili Yönerge 1993.)

Katı atık deponilerinin gerek işletmesi esnasında, gerekse depo tamamlanıp kapatıldıktan sonra yeraltı sularının kirlenip kirlenmediği hidrolik önlemler çerçevesinde denetlenmelidir.

Bu nedenle depo sahası yakın çevresine açılacak monitör kuyular vasıtasıyla yeraltı su durumu kontrol edilmeli, periyodik numuneler alınıp kimyasal analize tabi tutulmalıdır. Yine depo yakınında açılması gerekli kuyulardan yüksek debili pompaj yapılarak yeraltı su seviyesi düşürülmeli ve kirliliğin yayılmasının önüne geçilmelidir (Aktaş, 1993)

Depo kapasitesi tamamlandı, işletmeye son verildiğinde tavan izolasyonu gerçekleştirilmekle ve depodaki katı atık kökenli gaz; depo inşası devamınca kurulacak filtreli boru sistemi vasıtasıyla drene edilerek dışarıya alınmakla ve toplanan gazdan enerji üretiminde yararlanılabilmektedir. Böylece hem ekonomiye katkı sağlanmakta hem de deponiden kaynaklanan kötü koku, yangın ve patlama tehlikelerinin önüne geçilebilmektedir (Baran, 1995).

2.2. Atıkların Depolanmasında ve Kontrolünde Jeolojinin Önemi

2.2.1. Katı atıkların çevredeki zararlı etkileri

Hiç bir önlem alınmaksızın doğadaki çukurlara depolanan atıklar çevrede aşağıdaki olumsuz etkilere neden olurlar.

- Atık deposundan sızan suların yeraltı suyuna karışması,
- Kirlenmiş yeraltı sularının üretim kuyularıyla alınması, içme, kullanma ve sulama suyu olarak kullanılması,
- Atık deposundan zehirli gazların atmosfere karışması ve insanlar tarafından solunum yoluyla bünyeye alınması,
- Zeminde ve binaların bodrum katlarında patlayıcı zehirli gazların yoğunlaşması,
- Toprak kirliliği (Karagüzel, 1992).

2.2.2. Depolama ortamlarının yer bilimciler tarafından değerlendirilmesi

Önlenişiz bir depolama ortamının çevrede yarattığı tehlikenin analizinde ve alınacak önlemlerin projelendirilmesinde ortamın jeolojik yapısı ve hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi zorunludur.

2.2.2.1. Depolama ortamının jeolojik yapısı

Katı atıkların depolandıkları doğal ortamlardan çevre koruma açısından aşağıdaki temel özellikler istenmektedir.

- Çok düşük geçirimsizlik, mümkünse geçirimsizlik,
- Yeteri kadar büyük hacim,
- İyi derecede sorbsiyon özelliği.

Doğada bulunan kayaçlar;

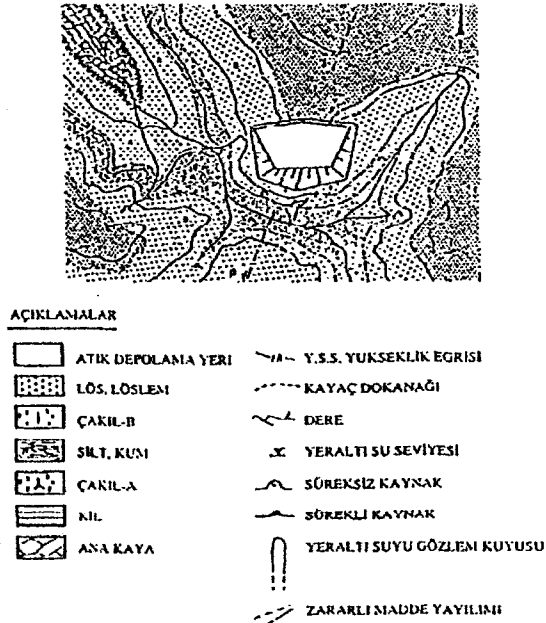
- Mağmatik kayaçlar,
- Tortul Kayaçlar,
- Başkalaşım kayaçları.

olmak üzere üç ana sınıf başlığı altında toplanabilirler. Her bir kayaç sınıfını da değişik kriterlere göre daha alt sınıflara ayırmak mümkündür.

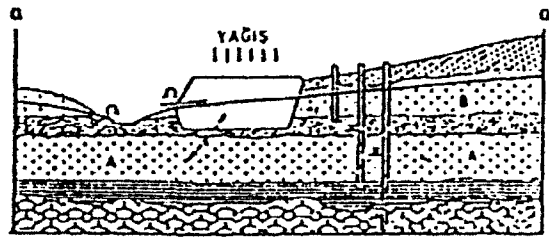
Yer bilimciler bu kayaçları incelerken, tür ne olursa olsun aşağıdaki temel özelliklerini araştırırlar;

- Minerolojik-Petrografik özellikleri,
- Tabakalanma durumu,
- Ayrışma (bozuşma) derecesi,
- Yapısal özellikleri,
- Geçirimsizliği.

Bu özelliklerin doğrultusunda kayaç türleri farklılıklar gösterirler. Jeoloji mühendisleri bu değişik türden kayaçların 1/25000-1/1000 ölçekli haritalarını çizerler, Haritalama işlemi yüzeysel gözlemlerden yararlanır. Şekil 2.3. a'da şüphe teşkil eden tipik bir depolama ortamı ve yakın dolayının jeoloji haritası gösterilmiştir.



Şekil 2.3. (a) Atık deposu dolayının jeoloji-hidrojeoloji haritası



Şekil 2.3. (b) Atık Deposu Dolayının Jeoloji-Hidrojeoloji Harita Kesiti

Gerek zararlı elementlerin ortamdan taşınma mekanizmasının analizi, gerekse önleyici tedbirlerin sağlıklı planlaması ve uygulaması açısından yeraltı jeolojisinin belirlenmesi gerekir. Bunun içinde yüzeysel gözlemlerin yanında mekanik (sondaj, kuyu, yarma, galeri vb) ve jeofiziksel araştırma yöntemlerinden yararlanarak kayaçların yeraltında dağılımını gösteren jeolojik kesitler hazırlanır. Şekil 2.3. b'de Şekil 2.3. a'daki bölgeden a-a' doğrultusunda alınmış bir jeolojik kesit gösterilmiştir. Burada atık deposunun jeolojik ortamdaki konumu belirgin olarak görülmektedir.

2.2.2.2. Depolama ortamının hidrojeolojik özellikleri

Atıklardan zehirli elementlerin çevreye dağılımı ilk etapta efektif boşluk hacmine bağlı olarak yeraltı suyunun yardımıyla olacaktır. Bu nedenle depolama ortamı dolayının hidrojeolojik etüdünün de yapılması gerekmektedir.

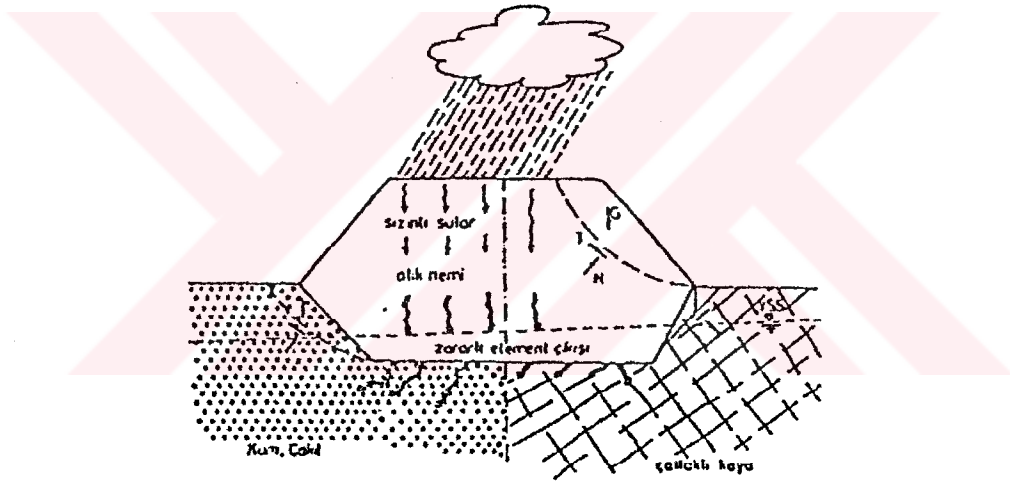
Böyle bir araştırmanın aşağıdaki konulara açıklık getirmesi beklenmektedir.

- Doymamış bölge kalınlığı
- Yeraltı su seviyeleri
- Kayaçların porozitesi
- Kayaçların geçirimsizlik katsayısı
- Yeraltı suyu ve sızıntı sularının kimyası
- Kimyasal reaksiyonlar (zemin-su-kayaç)

Yapılan araştırmalar değişik ölçekli (1/25000-1/1000) hidrojeoloji harita ve kesitleri üzerinde gösterilir. Hidrojeoloji haritaları çok çeşitlidir. Bunlara yeraltı su seviye haritaları, su kimyası haritaları örnek olarak gösterilebilir.

Şekil 2.3. a'da, şüphe teşkil eden atık depolama ortamı dolayının, jeoloji haritası üzerinde, yeraltı su seviyesi eş yükselti eğrileri gösterilmiştir. Bu haritalardan yararlanarak

yeraltı suyunun akım yönünü ve hidrolik eğimini bulmak mümkündür. Eğer ortamın geçirimsizlik katsayısı da (K ; cm/sn) biliniyorsa hidrolik hız (V ; cm/sn) ve hidrolik eğim (I) Darcy kanununa göre $V = K \cdot I$ formülünden hesaplanır. Akım yönü de belli olduğuna göre zehirli elementlerin hangi zaman aralığında ne kadar yol kat edeceği kolaylıkla saptanır. Ancak bu hesaplamalar burada verildiği şekilde basite indirgenemez. Yapılan analizlerde çimentosuz kayalarda poroziteye bağlı bir geçirimsizlik değeri belirlenip hesaplamalarda baz olarak alınırken, çimentolu masif kayaç türlerinde kırık sistemlerine (tabak, çatlak, fay vb.) bağlı bir geçirimsizlikten söz edilebilir. Öte yandan çimentosuz kayalarda tane boyu çapına bağlı olarak geçirimsizlik değeri değişmektedir. Çatlaklı ortamlarda da kayacın kendi geçirimsizliği ihmal edilirken, kırık düzlemlerinin özelliklerine göre değişen geçirimsizlik önem kazanmaktadır. Geçirimsiz bir temel üzerindeki atık deposu Şekil 2.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Geçirimsiz temel üzerinde atık deposu (Karagüzel, 1992).

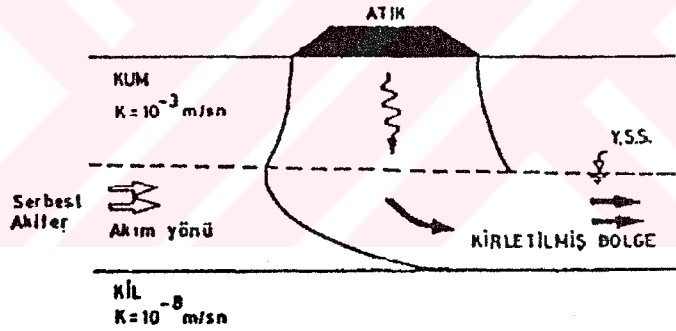
Öte yandan atık depo tabanının yeraltı su seviyesi (Y.S.S.) ile olan ilişkisi zararlı element taşınması mekanizması açısından önem taşır. Bununla ilgili olarak üç farklı depolama ortamından söz edilebilir.

- 1) Atık deposu tabanı yeraltı su seviyesinin altında: Bu durumda depo su seviyesi yeraltı su seviyesinin altında tutulur. Hidrolik eğimden dolayı depodan dışarıya bir akım söz konusu olamaz. Depodan zararlı element taşınması ancak difüzyon yoluyla, yani iyon ve moleküller şeklinde olur.
- 2) Atık deposu tabanı yeraltı su seviyesine yakın: Bu durumda yeraltı su seviyesi (Y.S.S.)'den kapilerite ile yükselen sular doğal ve yapay malzemelerle yapılan

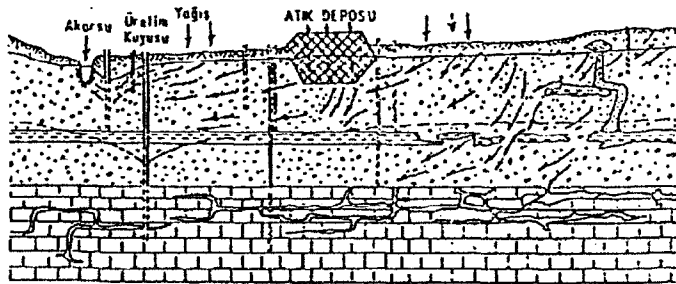
geçirimsiz depo tabanının su muhtevasının değişmesine, dolayısıyla tahribata neden olur. Öte yandan difüzyonla taşınma sağlanmış olur.

- 3) Atık deposu doymamış bölgede ve yeraltı su seviyesi (Y.S.S.) çok derin: Zararlı element hareketi ilk etapla yerçekiminin etkisi altında düşey doğrultuda olacaktır. Yatay yönde dağılım yeraltı suyu yüzeyine ulaştıktan sonra akım yönünde gerçekleşir. Bu suretle yeraltı suyunu bulunduran, taşıyan ve gerektiğinde verilebilen ortam olarak tanımlanan akifer kirlenmiş olur. Akiferler doğada değişik şekillerde (serbest, basınçlı, karstik vb.) bulunurlar. Kirletici elementlerin yer altı suyu akımı ile dağılımı Şekil 2.5.'de gösterilmektedir.

Tanımları gereği birbirleri ile bağlantısız olarak değerlendirilen bu akifer ortamlara çevre sağlığı açısından şüpheli gözle bakmakla yarar vardır. Şekil 2.6.'da geçirimli bir tabanı olan bir atık deposunun serbest, basınçlı ve karstik akiferlerin yanında yüzeysel suları da kirletebileceği şematik bir kesit üzerinde gösterilmiştir (Toussaint, 1989).



Şekil 2.5. Kirletici elementlerin yer altı suyu akımı ile dağılımı (Karagüzel, 1992)



Şekil 2.6. Çeşitli akiferlerde kirlilik dağılımının şematik gösterimi (Toussaint, 1989)

2.2.3. Depolama tekniği

Tehlikeli ve zararlı atıklar gerek kendi kimyasal yapıları, gerekse depolama yerinde oluşan karışım sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu partikül, gaz ve suda çözülmüş maddeler halinde çevreye zarar vermektedirler. Bu nedenle eski atık depolarının emniyet altına alınması ve yeni atıkların uygun tekniklerle depolanması gerekmektedir.

Avrupa Ekonomik Topluluğunun 27.6.1985 tarihli kararı ile atık depolama ortamı seçiminde 1. ve 2. dereceden yasak bölgeler belirtilmektedir.

Birinci Derecede Yasak Bölgeler

- İçme suyu mutlak koruma alanları I-III/III-A,
- Kaplıca koruma alanları I-III,
- Gölet-sel kapama ve bunların taşkın alanları,
- Baraj göl alanı ve mansapta taşkın tehlikesi olan alanlar,
- Yerleşim alanları ve bunların 500 m'lik koruma alanları, doğa koruma alanları, milli parklar,
- Açık maden işletme, trafik, yüksek gerilimli enerji nakil hatları, gaz taşıma hatları, havaalanı koruma vb. alanlar.

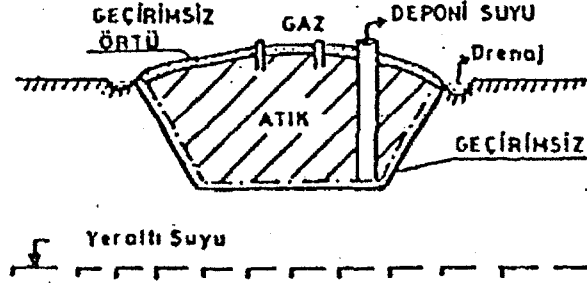
İkinci Derecede Yasak Bölgeler

- Kirlenme tehlikesi olan akiferler,
- İçmesuyu mutlak koruma alanı III-B zonu,
- Kaplıca koruma alanları IV. zon,
- Yeraltısuyu beslenme alanları,
- Doğa koruma alanları, milli parklar,
- Koruma ormanları, yeşil alanlar, turistik alanlar, verimli tarım alanları.

Bir bölge yukarıda belirlenen kriterlere göre depolama yeri olarak uygun görülse bile, jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerinin de olumlu olması gerekmektedir. Depolama yerlerinin jeolojik ve hidrojeolojik etüdlerinin mutlak suretle yapılması gerekir. Ekonomik ve sağlıklı bir depolama ancak jeolojik ortam koşullarına uygun tekniklerin seçimi ile gerçekleşebilir (Aydemir, İ., 1999)

Gerek eski atık depolarının emniyet altına alınması, gerekse yeni atıkların depolanmasında düşey ve yatay taban geçirimsizlik elementlerinden yararlanır. Atık depolarının üstü de kapatılarak, bir taraftan yağış sularının depo içerisine girmeleri önlenirken,

diğer yandan da zehirli gazların atmosfere karışması engellenmiş olur. Şekil 2.7.'de izole edilmiş bir atık deposu gösterilmektedir.



Şekil 2.7. Modern bir atık deposunun şematik görünümü (Karagüzel, 1992)

Geçirimsizlik elementlerinin uzun zaman periyodunda işlevlerini yerine getirebilmesi için mekanik baskılara karşı stabil, kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklı, kolay inşa edilebilir ve mümkünse bakım gerektirmemelidirler.

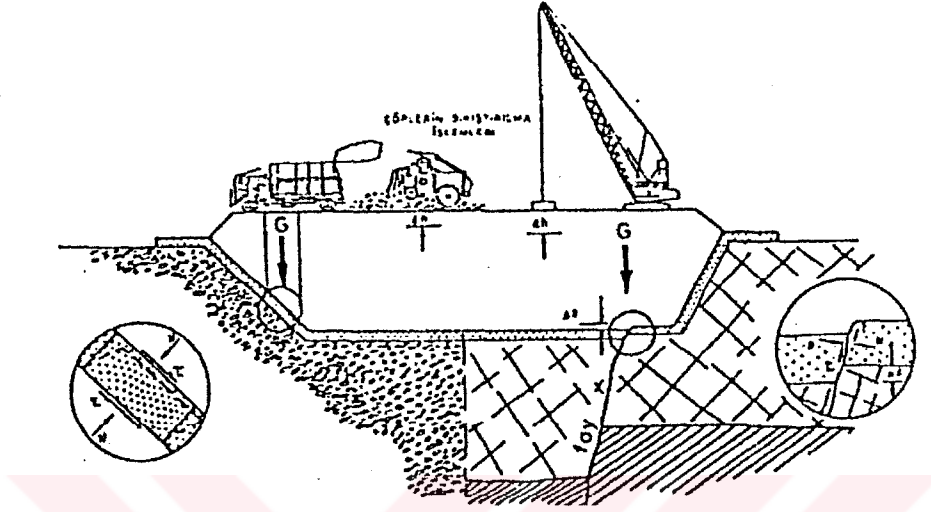
Geçirimsiz taban olarak ya doğal bir geçirimsiz katmandan (kil tabakası) yararlanılır ya da yapay geçirimsizlik zonları oluşturulur.

Zararlı elementlerin depolama ortamından yatay yönde dağılımını engellemek için düşey geçirimsizlik duvarları oluşturulur. Bunun için temel kayanın özellikleri büyük bir itina ile belirlenmelidir. Her bir kayaç türü farklı tekniklerle geçirimsiz hale getirilir. Zeminlerde malzeme değiştirmek yoluyla maksimum düzeyde geçirimsizlik sağlanır. Buna karşın çatlaklı kaya ortamlarda çimento şerbeti enjeksiyonu ile çatlak açıklıkları doldurularak geçirimsiz zonlar oluşturulur.

Geçirimsiz tavan, atık depolarının inşasında özen gösterilmesi gereken kaçınılmaz bir bölümü teşkil eder. Bir yandan yağış sularının depo içerisine girmesini, diğer taraftan zehirli gazların atmosfere karışmasını engellemektedir. İnşası ve bakımı oldukça kolay olan bu tavanın, beklenmedik oturmalar karşısında stabil, erzyon ve dona karşı dayanıklı olması istenir.

Geçirimsizlik elementlerinin işlevlerini uzun zaman periyodunda yerine getirebilmeleri açısından temel kayanın stabilitesi de önemlidir. Temel kayada beklenilmedik bir deformasyon (oturma veya aktif bir fay düzleminde hareketler) tabanın hasar görmesine neden olur. Geçirimsiz elementler çöplerin sıkıştırılma işlemleri gibi yüzeysel basınçlardan dolayı da hasar görmektedirler. Bu nedenle atık depolarının inşasında, hem temel kayanın, hem de geçirimsiz üst yapı malzemesinin jeoteknik özelliklerinin sağlıklı bir şekilde belirlenmesi gerekir.

Geçirimsiz tabanda ortaya çıkan bir arızanın tamirati çok zordur (Karagüzel, 1992). Geçirimsiz tabanları etkileyen kuvvetler ve oluşturdıkları hasarlar Şekil 2.8.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.8. Geçirimsiz tabanları etkileyen kuvvetler ve oluşturdıkları hasarlar

2.3. Çöp Depolama Alanlarında Kullanılan Geçirimsizlik Malzemeleri

Çöp depolama alanlarında geçirimsiz tabaka için aşağıda verilen çeşitli malzemeler kullanılabilir.

- Kil, granüler filtre malzemesi,
- Geotekstil ve kil karışımı,
- Geotekstil ve granüler filtre malzemesi karışımı,
- Kil ve geotekstil/geonet karışımı,
- Kil ve geomembran karışımı,
- Geomembran ve granüler filtre malzemesi karışımı,
- Geotekstil ve geomembran karışımı,
- Geomembran ve geonet karışımı.

Sızdırmazlık için doğal malzeme olarak sıkıştırılmış kil, sızıntı suyu drenaj tabakası olarak granüler filtre malzemesi kullanılmaktadır. USCS sınıflandırma sistemine ait CH, CL ve MH tipi killeri kullanım için tavsiye edilir. Kil, hidratlı alüminyum ve magnezyum silikatlarından oluşan doğal bir ikincil mineraldir. Dane boyutu 2 mikron veya daha küçüktür. Kil daneleri su içinde, yapısına suyu tutar. Bunun nedeni kil danelerinin spesifik yüzey alanlarının büyük olmasıdır. Ayrıca tabakalar arasındaki hidrojen bağı tabakalarının birbirine sıkıca bağlı

olması nedeniyle de daneler su ortamında bozulmadan durur. Bu özelliğinden de anlaşıldığı gibi kilin yapısı diğer zeminlerden farklıdır. Bunun yanında bentonit, zeolit veya ince kil ile karıştırılarak hazırlanan düşük permeabiliteli kil tabakası da sızdırmazlık tabakası olarak kullanılabilir. Kil sızdırmazlık tabakalarında aranan özellikler; düşük permeabilite, yeterli kompaksiyonun sağlanması, kirleticilerin difüzyon yoluyla düşük yayılımı gibi. Bentonit, koloidal alüminum hidrosilikattır ve hacmi su ile 10 ile 30 kat artar. Zeolitler ise alüminyum silikat minerallerinden oluşmuşlardır. Zeolit kilinin spesifik yüzey alanı, $29,87\text{m}^2/\text{gr}$ 'dir.

Zemin davranışını iyileştirme amacıyla kullanılan bütün sentetik malzemelere geosentetik denir. Geosentetik türlerinin başlıcaları; geotekstil, geomembran, geonet (geoağ), geohasır, geokompozittir. Geotekstillere, geçirimsiz ve esnek malzemelerdir. Özellikleri, mekanik olarak çekme dayanımını, gerilme-deformasyon özellikleri, sünme, delinme dayanımı, yırtılma dayanımı ve patlama dayanımıdır. Hidrolik özelliği ise; geçirgenlik ve gözenek boyutlarıdır. Ayrıca U.V. ışığı, ısı, su, kimyasal madde ve mikroorganizma açısından dayanıklıdır. Geomembranlar geçirimsizdir. HDPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) kimyasal etkilere ve U.V. ışınlarına dayanımı, arazide birleştirmenin kolay oluşu, farklı kalınlıklarda bulunabilmesiyle düşük maliyetli olması nedeniyle sık kullanılır. Bunun yanında PVC (polivinil klorür) geomembranları da düzenli deponilerde kullanılır. HDPE, kimyasal maddelere yüksek dayanımları nedeniyle taban kaplamasında daha çok kullanılır.

2.4. Deponi Alanı Dizaynı Önerileri

Uygun arazi koşulları elde edildikten sonra düşük permeabiliteye sahip dolgu için uygun kil tercih edilir. Stabilitayı sağlamak için belirlenen kil tabakası yerleştirilmesiyle yer altı suyunun kirlenme riski azaltılmış olacaktır. Bu tabaka sadece kil olabildiği gibi kile mukavemeti artırıcı malzemeler (Zeolit, Bentonit, Kum gibi) eklenebilir. Bunun yanında, kil iyi sıkıştırıldığında en geçirimsiz malzemedir.

Arazi eğimi, kamyonun inebileceği esas alınarak % 7 - % 10 olarak alınabilir. Sızıntı suyundaki mevcut ağır metaller kil tabakası ile tutulmaya çalışılacaktır. Dolgu alanındaki ilk şart demir metalinin yer altı suyuna ulaşmamasıdır. Katı Atık Yönetmeliği madde 26'da, depo tabanı, tabi yer altı suyunun maksimum seviyesinden en az 1 m yüksekte olması gerektiğinden söz edilmektedir. Depo tabanı, kalınlığı en az 60 cm olan kil zeminle sıkıştırılır.

Zemin permeabilitesi, en az 1.10^{-8} m/sn olmalıdır. Geçirimsiz hale getirilen taban üzerine, dren boruları döşenerek sızıntı suları bir noktada toplanır. Bu drenaj borularının çapı, min 100 mm ve min eğimi % 1 olmalıdır. Dren boruları, münferit borular şeklinde, yatayda ve

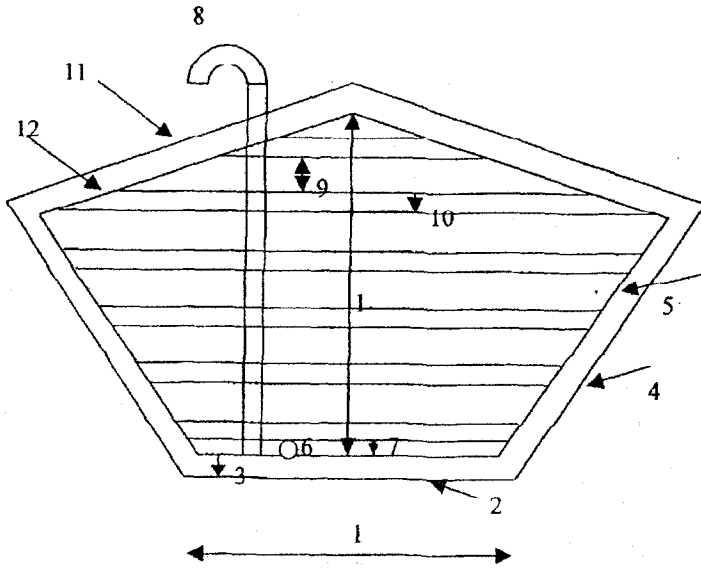
düseyde kıvrım yapmadan doğrusal olarak depo sahası dışına çıkarılacaktır. Depo tesisi çıkışında kontrol bacaları bulunur. Ayrıca dren boruları çevresine kum-çakıl filtre yerleştirilir. Bu filtrenin boru sırtından itibaren yüksekliği min 30 cm'dir.

Depo kütleinde havasız kalan maddenin, mikrobiyolojik olarak ayrışması sonucu çevreye yayılarak, patlamalara, zehirlenmelere sebep olabilecek metan gazı ağırlıklı olmak üzere karbondioksit, hidrojen sülfür, amonyak ve azot bileşikleri, yatay ve düsey gaz toplama sistemi ile toplanır ve kontrollü olarak atmosfere verilir veya enerji üretmek sureti ile değerlendirilir. Depolama işleminin tamamlanmasından sonra veya şevlerde dolgu sırasında, depo sahasının görünüş olarak çevreyi rahatsız etmemesi ve arazinin tekrar kullanılabilir hale getirilmesi için yeşillendirilmesi, ağaçlandırılması, deponun en üstüne ve şevlere tarım toprağı serilmesi gerekir. Depo kütlesi üzerine düşen yağmurun kısa sürede sahayı terk edebilmesi için en üst toprak tabakasının eğiminin % 3 'den büyük olması gerekir.

Boyutları, temel eğimi, geçirimsiz alt tabaka kalınlığı, arazi eğimi, depo duvarı kalınlığı kil tabakası kalınlığı, sızıntı drenaj boruları, kum-çakıl drenaj tabakası kalınlığı, gaz havalandırma bacaları, sıkıştırılarak madde atık tabakası yüksek, atık tabaka üzerine sert toprak kalınlığı, kaplama eğimi ve üst kaplama kil tabakası belirlendikten sonra deponi dizayn hesabı belirlenmiş olur. Katı Atık Yönetmeliğinde sıkıştırılacak çöp katmanının 2m 'yi aşmaması öngörülür. (Sıkıştırılmış çöp yoğunluğu 560 kg/cm 'dür)

$$\text{Optimum Dolgu yüksekliği} = \frac{\text{Zeminin Taşıma Yüksekliği}}{\text{Sıkıştırılmış Çöp Yoğunluğu}}$$

Kil tabakası 30cm gevşek olarak seçilmeli ve kompaksiyon yapılmadan 1-3 gün beklenmelidir. Depolanan atığı, yağış ve çevredeki sulardan korumak amacıyla üst kaplama tabakası kilden yapılabilir. En üstte atık tabakası üzerine 25 cm kalınlığında geçirimsiz kil tabakası üzerine 60 cm 'lik altlık olarak ölü toprak, 10 cm'lik bitki yetiştirmek için üst toprak yerleştirilmelidir. Ayrıca, yağmur sularının depo tabanına sızmasını önlemek için depo çevresi bir hendekle kuşatılabilir. Hendek eğiminin en az %1 olması ve akıntıyı sağlaması gerekir. Tipik bir çöp depolama alanı Şekil 2.9.'da gösterilmektedir.



1. Deponi temel genişliği ve yüksekliği
2. Temel eğimi
3. Geçirimsiz alt tabaka kalınlığı
4. Arazi eğimi
5. Deponi duvarı kil kalınlığı
6. Sızıntı drenaj boruları
7. Kum-çakıl drenaj tabakası kalınlığı
8. Gaz havalandırma bacaları
9. Sıkıştırılacak max. atık tabakası kalınlığı
10. Atık tabakası üzerine serilecek toprak+kireç kalınlığı
11. Kaplama eğimi
12. Üst kaplama tabakası kalınlığı

Şekil 2.9. Tipik bir çöp depolama alanı

3. KİLLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Kayıtlı tarihin başlangıcından beri, kendilerine ait üstün kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı insanoğluna çok yönlü yararlı bir malzeme olan killer, doğada yaygın olarak bulunan ve önemli endüstri kollarının ana hammaddesini oluşturan bir malzeme olmalarının yanı sıra, çeşitli mühendislik uygulamalarında temel zemini, yapı malzemesi veya yer üstü ve yeraltı kazılarında sorunlar yaratabilen bir malzeme olarak da mühendislerin karşısına çıkmaktadır. Fizikokimyasal özellikleriyle de ilgi çeken killer, ayrıca ziraat açısından da büyük önem taşımakta ve tarım sektörünün temel taşı oluşturmaktadır (Işık, 1996).

Murray (1996) killerin plastikliğini etkileyen faktörleri; kil minerallerinin tipi, parça boyutu, tane şekli, organik madde, çözünür tuzları, iyon adsorpsiyonu, kil dışı minerallerin miktarı ve tipi, killerin kuru (dry strength) ve ham (green strength) dayanımları olarak belirtmiştir. Plastiklik ve ham dayanım birbirlerine yakın kavramlardır. Kuru dayanım mevcut ince tane oranına, tanelerin şekline, kil fraksiyonunun hidrasyon derecesine, mamul üretim metoduna ve kurutma oranına bağlıdır.

3.1. Kil ve Kil Mineralinin Tanımı

Kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemedir. Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatleri kapsarsa da, plastiklik veren ve kurutulup veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kildeki ortak fazlar, plastiklik yapmayan materyaller ve organik maddeler içerebilir.

Kilin “doğal oluşum” zorunluluğu, sentetik olanları kapsam dışı tutar. Mineralin standart tanımı esas alındığında, killer başlıca inorganik materyaller olup, çok miktarda organik madde içeren turba, bataklık çamuru ve bazı topraklar kapsam dışında tutulur. Organik fazlar gibi ortak fazlar kilde bulunabilir.

“Kil minerali” tanımı, tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişmeyle sertleşen mineraller için kullanılır.

3.2. Kil Minerallerinin Özellikleri

Kil minerallerinin özellikleri, yüzey alanı, yüzey yükü, katyon değiştirme kapasitesi, su ile etkileşmesi, organik bileşiklerle etkileşmesi, plastisite, tiksotropi vb. gibi mineralojik,

kimyasal ve fiziksel özellikler ile doğrudan veya dolaylı olarak ilgilidir. Geoteknik mühendisleri için kil minerallerinin en önemli özellikleri katyon değiştirme kapasitesi ve killerin su ile etkileşimleridir.

Katyon değişimi üç bakımdan önemlidir. Tabaka yükünü nötr yaparlar, fiziksel etkileri vardır (örneğin bir çok kil mineralinin endüstriyel özellikleri ve X ışını verileri, katyon sayısı ve mineral yapısı ile değişebilir). Kimyasal etkileri vardır. Kil mineralleri yer aldığı bir çok tepkimeyi yönlendirirler. Kil boyutunda mineraller içeren kil minerallerinin bir çok özelliği kil mineraline bağlı su ile ilgilidir.

3.3. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Pek çok araştırmacı tarafından killerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri esas alınarak sınıflama türleri geliştirilmiştir. Fakat hala kesin bir sınıflama mümkün değildir. Killerin sınıflandırılmasından önce bilinmesi gereken bazı önemli özellikler vardır.

Bunlar şu şekilde özetlenebilir;

a-) Temel Yapı Elementleri: Kil mineralleri bir kaç istisna dışında, fillosilikatlerden olup mikalar gibi devamlı tabaka yapısındadırlar. Killerin iki ayrı tipte tabakanın ardışıklı olarak tekrarlanmasından meydana gelmiş karakteristik bir yapıları vardır. Bunlar genellikle sürekli tabakalardan oluşan tetrahedral (dört köşeli) ve oktahedral (sekiz köşeli) tabakalı sulu alüminyum silikatlerdir. Oktahedral yapıdaki tabakalar kenarlarda her biri Al^{+3} , Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} katyonlarının etrafında yer alan oksijen ve hidroksit iyonlarının kompozisyonlarıdır. Tetrahedral tabakalarda köşelerde olmak üzere etken olarak Si^{+4} daha az miktarda Al^{+3} ve nadiren de Fe^{+3} katyonları bulunur. Alüminyum katyonları oktaederin merkezinde ise oktahedral merkezlerin sadece üçte ikisi doludur, buna dioktahedral denir. Magnezyum katyonları merkezde ise tüm oktaeder merkezleri doludur, buna da trioktahedral denilmektedir.

b-) Temel Tabaka Tipleri: En basit fillosilikat kil minerali yapısı, tek alüminyum oktahedral tabakası ve 1:1 yapısındaki tek silikat tetrahedral katmanlarının birleşimidir. 2:1 tabaka yapısındaki 2 tetrahedral ve 1 oktahedral tabakaları içeren başka ana tabaka türleri de vardır. Üç tabaka ya dioktahedral ya da trioktahedral olabilir. Bu bireysel katmanlar ya nötrdür veya ara tabakalardaki boşluktaki katyonlarca dengelenen negatif yükleri taşırlar. Katyon yükü her iki tabakadaki katyonların bileşimine göre kontrol edilir (Işık, 1996).

Kil minerallerinin aşağıdaki kriterlere göre sınıflandırıldığı Işık(1996)'de bildirilmektedir.

1. Tabaka tipleri,
2. Ara malzemelerin türü,
3. Tabaka yükleri,
4. Oktahedral tabakadaki katyon içerikleri

Killer, kimyasal özelliklerine göre çeşitli sınıflamalara ayrılmıştır. Killer, silikat minerali olup, özelliklerine göre de çeşitli sınıflara ayrılırlar. Bu özelliklerin başında kristal yapıları gelmektedir. Kristal yapılarına göre killerin sınıflandırılması Çizelge 3.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Killerin kristal yapılarına göre sınıflandırılması

Tabaka	Grup	Cins
2 Tabakalı olanlar	Kaolinit Grubu a) Eş boyutlu olanlar b) Bir yönde uzanmış olanlar	Kaolinit, Dikit Halloysit
3 Tabakalı olanlar	Smektit Grubu İllit Grubu Vermikülit Grubu	Montmorillonit Bediellit, İllit Vermikülit
4 Tabakalı olanlar	Klorit Grubu	Klorit
Zincir yapısı olanlar	Sepiyolit Grubu	Sepiyolit Atapuljit Paligorskit

3.4. Ana Kil Mineralleri Gruplarının Kökenleri

1. Kaolin Grubu Kil Mineralleri
2. Montmorillonit (Smektit) Grubu Kil Mineralleri
3. İllit Grubu Kil Mineralleri
4. Karışık Tabakalılar
5. Klorit Grubu Kil Mineralleri
6. Sepiyolit ve Atapuljit Grubu Kil Mineralleri
7. Glakonit Grubu Kil Mineralleri

3.4.1. Kaolin grubu kil mineralleri

Bu grubun ana kayaçları feldspat ve feldspatoitik (granit, diyorit, nefelin, gnays) kayaçlardır. Genelde her kayaç fiziksel ve kimyasal şartlar hazırlanmış ise kaolenit grubu kil mineralleri yapmak için ayrışabilir. Kaolin grubu mineraller hidrotermal çözeltilerden otojenik mineraller olarak da oluşabilir. Bu grubun oluşabilmesi için gerekli ana jeokimyasal ve fiziksel şartlar;

- a.) Hümit ve tropikal ortam: Yeterli suyun bulunduğu bir ortamdır. Bu su Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ iyonlarını ortamdan uzaklaştırırken Al^+ ve Fe^+ iyonlarını ortamda bırakır.
- b.) Geçirgen kayaçların varlığı: Bu kayaçlar ortamı drene etmeye müsade ederler, bu da ayrışmayı hızlandırır. Aynı zamanda alkalilerin hareketliliğini de artırır.
- c.) Bir eğimin varlığı: Hareketli iyonların tahliyesine izin verir.
- d.) Ortamın pH'ı asidik olmalıdır. Çünkü kaolen grubu mineraller bazik şartlarda dengede değildirler.

3.4.2. Montmorillonit (smektit) grubu kil mineralleri

Montmorillonit çok çeşitli ortamlarda (deniz suyu, kıtalar, v.s.) oluşabilir. Mg^+ , Ca^+ , Al^+ , Si^+ içeren kayaçların hepsi ana kayaç olabilir. Fakat mafik ve intermediatik magmatik kayaçlar en idealidir.

Smektitlerin oluşması için gerekli şartlar:

1. Kuru ve çöl iklim (arid): Bu iklimde alkalilerin yıkanması ile ortamdan uzaklaştırılması.
2. Ana kayaç olarak volkanik killer ve kayaçlar (bazalt ve volkanik cam) sayılabilir.
3. pH 7'den büyük olmalıdır ve yüksek silis içermelidir.

3.5. Kil Minerallerinin Oluşum Ortamları

Krauskopf (1985)'e göre, kil minerallerinin alüminyum silikatlarının değişimi sonucu, ayrışma ve düşük ısı sıcak su işlemleri ile oluşmuşlardır. Bu bilgi, jeolojik ilişkilerden edinilmiştir ancak değişim işlemlerinin ayrıntıları belirsizdir. Kil mineralleri aynı zamanda yavaş gelişen tepkimeler ile, killeri meydana getiren elementlerin oksitleri veya bu elementlerin çözeltileri ile ancak yüksek ısıda elde edilebilecek koşullar altında oluşurlar. Normal ısıda asit çözeltilerinin kaolinit, bazik çözeltilerinin de montmorillonitin oluşumunu sağladığı, bu nemli

iklimlerinin yamaçlarında, yaygın bitki tabakasının toprak çözeltilerini asitleştirdiği ve kationların yıkanarak taşındığı ortamlardaki toprakların ana mineralidir; montmorillonit ise az nemli iklimlerdeki toprak çözeltilerinin hafif alkalın ve kationların daha yavaş uzaklaştığı ortamların karakteristik mineralidir.

Kil mineralleri genellikle 5 ortamda oluşurlar.

1. Ayrışma ortamı
2. Sedimentasyon ortamı
3. Gömülme ortamı
4. Diyajenez ortamı
5. Hidrotermal alterasyon ortamı

Ayrışma ortamı: Işık (1997)'ye göre yüzey veya yüzeye yakın kayalarda hava, su ve canlılar tarafından yapılan parçalanma, ufalanma, ayrılma, çözünme, çürüme gibi değişikliklerin tümüne ayrışma ya da bozunma denir. Ayrışma mekanik ve/veya kimyasal olabilir.

a. Mekanik ayrışma: Kayaların kimyasal bileşimlerinin değişmeden ufak parçalara ayrılmasıdır.

Mekanik ayrışma genişleme-büzülme, donma-çözünme ve organizmaların işlevleri ile meydana gelmektedir.

b. Kimyasal ayrışma: Bir mineral düşük sıcaklık, düşük basınç, su ve atmosferik gazları içeren yüzey şartları altında dengesi bozulduğu zaman, kimyasal ayrışma meydana gelir. Kimyasal ayrışma ilerlerken, mineralin bileşenleri yer yüzü şartlarında denge halinde olan mineral ve bileşikleri oluşturmak için tekrar birleşirler .

Yer kabuğunda en fazla bulunan minerallerin ayrışma ürünleri Çizelge 3.2.'de gösterilmektedir.

Diyajenez ortamı: Tortular ilk çökme yerlerinde su ile hemen hemen doymuş (%80-90 H₂O) çamur veya kırıntı malzeme yığını halinde bulunurlar. Bu nedenle bu malzemenin elemanları ayrılırlar. Topluca bakıldığı zaman ise plastik bir özellik gösterirler. Bu tortuların, bir takım fiziko-kimyasal olaylar sonunda, sağlam kayaç haline dönüşmeleri olayına diyajenez adı verilir. Diyajenez sonunda sertleşen kayaların en önemli özelliklerinden biri sertlikleri, diğeri ise kırıntı veya otijen mineraller içermesidir (Abdüselamoğlu, 1982).

Çizelge 3.2. Yer kabuğunda en fazla bulunan minerallerin ayrışma ürünleri

Orijinal Mineral	H ₂ O ve CO ₂ etkisi	Ana Katı Ürün	Diğer Ürünler
Feldspat	—————>	Kil minerali	+ iyonlar, SiO ₂
Ferromagnezyan minerali (Biyotit mika içerikli)	—————>	Kil minerali	+ iyonlar, SiO ₂ Fe oksitler
Muskovit mika	—————>	Kil minerali	+ iyonlar, SiO ₂
Kuvars	—————>	Kuvars taneleri	
Kalsit	—————>		iyonlar

(Işık, 1997)

Hidrotermal alterasyon ortamı: Sıcak sular ve jeotermal sistemlerdeki kayaçlar arasındaki birbirlerini etkileme ikincil minerallerin bir takımını üretir. Bu minerallerin kimliği ve çokluğu, hüküm süren fiziksel ve kimyasal şartlara bağlıdır. Hidrotermal yataklarda oluşan minerallerin çoğu aktif jeotermal sistemlerdeki aynıdır. Meydana gelen hidrotermal alterasyonun tarzı ve yoğunluğu, rezervuar kayaçların kendilerini bulduğu yeni çevreyi yansıtır. Bu yüzden bir volkanik ve jeotermal çevrenin arasındaki büyük farklılıktan dolayı, volkanik kayaçlar çok kolay alterasyona uğrarlar. Fakat düşük dereceli metamorfik kayaçlar 200° C'de alkali klorit sularıyla hemen hemen nötr pH'de zayıfça reaksiyona girer (Işık, 1996).

3.6. Kil Minerallerinin Şekilleri ve Genel Yapıları

Kil parçacıkları levha şeklinde olup bazıları mikaya benzer ve hegzagonaldir. Bazıları da düzensiz levha şeklindedir. Tüm hallerde yatay eksenleri düşey eksenlerden uzundur.

Her kil parçacığı şekli ne olursa olsun, levha şeklinde ve çok sayıda kristal ünitelerden meydana gelmiştir. Bu kristal üniteleri kolloidin tipine bağlı olarak değişik derecelerde birbirine bağlanmışlardır. Bazı kil minerallerinde (bentonit gibi) bu üniteler arasındaki mesafeler ıslanma ve şişme ile genişler. Diğer bazı killerde (kaolinit gibi) ise üniteler birbirine daha sıkı bağlanmışlardır ve çok az bir genişleme gösterebilirler.

Kil parçacıkları, danelerinin küçüklüğü nedeniyle çok büyük bir spesifik yüzeye sahiptir. Kil parçacıkları her bir parçacığı oluşturan levha şeklindeki kristal üniteleri arasında da iç yüzeylere sahiptir. Yani kil fraksiyonunun büyük yüzey alanı sadece parçacıkların küçük oluşundan değil, aynı zamanda sahip oldukları iç yüzeylerden kaynaklanmaktadır.

Her bir kil parçacığı izomorfus yer değiştirmeden dolayı negatif elektrikle yüklü olduğu için elektriksel olarak aktiftir. Negatif elektrik yükleri nedeniyle kil parçacıkları pozitif elektrikle yüklü katyonları kendine çeker ve bağlar. Böylece çift tabaka meydana gelir. Bir ortamda kil kolloidi hareket etliği zaman ona bağlı binlerce katyon da birlikte hareket eder.

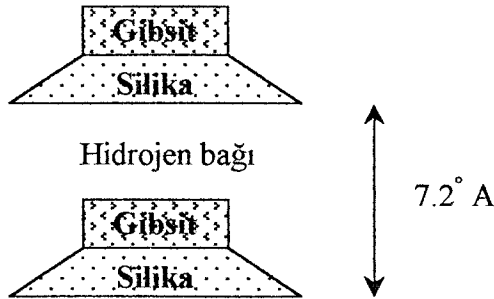
Kil parçacıkları etrafında fazla miktarda su adsorbe edilmiştir. Bu suyun bir kısmı kil parçacıklarına bağlı bulunan katyonların hidrasyonu sonucunda tutulmaktadır. Bir değerlikli katyonlar iki değerlikli katyonlara nazaran daha fazla hidrate olurlar. Ayrıca kil parçacıkları etrafında su tuttukları gibi kristalleri oluşturan levhalar da su tutarlar.

3.7. Kil Minerallerinin Mineralojik Yapıları

Kristal özelliklerine göre, genel olarak dört grup kil mineralleri bulunur:

1. Kaolinit kil minerali
2. Montmorillonit kil minerali
3. İllit kil minerali
4. Klorit kil minerali

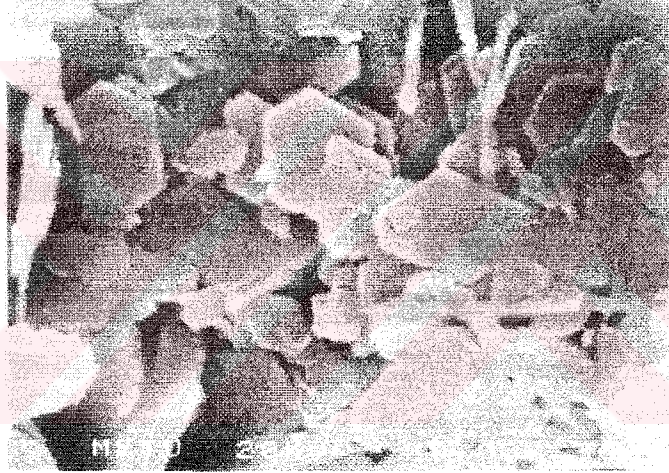
Kaolinit grubu içine pek çok kil minerali girer. Çoğu zeminde bulunur. Bu minerallerin kristalleri levha şeklindedir ve düz kristal üniteleri oluştururlar. Kristal üniteleri bir gipsit ve bir silika tabakasının üst üste gelmesiyle meydana gelmiştir. Her bir tabaka 7.2°A kalınlığındadır. Her bir tabakanın yanıl boyutları $1000-20000^{\circ}\text{A}$ ve kalınlığı $100-1000^{\circ}\text{A}$ arasındadır. Bu nedenle bunlara 1:1 kristal tipinde olan killer denir. Kaolinitin kilinin yapısı Şekil 3.1.'de şematik olarak gösterilmektedir.



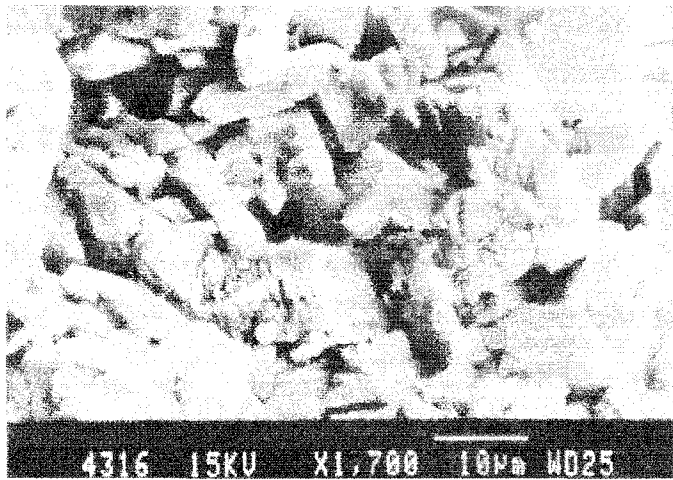
Şekil 3.1. Kaolinit kilinin yapısı

Kristali oluşturan üniteler birbirine oksijen hidroksit bağı ile sıkıca bağlanmışlardır. Bu yüzden kil ısladığı zaman kristal üniteleri arasındaki mesafe genişlemez. Kristal üniteleri arasında su moleküllerinin ve katyonlarının girmesi çok güçtür. Bu sebeple kaolinitin efektif yüzeyi sadece dış yüzeylerdir. Bunun sonucu olarak kaolinitin katyon değişim kapasitesi diğer kil mineralleri gruplarından daha düşüktür. (Grim, 1962)

Diğer silikat kil minerallerinin aksine, kaolinitin plastiklik, kohezyon, büzülme ve şişme özellikleri çok zayıftır. Kaolinit ısladığı zaman orta derecede bir plastisiteye sahip olurken, diğer kil minerallerinden daha büyük içsel sürtünmeye sahiptir. Özgül yüzeyleri 10 m²/gr civarındadır. Kaolinit kiline ait elektron mikroskop fotoğrafları Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'de gösterilmektedir.

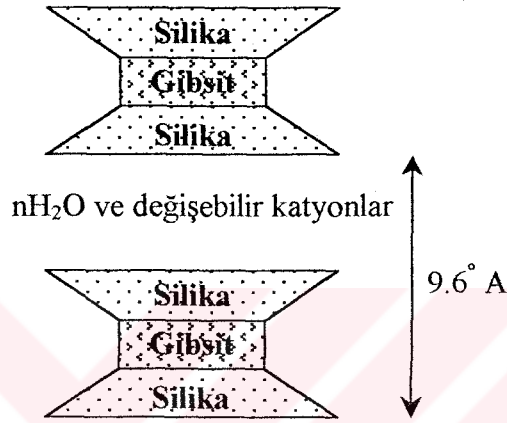


Şekil 3.2. Kaolinitin elektron mikroskop fotoğrafı (Işık, 1997)



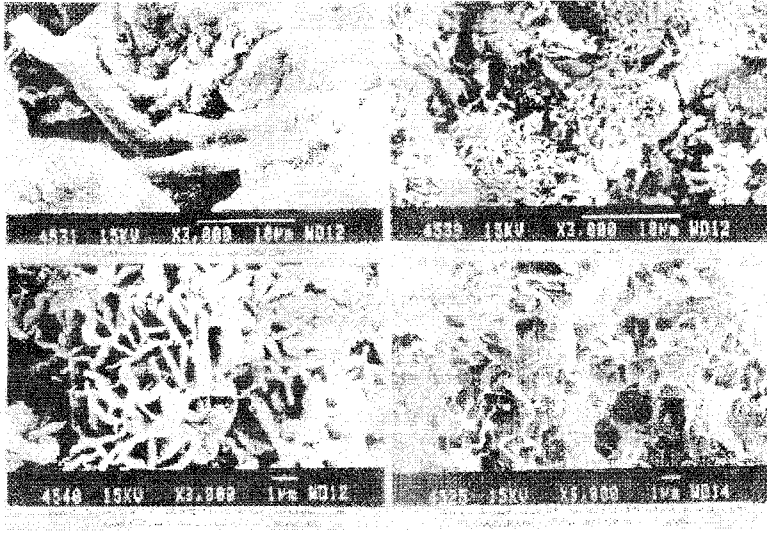
Şekil 3.3. Kaolinitlerin elektron mikroskop fotoğrafı (Işık, 1997)

Montmorillonit grubu da birçok mineral içerir. Bu grupta montmorillonitlen başka saponit, hektorit, nontronit gibi mineraller de vardır. Montmorillonit kristali alt ve üstten iki silika tabakası ile kuşatılmış bir gipsit tabakasından ibaret kristal ünitelerinin üst üste gelmesiyle oluşmuştur. Silis ve gipsit tabakaları oksijen atomuyla birbirine bağlanmıştır. Montmorillonit kristalleri 2:1 tipindedir. Yani iki silika tabakası ve bir gipsit tabakasından oluşan ünitelerden meydana gelmiştir. Montmorillonit kilinin yapısı Şekil 3.4.'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Montmorillonit kilinin yapısı

Kristal üniteleri birbirine su ve katyonlar ile bağlanmıştır ve kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebilir. Montmorillonit kristallerinin çapları 0.01- 2 mikron arasında değişir. Kristal üniteleri arasındaki mesafe kolayca genişleyebildiğinden katyonlar ve su molekülleri üniteler arasına girebilir. Böylece montmorillonit miktarı yüksek olan killer ihtiva ettikleri değişebilir katyonların tabiatına bağlı olarak önemli miktarda şişme veya büzülme gösterebilirler. Montmorillonit kil kristalinin dış yüzeylerine ek olarak geniş iç yüzeyleri mevcuttur. Bu iç yüzeyler de negatif elektrikle yüklüdür. Bu yüzden montmorillonit kili yüksek bir katyon değişim kapasitesine sahiptir. Bu kapasite kaolinitin 10-12 mislidir. Montmorillonit (Smektit) grubu kil minerallerinin elektron mikroskop fotoğrafı Şekil 3.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Montmorillonit (smektit) grubu kil minerallerinin elektron mikroskop fotoğrafı (Işık, 1997)

Suyun kristal üniteleri arasına girmesiyle montmorillonit kristalleri büyük oranda genişler ve şişerler. Montmorillonit yaprakları suyla sarılmış olup ıslandıkları zaman yüksek plastisileye ve düşük içsel sürtünmeye sahiptir. Kurudukları zaman çok miktarda büzülme ve çatlama meydana gelir. Bu gruptaki killerin özgül yüzeyleri $800 \text{ m}^2/\text{gr}$ civarındadır.

3.8. Killerin Fiziko-Kimyasal Özellikleri

3.8.1. Spesifik yüzey alanı

Kil danelerinin spesifik yüzey alanı dane davranışına etki eden en önemli özelliklerden biridir. Bunun nedenleri;

- 1- Flokülasyon, dispersiyon ve iyon değişimi spesifik yüzey olayına bağlıdır
- 2- Spesifik yüzey alanı, kil mineralinin dane çapına ve şekline bağlıdır.

Çift tabaka kalınlığı kil danesinin yüzey alanına direkt olarak bağlıdır. Çift tabaka kalınlığı yüzey alanı arttıkça artmaktadır (Braja, D., 1990).

3.8.2. Elektriksel iletkenlik

Kil-su sisteminin elektriksel iletkenliği, ortamın elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Kil-su sisteminin elektriksel iletkenliği, karışımdaki iyonların tipi ve sayısı ile

ilgilidir. Dane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve kolloidal danelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır.

Bir danede elektriksel yükün değeri doğrudan o danenin yüzey alanı ile ilgilidir. Bu nedenle o danenin davranışına etki eden elektriksel kuvvetlerin kitle kuvvetlerine göre değeri de danelerin birim kütesine düşen yüzey alanı ile ilgilidir. Dane birim kütesine gelen yüzey alanı danelerin davranışına etki eden elektriksel yükün mertebesini gösterir (Braja,D., 1990).

3.8.3. pH değeri

Karışımın yüksek pH değeri kil danelerini dispers yapmakta ve kil daneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Dolayısıyla daneler arasındaki itmeyi arttırmaktadır. pH değeri, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini ifade etmektedir. pH değişimi zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük pH değeri, toprakta flokülasyonu ve gevşek zemini ifade etmektedir, yüksek pH değeri ise dispersiyonu ve sıkı zemini belirtir.

pH değeri kil danelerinin adsorpsiyon karakterlerini etkiler. Asit durumunda adsorpsiyon artar. Kil danelerinin köşeleri pozitif yükü yüklenir, pH değerinin düşük olması kil dane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır. Yani negatif yüzeyleri nötralize etmektedir, zeminin pH değeri metal miktarlarının azaltılmasında oldukça önemlidir. Zeminin pH değeri, genellikle kirliliğin zemin içinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için 6-8 arasında olmalıdır (Braja, D., 1990).

3.8.4. Ağır metaller

Metaller, zemin içindeki kil minerallerinin yüzeylerine katyon değişim kapasitesi ile adsorbe olur. Metaller genellikle killere ve organiklere sıkıca bağlıdır. Metal ile kil arasındaki işlemler; metal tipi, zemin tipi, pH ve sıcaklık gibi faktörlere bağlıdır. Düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraktaki metal konsantrasyonunun ilerlemesi rahatlıkla gözlenebilir. Toprak pH'nın ayarlanması ile düşük katyon değişim kapasitesine sahip topraklarda metallerin toprak içinde ilerlemesi durdurulabilir (Braja, D., 1990).

3.8.5. Katyon değişim kapasitesi (KDK)

Katyon değişim kapasitesi, izomorfus yer değiştirme kapasitesinin bir ölçüsüdür. İzomorfus yer değiştirme olayı kristal yapıda herhangi bir değişiklik olmadan iyonların

yerlerine eşit veya farklı değerli başka iyonlara bırakmasıdır. Zeminde alüminyumun çok olduğu bir yerde bir silikon atomunun yerini bir alüminyum atomunun alması örneğinde olduğu gibi böyle bir durumda silikon +4, alüminyum +3 olduğu için bu değişimle her değişim için bir dengelenmemiş elektrik yükü ortaya çıkar. Böylece iyonlar eş boyutlu olmadıkları için kristal yapıda şekil bozulması olur.

Bunun bir sonucu, kristal yapının büyümesi engellenmektedir. Kaolinit kilinde bu tip değişimler az olup kaolinit kil daneciğinin elektriksel yükü göz önüne alınırsa yaklaşık her 400 silikon iyonundan birisinin bir alüminyum iyonu tarafından tutulduğu söylenebilir.

İzomorfus yer değiştirme kil danelerine negatif yük sağlamaktadır. Bu dengesizliği önlemek için ortamdaki katyonlar kil danelerinin kenarlarına ve bloklar arasına girmektedir. Bu katyonlar birçok durumda yerlerini bir başka katyona da bırakabilmektedir. Yük dengesizliğini giderebilmek için gerekli katyon miktarına katyon değişim kapasitesi denir. Katyon değişim kapasitesi spesifik yüzey alanının artması ile artmaktadır. Katyon değişim hızı kil mineraline, katyonlarına ve anyonlarına bağlıdır (Ergene, A., 1987).

Killerde katyon değişiminin nedenleri:

1) Silika-alümina birimlerinin kenarlarındaki kırık bağlar, katyonlarla dengelenmiş olan doyurulmamış yükler oluşturur. Danecik boyutu küçüldükçe kırık bağ sayısı ve buna bağlı olarak da katyon değişim kapasitesi artar. Kaolinit kilinde kırık bağlar katyon değişiminin en önemli nedenidir. Montmorillonit kilinde ise katyon değişiminin %20'si kırık bağlardan, %80'i örgü içi yer değiştirmelerden ileri gelir.

2) Örgü içi yer değiştirme ile örgü içinde dengelenmemiş yükler oluşur ve yüklerin çoğu, adsorblanmış katyonlarla dengelenmiştir.

3) Açıktaki hidroksillerin hidrojeni değişebilir katyonlarla yer değiştirebilir. Bu etki de Kaolinit kilinde önemlidir.

4. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

4.1. Kullanılan Malzemelerin Tanımı

Bu çalışmada Na-Bentonit ve Kaolinit killeri ve bu killerin çeşitli oranlarda karışımları kullanılmıştır. Bu oranlar; %100 Na-Bentonit, %90 Na-Bentonit + %10 Kaolin, %50 Na-Bentonit + %50 Kaolin, %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin, %5 Na-Bentonit + %95 Kaolin ve %100 Kaolin' dir. Kirleticileri temsilen ise Ağır metaller ve Tuzlar'ın sulu çözeltileri ve bu kirleticilerin ayrı ayrı Saf su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl ile karıştırılmış sulu çözeltileri yukarda belirtilen kil karışımlarıyla karıştırılarak deneye tabi tutulmuştur.

4.1.1. Na-Bentonit kili

Kullanılan Na-Bentonit kili Ankara Karakaya Bentonit Kil Fabrikasından sağlanmış olup torbalardan alınıp orijinal olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan Na-Bentonite ait geoteknik ve bazı fiziko kimyasal özellikler Çizelge 4.1.'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Deneylerde kullanılan Na-Bentonit'e ait geoteknik ve fizikokimyasal deney sonuçları

ÖA	SYA	pH	EI	KDK	Silt	Kil
	(m ² /gr)		(Milisimens/cm)	(meq/100 gr)	(%)	(%)
2.60	400	9.50	2.69	90	12	88

ÖA: Özgül Ağırlık, SYA: Spesifik Yüzey Alanı EI: Elektriksel İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi

4.1.2. Kaolin kili

Deneyisel çalışmada kullanılan Kaolin kili Bilecik Söğüt Seramik Fabrikasından temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan Kaolin'e ait geoteknik ve bazı fiziko kimyasal özellikler Çizelge 4.2.'de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Deneyleerde Kullanılan Kaolin'e ait Geoteknik ve Fizikokimyasal Deneyle Sonuçları

ÖA	SYA	pH	EI	KDK	Kum	Silt	Kil
	(m ² /gr)		(Milisimens/cm)	(meq/100 gr)	(%)	(%)	(%)
2.56	15	4.86	0.15	25.93	12	20	68

ÖA: Özgöl Ağırlık, SYA: SpesifikYüzey Alanı EI: Elektriksel İletkenlik, KDK: Katyon Değişim Kapasitesi

4.1.3. Kimyasal maddeler

4.1.3.1. Sodyum klorür (NaCl)

Saf halde renksiz olup kübik sistemde kristalleşir. Suda kristallendirildiği zaman konsantrik tabakalar meydana getirir ve bir kristal kırıldığı vakit konkoidal bir yapı gösterir. Çözeltisinin atmosferik baskıda ve yüzeyde buharlaşması ile çok küçük küplerden müteşekkil ve içi boş kesik dikdörtgen piramitler teşekkül eder.

Deniz suyunda ve bazı tabii sularda çözünmüş bulunur ve tabiatta kaya tuzu halinde görülür. Sudaki çözünürlüğü sıcaklıkla büyük ölçüde değişmez (100 gr. Su 0°C de 35,7 gr. ve 100°C de 39,8 gr. NaCl çözer), ve bu sebeple de sudan kristallendirmek suretiyle temizlenmesi mümkün olmaz.

Kaya tuzu endüstride kullanılan sodyum klorürün başlıca kaynağıdır. Bazen tamamen saydam ve bazen de yarı saydam olarak ve ihtiva ettiği maddelere göre beyaz, gri, sarı, kırmızı, turuncu, pembe ve kahve renkli olabilir. Sodyum klorür içeren ergimiş tuz karışımları, atom yakıtları ile ilgili işlerde kullanılır.

4.1.3.2. Kalsiyum klorür (CaCl₂*H₂O)

Amonyak ile soda üretiminde yan ürün olarak elde edilir. Suda çok çözünür ve hidratları oluşturur; büyük oranda nem soğurur, bu nedenle gazların kurutulmasında kullanılır.

4.1.3.3. Potasyum klorür (KCl)

Potasyum klorür, genel olarak, Silvin KCl, Silvinit xKCl.yNaCl ve Karnalit KCl.MgCl₂.H₂O den elde edilir ve bu elde ediliş daima kristalizasyona dayanır, yani potasyum

klorürün sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden istifade edilir. Gübre sanayiinde, K metali hazırlanmasında kullanılır (Ün, R., 1968).

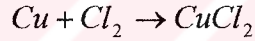
4.1.3.4. Kurşun klorür (PbCl₂)

Tabiatta Kotunnit adı altında bulunur. 100 ml suda 0°C de 0,673 g ve 100°C de 3.34g çözünür.

Çözünen bir Pb⁺² tuzu çözeltisinin Cl⁻ iyonları ile muamelesinde çöker. Sıcak sudan iğne şeklinde kristaller halinde billurlaşır. Alkali halogenürlerle kompleks halogenürler teşkil eder. Işığa karşı hassastır (Özdemir, H.İ., 1981).

4.1.3.5. Bakır klorür (CuCl₂*2H₂O)

Bakır ve klorun direkt reaksiyonundan elde edilir.



Bakır hidroksit veya karbonatın klorür asidinde çözünmesi ve çözeltinin buharlaştırılması ile Dihidrat CuCl₂*2H₂O halinde ele geçer ki, rombik yeşil kristallerden ibarettir. Suda ve alkolde çözünür. Sulu çözeltisi aşırı klorür asidi yanında sarı, derişik nötral halde yeşil ve seyreltik halde mavidir. Dihidratın suyu, derişik sülfat asidi üzerinde bırakmakla bertaraf edilebilir. Bakır II klorür tekstil boyacılığında ve basmacılıkta mordan olarak, elektrolitik bakır rafinasyonunda ve yaş metotla civanın filizlerinden elde edilmesinde, piroteknikte, fotoğrafçılıkta, petrol endüstrisinde koku ve kükürt giderilmesinde kullanılır (Ün, R., 1968).

4.1.3.6. Çinko klorür (ZnCl₂)

Suda çok çözünür ve çözelti, hidroliz dolayısıyla, zayıfça asidiktir. Çinko Klorür çeşitli yollardan elde edilebilir.

Kavrulmuş çinko sülfür filizi, sodyum klorür ile karıştırılıp ısıtılır. Bu esnada teşekkül eden çinko klorür ve kurşun klorür uçarak, münasip bir kamarada tutulurlar. Karışım, sülfat asidi veya çinko sülfat çözeltisi ile muamele edilerek kurşun sülfat çöktürülür. Süzüntünün buharlaştırılmasından çinko klorür elde edilir.

Diğer bir metod da çinko oksid kabukları gerekenden daha az miktarda klorür asidi ile muamele edilir ve karışım süzülür. Çözeltinin buharlaştırılmasından çinko klorür elde edilir.

Bu tuz beyaz renkli olup su absorbe edici bir maddedir. Demiryolu ahşap traverslerini, odun, tahta gibi malzemelerin çürümeğe karşı korunmaları için ya sadece çinko klorür veya kreozot ile çinko klorür karışımı sürülür.

Derişik bir çinko klorür çözeltisi lehimcilikte lehim yapılacak yerin temizlenmesinde kullanılır. Burada lehim suyunun etkisi ile hidrolize uğrayan çinko klorür, hidroklorik asit meydana getirir. Bu asit de metalik oksidi çözülebilen klorür haline sokar ve böylece metalin yüzeyi temizlenmiş olur.

Çinko klorür koku giderici olarak ve dezenfeksiyon için kullanıldığı gibi, fenol veya kromatlarla koruyucu olarak, galvaniz yapılmasında ve amonyum klorürle beraber lehimcilikte de kullanılır. Ayrıca aktif kömür elde edilmesinde, eşyaları ateşe karşı dayanıklı kılmak için ve parşömen kağıdı imalinde de kullanılır. Tekstil boyacılığında mordan olarak, merserize pamuk elde edilmesinde, kauçuk vulkanizasyonunda ve organik kimyada kondensasyon vasıtası olarak da kullanılır (Ün, R., 1968).

4.1.3.7. Sodyum hidroksit (NaOH)

Endüstride yakıcı sud ismi ile bilinir, sodyum metalinin oksit hidratıdır. Beyaz levhalar halindedir ve ergitilmiş maddenin dökülmesiyle, sonrada kırılması ile elde edilmiştir. Bu parçalar nemlenir ve elle tutulduğu zaman parmaklarda yapışkan bir kayganlık hasıl olur.

Kuvvetli bir bazdır. Asitlerle kolaylıkla birleşir, Bilhassa havanın karbondioksitini sarar ve karbonat haline geçer. Onun için, iyice kapalı kutularda muhafaza edilir. Suda çok erir, eriyikleri yağları ayrıştırmakta kullanılır. Yağlı paçavralar, yağlı boyalar bununla temizlenir.

Sodyum hidroksit, yağ asitleri ile reaksiyona girerek sabun ve gliserini meydana getirir. Bu sebepten sabun endüstrisinde çok kullanılır. Sodyum hidroksidin diğer kullanıldığı yerler ise kağıt, tekstil endüstrisi, petrol rafinerileri, rayon ve sellüloz filmlerin imalatındadır (Özdemir, H.İ., 1981).

4.1.3.8. Hidroklorik asit (HCl)

Hidrojen klorür (HCl) Renksiz yakıcı kokulu bir gazdır, havada su buharı ile birleşerek beyaz dumanlar verir, suda çok erir. Su, adi sıcaklıkta hacminin 500 katı HCl eritir, bu eriyik renksizdir ve hidroklorik asidi oluşturur. Endüstride HCl'in sudaki eriyiği kullanılır bunun rengi sarıdır. Çünkü içinde az miktarda demir tuzu vardır. Bu eriyik tuz ruhu olarak bilinir. Eriyik açıkta bırakılacak olursa dumanlar verir.

Hidroklorik asit kuvvetli bir asittir. Altın ve platin müstesna bütün metalleri etkiler. Bakır ve gümüş gibi bazılarına ancak sıcakta etkiler. Bu etki ile metalik klorür teşekkül eder ve hidrojen açığa çıkar.

Metal temizlemekte kullanılır. Eğer metal sıcaksa hidroklorik asit yerine amonyum klorür kullanılır, çünkü amonyum klorür metale sürülünce erir. Teşekkül eden HCl metalin yüzündeki oksit tabakasını eritir ve metali temizler (Ün, R., 1968).

4.1.3.9. Atık

Kütahya ilinin Emet ilçesinde ETİ Bor işletmelerinde borun ayrıştırılma işlemleri sonucunda elde edilen atığın diğer kimyasallarla karşılaştırılması amacıyla deneylerde kullanılmıştır. Bu endüstriyel atığın kimyasal analiz sonuçları Çizelge 4.3.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Atık malzemenin içeriği

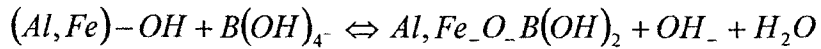
Atık Miktarı	30000 – 35000 Ton/Yıl
Katı Malzeme Tane Boyutu	3 mm ve altında
Bor Muhtevası (B₂O₃)	3265 ppm (mg/lt)
Demir Muhtevası (Fe)	% 0.02 – 0.05
Arsenik Muhtevası (As)	15.6 ppm (mg/lt)
Tane Oranı (Katı Madde)	% 4.26
Yoğunluk	1.028 gr/cm ³

Atık malzemenin içeriğinde; Çizelge 3.3.'de de görüldüğü gibi arsenik, bor ve demir muhtevası bulunmaktadır. Bu maddelerin miktarı çevre ve insan sağlığı açısından kabul edilebilir sınırların çok üstündedir. Atık malzeme içeriğinin özellikleri şunlardır;

Arsenik: Arsenik miktarı demir oksit miktarının artması ile artar. Arsenik özellikle demir ve alüminyum oksitleri adsorbe eder. Arsenat (AsO_{3,4}) arsenit (ASO₂)'e indirgenir. Fakat arsenat zemin içinde en yaygın olanıdır. Genellikle zemin içinde her iki şekilde de kuvvetli olarak bulunmaktadır. Maksimum miktarı 0.05 mg/l olmalıdır. İnorganik bir kimyasaldır ve kanser yapıcıdır.

Bor: Toprak ve su içinde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu zaman toksik etki yapar. Kil ve humuslu toprakların bor içeriği 30-80 mg/kg arasındadır.

Toprakların bor içeriği ile kil ve organik karbon içeriği arasında bir korelasyon vardır. Borun bağlanma şekli, organik maddelere, kil minerallerine ve demir oksit ve alüminyum oksitlere adsorbsiyonu şeklinde olabilir. Topraktaki borun az bir kısmı suda çözünebilir. Toprağın pH değeri 7'den küçükse borun tamamı $B(OH)_3$ şeklindedir. Yüksek pH değerlerinde $B(OH)_4^-$ iyonları oluşur. $B(OH)_3 + H_2O \rightleftharpoons B(OH)_4^- + H^+ + B(OH)_4^-$ adsorbsiyonu daha çok demir ve alüminyum oksitlerin yüzeylerine, kil minerallerinin yan yüzeylerindeki OH^- veya (H_2O) grupları ile yer değiştirmek suretiyle şu şekilde oluşur.



Kil minerallerinden illit ve vermukilit yüksek miktarda, smektit ve kaolinit daha düşük miktarda bor adsorbsiyon kapasitesine sahiptir. Toprakta bor birikmesi, atık sulardan ve arıtma çamurlarından oluşmaktadır. En çok ise evlerde kullanılan deterjanlardan oluşur. Bor bileşikleri yüksek çözünürlük kapasitesine sahiptir.

Demir: Demir elementi genelde sularda toksik bir unsur teşkil etmemesine rağmen suyun pH'ını düşürmek suretiyle suda canlıları olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Sularda demir elementinin 0.5 mg/l'nin üzerinde olması suyun tadını ve rengini değiştirmektedir. Sulama sularında ise demir konsantrasyonunun 1.0 mg/l'nin altında olması gerekmektedir.

Topraklarda yüksek pH değeri demir çözünürlüğünü azaltır. Bitkiler tarafından iki değerli (Fe^{++}) ve daha az olarak üç değerli (Fe^{+++}) demir katyonu şeklinde alınır. Bitkilerin demir alımı kireçli ve alkalin topraklarda daha güçleşir.

Toprak asitliği arttıkça (yani pH değeri azalırsa) demir miktarı artar. Topraktaki demir içeriği genelde, %0.2-5.0 arasındadır. Fe^{+3} oksitleri toprakta az çözünür. Bu nedenle oksitleyici koşulların bulunduğu ortamda son derece düşüktür ($<0.01 - 0.5mg/l$).

Anaerobik koşullarda Fe^{+3} oksitlerin Fe^{+2} iyonlarına indirgenmesi ile toprak çözeltisindeki Fe^{+2} konsantrasyonu yükselir (1000 mg/l üzerine çıkabilir). Toprakta demiroksit miktarının genelde yüksek olmasına karşın, özellikle $CaCO_3$ içeren topraklarda ortaya çıkan demir noksanlığı bütün dünyada yaygındır.

4.1.4. Kimyasal madde çözeltilerinin hazırlanması

Deneyisel çalışmada kullanılan kirleticilerin hazırlanmasında aşağıdaki çizelgelerde belirtilen oranlarda, kimyasal maddelerle çözeltiler hazırlanmıştır.

Kullanılan kimyasalların (ağır metal, tuz, baz ve asitlerin) formülleri, oranları ve çözeltilerdeki miktarları; Çizelge 4.4., Çizelge 4.5., Çizelge 4.6.'da belirtilmiştir.

Çizelge 4.4. Deneysel çalışmada kullanılan tuz çözeltileri

Kullanılan oran (Normalite)	Kimyasal Formülü	Kullanılan oran (Molarite)	Mol ağırlığı (g/mol)	Su içerisinde çözülen miktar
0.5 N	NaCl	500mM = 0.50 M	58.44	29.22 g/1000ml
0.5 N	CaCl ₂ *H ₂ O	250mM = 0.25 M	147.02	36.75 g/1000ml
0.5 N	KCl	500mM = 0.50 M	74.55	37.27 g/1000ml

Çizelge 4.5. Deneysel çalışmada kullanılan ağır metal çözeltileri

Kullanılan oran (ppm)	Kimyasal Formülü	Kullanılan oran (Molarite)	Mol ağırlığı (g/mol)	Su içerisinde çözülen miktar
2000 ppm	PbCl ₂	9.46mM=0.00946M	278.10	2.6856 g/1000ml
2000 ppm	CuCl ₂ *2H ₂ O	13.84mM=0.001384M	170.48	5.363 g/1000ml
2000 ppm	ZnCl ₂	30.6mM=0.0306M	136.28	4.170 g/1000ml

Çizelge 4.6. Deneysel çalışmada kullanılan asit ve baz çözeltileri

Kullanılan oran (Molarite)	Kimyasal Formülü	Kullanılan oran (Molarite)	Mol ağırlığı (g/mol)	Su içerisinde çözülen miktar
10 cmol	HCl	100 mM	36.461	9.54 g/1000ml
10 cmol	NaOH	100 mM	40000	4.00 g/1000ml

5. DENEYSEL YÖNTEMLER

5.1. Geoteknik Özellikler

5.1.1. Kıvam limitleri

Bir malzemenin etkisi altında bulunduğu gerilmelerden dolayı kırılmadan ve hacminde herhangi bir değişiklik olmadan, ayrıca gerilmeden dolayı meydana gelen deformasyonların gerilmenin kaldırılmasından sonra kaybolmaması plastisite olarak adlandırılmaktadır. Zeminlerde plastisite sadece killi zeminlerin gösterdiği bir özelliktir. Çakıl, kum ve siltler plastik kıvama gelmemektedirler.

Zeminlerde su muhtevsındaki azalmalara bağlı olarak, hal değişimleri meydana gelecektir. Sıvı hal (durum) karışımın Newton yasasına uyumu ile karakterize edilebilir. Sıvı halde bulunan zemine uygulanan kayma gerilmesi her noktada deformasyona sebep olacaktır. Sıvı haldeki zemin kurutulmuş su muhtevsının azaltılması ile plastik duruma dönüşür. Plastik durumda da belli bir kayma direncinden sonra uygulanan kayma gerilmeleri sürekli olarak kayma deformasyonları meydana getirir. Su muhtevsında bir miktar daha azaltma yapılması durumunda zeminin deformasyonu sırasında yüzeyde çatlaklar belirmeye başlar. Bu durum yarı katılığın başlangıcı olarak adlandırılır. Katı durum ise uygulanan gerilmelerin zeminin kırılma gerilmesine kadar ulaşmasında zeminde deformasyon oluşmaması ve kırılma gerilmesine ulaşınca aniden kırılması ile tanımlanabilir. Zeminin su muhtevsına bağlı olarak değişik davranışlar göstermesi 1911'de Atterberg tarafından deneysel olarak tarif edilmiştir. Atterberg tarafından tanımlanan sınır su muhtevaları Atterberg limitleri veya kıvam limitleri olarak adlandırılmaktadır.

Zemine ait kıvam (Atterberg) limitleri iyi değerlendirilirse, zeminin birçok özelliği hakkında bilgi sahibi olunabilir. Ancak, kıvam limitleri deneyinde doğrularak örselenmiş olan bir zeminde zemine ait tüm mekanik özellikleri tam olarak yansıtmaması da beklenilmemelidir. Bir zemine ait likit limitin yüksek olması, o zeminin sıkışabilirliğinin yüksek olduğunu gösterir. Bazı killerin likit limiti %400'e yakın olabilmektedir.

İnce daneli zeminlerin mühendislik davranışının büyük oranda içerdikleri su miktarına (su muhtevsına) bağlı olarak değişiklik gösterdiği bilinmektedir. Killi bir zeminin kıvamı yalnızca içindeki su miktarı artırılarak çok katı bir kıvamından viskos sıvı kıvamına kadar çok geniş bir aralık içinde değiştirilebilmektedir. Buna bağlı olarak da mukavemet, yük altında şekil değiştirme ve sıkıştırma gibi mekanik özelliklerinde büyük farklılıklar meydana

gelebilmektedir. İnce daneli zeminlerin mekanik özelliklerinde su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişiklikler zeminin arazideki çökme koşullarına ve boşluklardaki zemin suyunun kimyasal özelliklerine bağlı olmaktadır. Bu açıdan tabii zeminlerin kıvamında ve mekanik özelliklerinde su muhtevasına bağlı olarak gözlenen değişimler büyük farklılıklar gösterebilmektedir.

Atterberg tarafından tanımlanan kıvam limitleri:

1. Likit limit (W_L): Zeminin kendi ağırlığı altında aktığı minimum su muhtevasıdır. Diğer bir deyişle zeminin viskoz bir sıvıdan plastik bir kıvama dönüştüğü su muhtevasıdır.

2. Plastik limit (W_P): Plastik limit ıslak zeminin yoğrulma sırasında yüzeyinde çatlakların belirdiği su muhtevası olarak tanımlanır. Plastik limit deneyinden artan bir miktar zemin buzlu cam üzerinde avuç içi ile yuvarlanır. Plastik limit el altında yuvarlama sırasında oluşan zemin makarnasının 3 mm kalınlıkta ufalandığı su muhtevasıdır. Eğer zemin makarnasının çapı 2 mm ye düştüğü halde ufalanma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu kabul edilerek bir miktar daha kurutma yapılarak deney tekrarlanır. Görüldüğü gibi bu deney de oldukça sübjektif olup, deneyi yapan kişiye oldukça bağımlıdır. Zemin plastik bir malzemeden yarı plastik bir malzeme haline dönüşür.

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

$$I_P = (W_L - W_P)$$

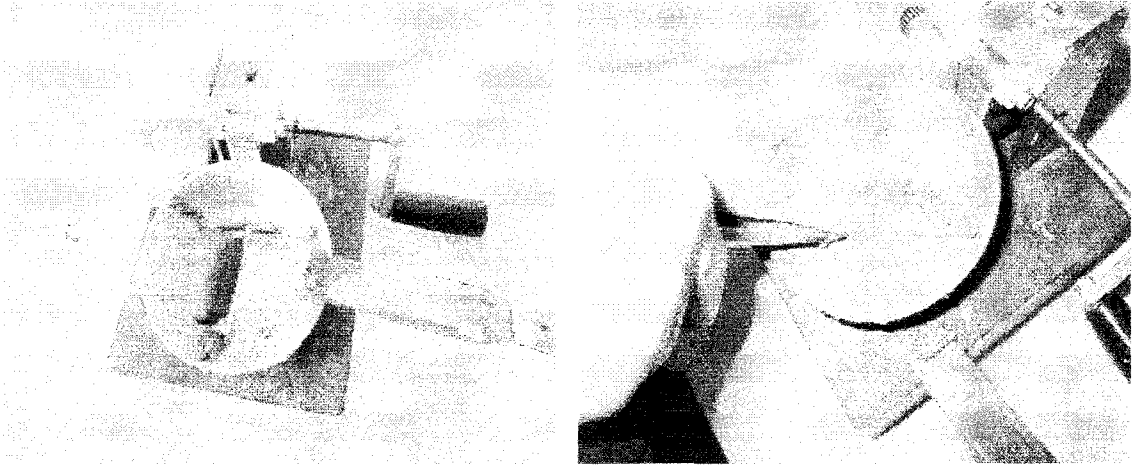
Tabii su muhtevası ile plastik limit arasındaki farkın, plastisite indisine oranı likitlik indisini verir (I_L).

$$I_L = \frac{W - W_P}{I_P}$$

Zeminin katı halden plastiğe ve plastik halden de sıvı hale geçişini tespit eden ilgili su muhtevalarını tayin için kullanılan deneylere plastik limit ve likit limit deneyi denir.

5.1.1.1. Likit limit deneyi

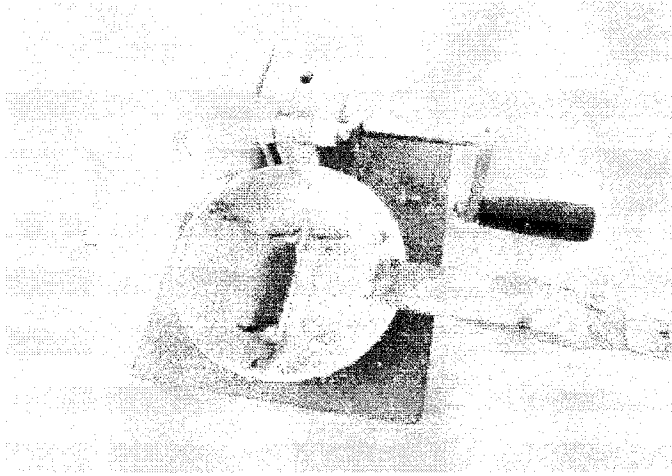
Likit limit deneyinde kullanılan deneysel aletler Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Likit limit deney aletleri

Deneyin yapılış amacı: Zemin numunesinin su muhtevalarının tayini ve zeminin kıvamı hakkında bilgi edinme.

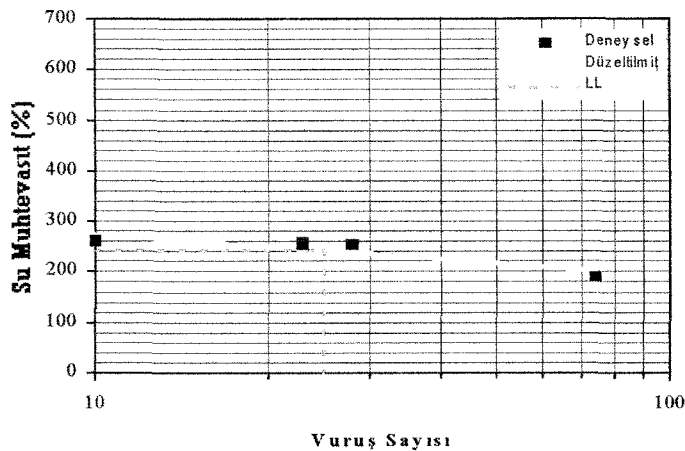
Deneyin yapılışı: Zemin numunesi 105-110 °C etüvde 24 saat kurutulur. Yaklaşık 200-250 gr numune alınarak damıtık su ile karıştırılıp homojen bir karışım elde edilir. Bu karışım Casagrande deney aletinde boşluk meydana gelmeyecek şekilde yerleştirilir. Casagrande aletinin düzeneğinde numune yerleştirilen pirinç kap 1 cm yükseğe çıkıp plastik bir yüzeye düşmektedir. Aletin kolu yaklaşık 2 devir/sn hızla çevrilmelidir. Bu çevirme esnasında kap kalkar ve düşer. Bu işlem ortadaki oyuk yaklaşık 1 cm 'lik kısmı birleşinceye kadar devam eder. Bu andaki vuruş sayısı ve numunenin su muhtevası belirlenir. Dört ayrı vuruş sayısı ve su muhtevası belirlendikten sonra 25 vuruş sayısına karşılık gelen su muhtevası numunemizin likitlik kıvamındaki su muhtevasıdır. Likit limit deneyinde malzemenin Casagrande deney aletine yerleştirilmesi Şekil 5.2.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.2. Likit limit deneyinin yapılışı

Hesaplamalar:

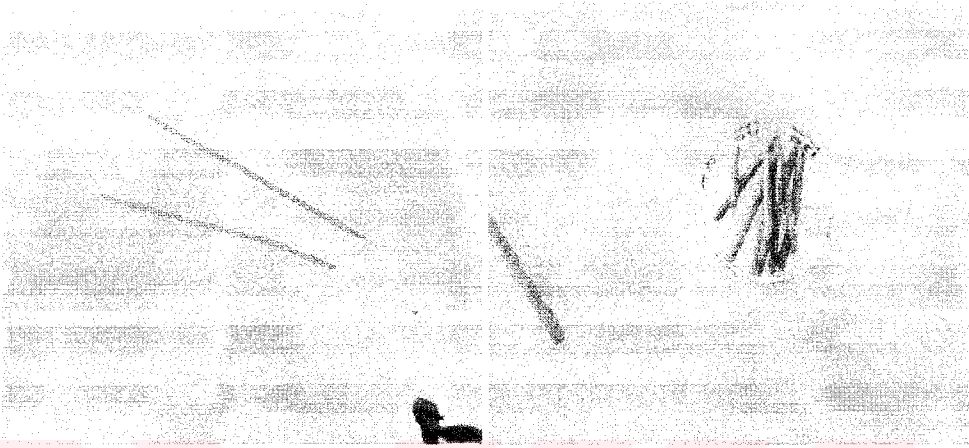
Zeminlerin likit limiti bu deneyde 25 düşüşe karşılık gelen özel bir su muhtevasıdır. Bu yöntemle 25 düşüşe karşılık gelen su muhtevasını tek bir denemede bulabilmek mümkün olmadığı için en az dört tane N ve dört tane de w bulunur. Yatay eksende $\log(N)$ ve düşeyde w olacak şekilde işaretlenerek elde edilen dört noktadan geçen en uygun doğru geçirilir. Bu doğru akma eğrisi olarak adlandırılır. Eksen takımında $N=25$ bulunarak akma eğrisi kestirilir akma eğrisinde bu noktaya karşılık gelen w (Su muhtevası) bulunur. Su muhtevası-Düşüş sayısı ilişkisi ile Likit Limit değerinin bulunması Şekil 5.3.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Su muhtevası-düşüş sayısı ilişkisi ile likit limit değerinin bulunması

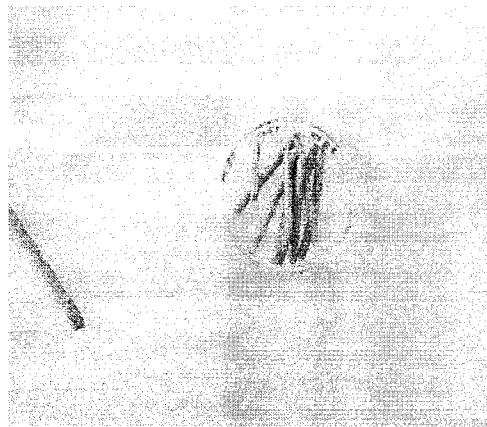
5.1.1.2. Plastik limit deneyi

Plastik limit deneyinde kullanılan deneysel aletler Şekil 5.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.4. Plastik limit deney aletleri

Deneyin yapılışı: 24 saat etüvde kurutulmuş numune homojen olacak şekilde su ile karıştırılarak plastik kıvamına getirilir. Daha sonra bu numune cam levha üzerine konarak avuç içiyle yaklaşık 3 mm lik çaplı silindirik numune oluşturulur. Kopma ve çatlakların oluşmaya başladığı andaki su muhtevası plastik limit değerini verir. Plastik kıvamına getirilmiş zemin örneği Şekil 5.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Plastik kıvamına getirilmiş zemin örneği

Hesaplamalar:

$$w_p = \frac{W_{tw} - W_{td}}{W_{td} - W_t}$$

bağıntısıyla hesaplanır.

W_p : Numuneye ait plastik limit değeri

W_t : Kurutma kabının darası

W_{tw} : Dara ile birlikte ıslak numune ağırlığı

W_{td} : Dara ile birlikte kuru numune ağırlığı

$$I_p = w_L - w_p$$

Likitlik İndisi (ILveya LI): Kıvam limitlerinin laboratuvarında ölçülmesinden sonra arazideki durumunu belirlemek için likitlik indisi hesaplanmalıdır.

$$I_L = \frac{w_n - w_p}{w_l - w_p} = \frac{w_n - w_p}{I_p}$$

burada;

w_n : Zeminin doğal su muhtevası

w_p : Zeminin plastik limiti

w_L : Zeminin likit limiti

I_p : Zeminin plastisite indisi

Kıvam İndisi (I_c) : Likitlik indisine benzer olarak, zeminin arazide doğal haldeki kıvamının nasıl olduğu hakkında bilgi verir.

$$I_c = \frac{w_l - w_n}{w_l - w_p} = \frac{w_l - w_n}{I_p}$$

Kıvam indisinin sayısal değerlerine bakılarak şunlar söylenebilir:

$I_c = 1$ iken zemin plastik limitte demektir.

$I_c = 0$ iken zemin likit limitte demektir.

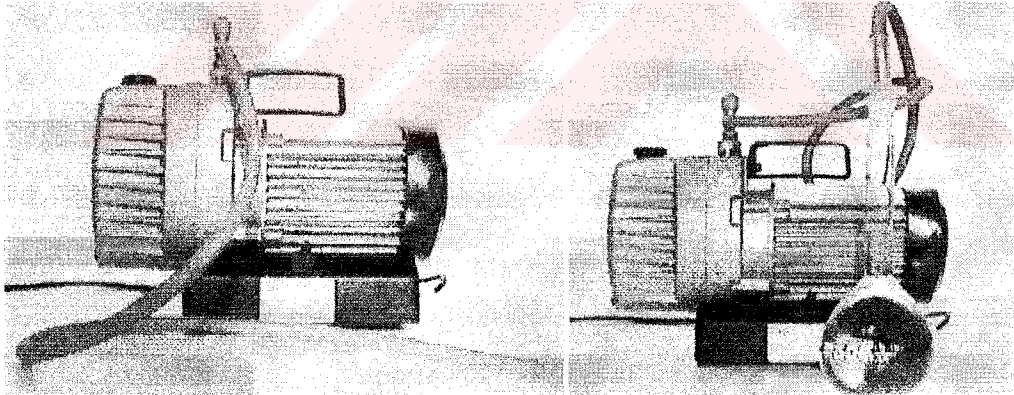
I_c nin 1 den küçük olması zeminin su muhtevasının likit limitin üstünde olduğunu gösterir.

I_c nin 1 den büyük olması ise zeminin yarı katı veya katı durumda olduğunu gösterir.

5.1.2. Özgül ağırlık (spesifik gravite)

Malzemenin birim hacimdeki ağırlığının aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak tanımlanır. Zeminlerin dane özgül ağırlığı, birim hacim ağırlığı gibi malzemenin hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilmesi için gereklidir.

Deneyin yapılışı: Zemin danelerinin özgül ağırlığı (G_s) bir piknometre veya hacimsel çözümlü bir kap yardımıyla tayin edilir. Ölçülü bir kap için uygun kapasite 50 cm³ dür. Piknometre şişesi kapağı ile beraber etüvde kurutulduktan sonra hassas olarak tartılır. (W_1) etüvde kurutulmuş 25 gr kadar zemin numunesi soğutulduktan sonra piknometre şişesine doldurulur ve beraberce tartılır (W_2). Piknometre şişesi üç aşamada doldurulacak şekilde damıtık su ilave edilerek her aşamada su ve zemin içerisindeki hava vakum tabiki suretiyle dışarıya atılır ve tekrar tartım yapılır(W_3). Özgül Ağırlık (Spesifik Gravite) deneyinde kullanılan aletler Şekil 5.6.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Özgül ağırlık (spesifik gravite) deneyinde kullanılan aletler

Hesaplamalar: Yukarıda anlatılan işlem sırası izlenirse özgül ağırlık aşağıdaki formülde hesaplanır:

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{50 - W_3 + W_2}$$

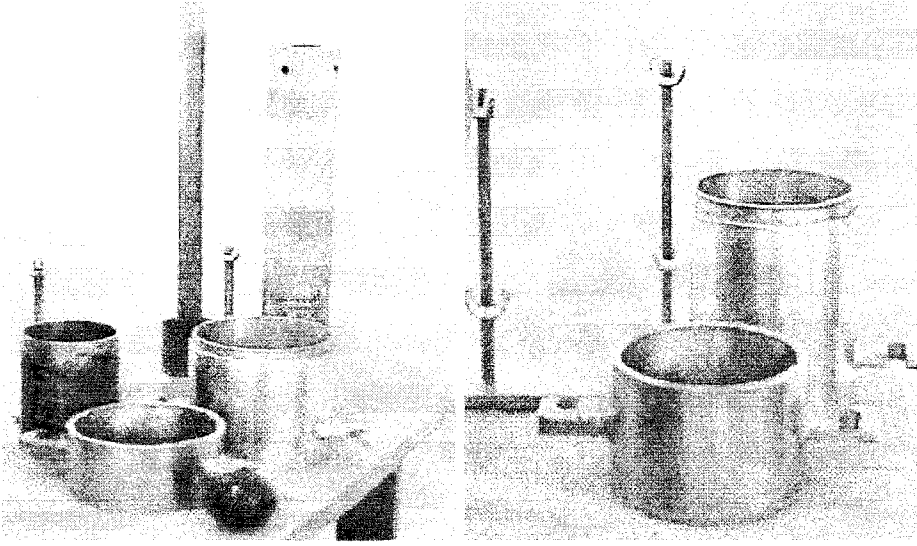
5.1.3. Standart proktor kompaksiyon deneyi

Kompaksiyon, zeminin tabaka serilerek, silindirme, vibrasyon uygulama, tokmaktama gibi işlemlerle sıkıştırılmasına denir. Bu işlemlerle; zemin taneleri arasındaki boşluk miktarını azaltmak sureti ile zeminin taşıma gücü arttırılır, geçirimsizliği azaltılır ve zeminin sabit, hareketli, dinamik yükler altında yapacağı oturmalar azaltılır.

Kompaksiyonun ölçüsü olarak, zemine ait kuru birim hacim ağırlığından faydalanılır. Bu yüzden kompaksiyon deneyleri için optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için yapılan deneyler de diyebiliriz. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyükse, zemin o derece iyi sıkışacaktır. Kuru birim hacim ağırlığı değeri su muhtevasına bağlı olarak değişir. Kuru birim hacim ağırlığının en büyük değerine ulaştığı su muhtevasına optimum su muhtevası denir. Yani en iyi sıkışma optimum su muhtevasında elde edilir.

Deneyin yapılışı: Optimum su muhtevasının tespiti için standart proktor deneyi kullanılır. Standart proktor deneyinde iç çapı 10,2 cm, yüksekliği 11,7 cm olan metal bir silindir kullanılır. Bu kaba, bir yaka geçici olarak eklenir. Deneyde kullanılacak olan zemin numunesi üç tabaka halinde serilir ve her bir tabaka 30,5 cm den serbestçe düşen 2,5 kg. ağırlığındaki bir tokmakla 25 vuruş ile sıkıştırılır. Kullanılan tokmak ve vuruş sayılarının standart olması sebebiyle zemine sıkıştırma yolu ile verilen enerji de standarttır. Standart proktor deneyinde uygulanan kompaksiyon enerjisi 590 kJ/m^3 tür. Standart Proktor deneyinde kullanılan aletler Şekil 5.7.'de gösterilmektedir.

Kullanılan kabın (mold) içindeki sıkıştırılmış zeminin yaş ağırlığı belirlenir. Standart proktor kalıbının hacmi 929.37 cm^3 tür. Böylece zeminin birim hacim ağırlığı γ_n belirlenmiş olur. Sıkıştırılmış zeminin su muhtevasının belirlenmesi için, alttan ve üstten olmak üzere iki yerden numune alınır ve bu iki değerlerin ortalaması hesaplara esas olur. Bulunan su muhtevası değeri (ω) kullanılarak, kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) bulunur. Deney değişik su muhtevaları için tekrarlanır.

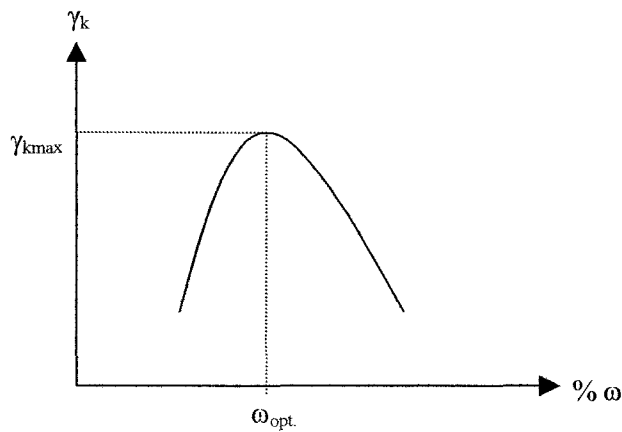


Şekil 5.7. Standart proktor deneyi aletleri

Hesaplamalar:

$$\gamma_n = \frac{w}{v} \quad \gamma_k = \frac{\gamma_n}{1+w} \quad \gamma_k = (1-n)\gamma_s \quad e = \frac{n}{1-e} \quad \gamma_k = \frac{\gamma_s}{1+e}$$

Değişik su muhtevaları için bulunan γ_k ve $\% \omega$ değerleri bir grafiğe aktarılır. Grafikte kuru birim hacim ağırlığı ordinat, su muhtevası ise apsis eksenine yerleştirilir. Bulunan deney sonuçları bu grafikte işaretlenir ve çan eğrisi şeklinde bir eğri elde edilir. Bu eğrinin tepe noktasının ordinatı γ_k , apsisi ise $\% \omega$ değerini verir. Sıkıştırılmış bir zeminde γ_k - ω ilişkisi Şekil 5.8.'de gösterilmektedir.

Şekil 5.8. Sıkıştırılmış bir zeminde γ_k - ω ilişkisi

$\gamma_k - w$ eksen takımında sabit bir doygunluk derecesi için ($S_r = \text{sabit}$) teorik olarak çizilen çizgiye doygunluk çizgisi denir.

$$\gamma_k = \frac{\gamma_s}{1 + \frac{\gamma_s w}{S_r}}$$

bağıntısında zeminin tane birim hacim ağırlığı bilindiğinde, sabit S_r değerlerine karşılık gelen $\gamma_k - w$ değerleri bulunarak çeşitli doygunluk çizgileri elde edilebilir.

5.1.4. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyi, sadece eksenel yükleme uygulanarak, bu yüklemeye bağlı olarak meydana gelen gerilmeler yardımıyla, zeminin serbest basınç direncinin bulunduğu deneydir. Bu deneyde yalnızca eksenel basınç yükü uygulandığından, yanıl basınç ve onun oluşturduğu gerilmeler (σ_3) yoktur. Bu yüzden deney ancak kendini tutabilen zeminler için uygundur. Deneyde zeminin serbest basınç mukavemeti, zemin numunesinin kırılması anında yatay enkesitte birim alana gelen basınç olarak kabul edilir. Kırılma anında yatay kesit alanı A_f , bu kesiti kıran düşey kuvvet ise P_f değeri olarak kabul edilerek zeminin serbest basınç mukavemeti; q_u bulunur.

$$q_u = \frac{P_f}{A_f}$$

Deney hızlı olarak yapıldığından deney esnasında su muhtevasının değişmediği kabul edilir. Bu yüzden deney boyunca numune hacminin sabit kaldığı ve deneyin drenajsız olduğu düşünülür. Deneyde yapılan bir diğer kabul de zemin numunesi yanıl genişlemesinin numune yüksekliği boyunca üniform olmasıdır. Bu kabuller yardımıyla kırılma anındaki enkesit alanı A_f bulunabilir.

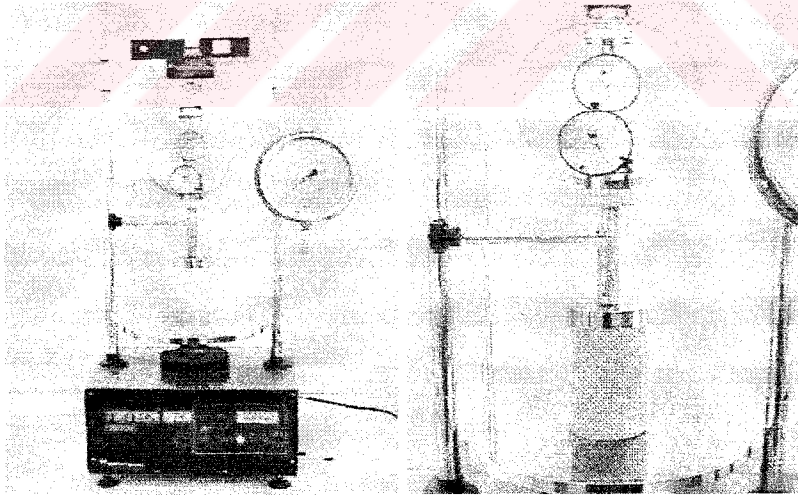
- A_0 : Numunenin deney başlangıcındaki enkesit alanı
- A_f : Numunenin kırılma anındaki enkesit alanı
- H_0 : Numunenin deney başlangıcındaki yüksekliği
- H_f : Numunenin deney sonundaki yüksekliği
- ΔH : Numunedeki boyca kısalma

Hacimde değişim olmadığı kabulü ile; $V = A_0H_0 = A_fH_f$

$$H_f = H_0 - \Delta H, \quad \varepsilon = \frac{\Delta H}{H_0}, \quad A_f = \frac{A_0H_0}{H_f} = \frac{A_0H_0}{H_0 - \Delta H} = \frac{A_0H_0}{H_0 \left(1 - \frac{\Delta H}{H_0}\right)} = \frac{A_0}{1 - \varepsilon_f}$$

Serbest basınç deney aleti, biri sabit, diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki yuvarlak plakadan oluşur. Numune bu iki plaka arasına konur. Düşey yük, bir yük halkası, bir yük ölçme düzeni ile, düşey deformasyon biçiminde uygulanır. Halkanın yükün uygulandığı doğrultudaki çapında meydana gelen kısalma miktarı, içindeki bir deformasyon saati ile gözlenir. Daha önce bilinen yükler altında yük halkası kalibre edilerek, ne kadarlık bir yüke karşılık geldiği belirlenir. Numunenin düşey eksenel boy kısalması (ΔH), sabit bir yere takılmış ayrı bir deformasyon saati ile ölçülür. Serbest basınç deney aleti Şekil 5.9.'da gösterilmektedir.

Deney sonunda, düşey gerilme ve ona bağlı olarak meydana gelen düşey deformasyon ilişkisi çizilebilir. Serbest basınç deneyinde, kohezyon, serbest basınç mukavemetinin yarısına eşittir.



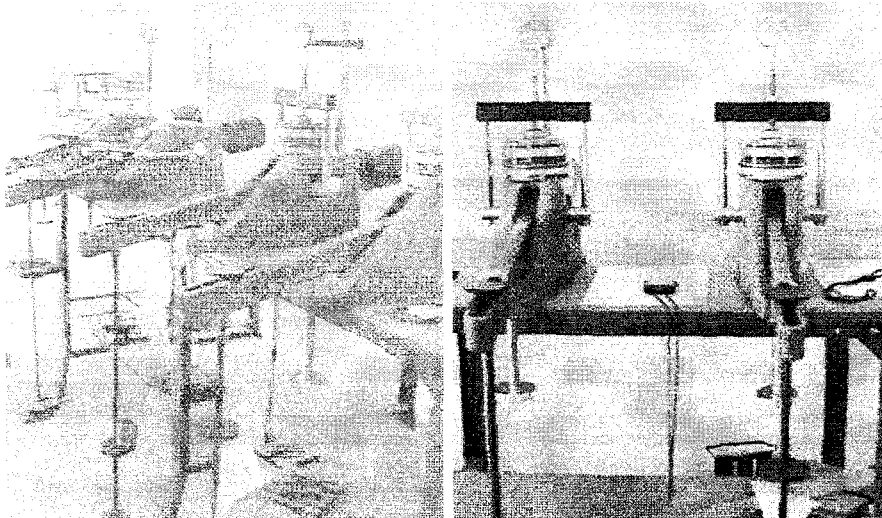
Şekil 5.9. Serbest basınç deney aleti

5.1.5. Konsolidasyon deneyi

Zeminler herhangi bir yükleme durumuyla karşı karşıya kaldıklarında sıkışır ve şekil değişimine uğrarlar. Bunun nedeninin zemini oluşturan danelerin sıkışmasının veya boşluklardaki hava ve suyun sıkışmasının olduğu düşünülebilir. Ancak özellikle suya doymuş zeminlerde sıkışma esas olarak boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu meydana gelmektedir. Bu sıkışma sonucu zeminlerde oluşan hacimsel şekil değiştirmelere konsolidasyon denir (Uzuner, B. A., 1998).

Zeminlerdeki sıkışma başlangıçta hızlıdır. Zamanla yavaşlar ve belli bir süre sonra hemen hemen tamamen durur. Hacim değişiminin ve konsolidasyonun hızı zeminin permeabilitesi ile doğru orantılıdır. Eğer zeminin permeabilitesi yüksekse yük artışı sırasında su kaçıışı çabuklaşır ve konsolidasyon hızı artar. Yüksek permeabiliteli zeminlerde sıkışma hızla ilerleyerek kısa bir süre sonunda nihai değere varılmaktadır. Killer gibi düşük permeabiliteli zeminlerde ise sıkışma çok daha yavaş ilerlemektedir.

Değişik zeminler bir birinden farklı sıkışma özellikleri gösterirler. Genel olarak, plaka şeklinde ince danelerden oluşan zeminler (özellikle killer) yuvarlak iri daneli zeminlere (kumlar ve çakıllar) göre daha büyük oranda sıkışmaya uğramaktadır. Kumlarda sıkışma boşluk oranı arttıkça artmaktadır. Killerde ise sıkışma miktarı genel olarak tabii su muhtevasına bağlı olarak artmaktadır. Konsolidasyon deney aleti Şekil 5.10.'da gösterilmektedir.



Şekil 5.10. Konsolidasyon deney aleti

Killi zeminlerin konsolidasyonu zamana bağılı olarak ve yavaş bir şekilde gerçekleşmektedir. Killerin sıkışması daha önceden maruz kaldığı yüklere bağlıdır. Killer, konsolidasyon geçmişine göre, başlıca 3'e ayrılırlar. 1) Normal konsolide olmuş killer: Geçmişte, halihazırdaki yükünden daha büyük yüklere maruz kalmamış olup, halihazırdaki yükler altında, konsolidasyonlarını tamamlamamışlardır. 2) Aşırı konsolide olmuş killer: Geçmişte, halihazırdaki yükünden daha büyük yüklere maruz kalmış kilerdir. 3) Konsolidasyonu devam eden killer: Şimdiki yükü altında, konsolidasyonunu tamamlamamış, konsolidasyonu devam eden kilerdir. Dış yükler altında aşırı konsolide killer normal konsolide killere göre daha az sıkışma gösterirler. Aşırı konsolide killerin aynı zamanda daha yüksek mukavemete sahip oldukları bilinmektedir (Uzuner, B. A., 1998).

Konsolidasyon deneyi sonuçlarına göre bazı parametreler belirlenebilmektedir. Bunlar;

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_1' + \Delta \sigma'}{\sigma_1'}} \quad a_v = \frac{e_1 - e_2}{\sigma_2' - \sigma_1'} \quad m_v = \frac{a_v}{1 + e}$$

$$k = c_v m_v \gamma_{su} = \frac{c_v a_v \gamma_{su}}{1 + e_0}$$

e_1 : İlk durumdaki boşluk oranı

C_c : Sıkışma indisi

e_2 : İkinci durumdaki boşluk oranı

a_v : Sıkışma sayısı

Δe : Herhangi iki yükleme arasındaki boşluk oranı farkı

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı

σ_1' : Yüklemeden önce, tabaka ortasına, etkiyen düşey efektif gerilme

σ_2' : Yüklemeden sonra, tabaka ortasındaki efektif gerilme

$\Delta \sigma'$: Yüklemeden dolayı, tabaka ortasındaki (ortalama) efektif gerilme artışı

5.1.6. Serbest şişme deneyi

Serbest şişme deneyi, şişen bir zeminde meydana gelebilecek maksimum hacim değişiminin düşey yöndeki şişme ile ifade edilmesi esasına dayanır. Genellikle düşey yöndeki şişme miktarı, yüksüz veya çok küçük sürşarj yükleri altında belirlenmektedir. Kullanılan yöntem gereği numune ring ile çevrelendiği için yatay yöndeki şişme engellenir ve sadece düşey yöndeki değişimler belirlenir. Bu deney sonucunda bulunan büyüklük, şişen zeminlerin şişme özelliklerinin ifade edilmesinde kullanılan büyüklüklerden biridir.

$$S_p = \frac{\Delta H}{H} \times 100$$

- ΔH : Numunede stabil haldeki düşey şişme miktarı (mm)
 H : Numunenin başlangıç yüksekliği (mm)
 S_p : Serbest şişme yüzdesi (%)

5.2. Fiziko-Kimyasal Özellikler

5.2.1. pH

pH, ortamda H^+ veya OH^- iyonlarının bulunma derecesini konsantrasyonu ifade etmektedir. pH değişimi zemin/su karışımını önemli ölçüde etkilemektedir. Düşük pH değeri, toprakta flokulasyonu ve sıkı zemini ifade etmektedir. Yüksek pH değeri ise dispersiyonu ve gevşek zemini belirtir. Karışımın yüksek pH değeri kil danelerini dispers yapmakta ve kil daneleri yüzeyindeki negatif yükü arttırmaktadır. Dolayısıyla daneler arasındaki itmeyi arttırmaktadır (Ergene, A., 1987).

pH değeri kil danelerinin adsorpsiyon karakterini etkiler. Asit durumunda adsorpsiyon artar. Kil danelerinin köşeleri pozitif yüklerle yüklenir. pH değerinin düşük olması kil dane yüzeyinin elektriksel potansiyelini azaltmaktadır. Yani negatif yüzeyleri nötralize etmektedir. Zeminin pH değeri metal miktarlarının azaltılmasında oldukça önemlidir.

pH değeri, zemindeki kation değişim kapasitesini doğrudan etkilemektedir. Kil danelerinin kenarlarından ve organik maddelerden ayrılan H^+ iyonu ve benzeri yükler atıkların pH değerini etkilemektedir. pH değeri artarsa, ortamın kation değişim kapasitesi de artmaktadır. Düşük pH seviyelerinde kovalent bağ ile bağlanmış H^+ ayrılmaz, fakat yüksek pH değerlerinde H^+ diğer kationlar ile yer değiştirebilir.

Kum zeminler yüksek permeabilitelerinden dolayı kirlilik hareketini kontrol edemezler. Killi zeminlerde ise, killer kirliliği bünyelerinde tutabilirler. Killi zeminler düşük permeabilitelerinden dolayı kirlitici sıvıların hareketini büyük ölçüde engellemektedir. Zeminin pH değeri genellikle kirliliğin zemin içerisinde ilerlemesini azaltmak veya durdurmak için minimum 6 ile 8 arasında olmalıdır.

pH değerinin tespit edilebilmesi laboratuarda "Soil pH" metodu ile pH deneyi yapılır. pH deneyi yapılacak numuneler oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurutulurlar. Numuneler tamamen hava kurusu normuna (%3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 40 nolu

elekten elenir. Elenen malzemeden 20 gr alınır ve 50ml saf su eklenerek karıştırılır. Karıştırılan karışımının bir gün sonra pH değerleri ölçülür. Ölçümlerde zemin çözeltisinin üzerindeki berrak kısmın içerisine cam elektrotlu pH metre daldırılır ve numunenin pH değeri göstergeden okunur.

5.2.2. Elektriksel iletkenlik

Su ve atık arasındaki elektriksel iletkenlik, ortamdaki elektrik taşıma kapasitesinin bir ölçüsüdür. Elektriksel iletkenlik, karışımın içerisindeki iyon tipi ve sayısı ile ilgili olarak artar. Dane konsantrasyonu artarsa, kil yüzeyindeki iyonlar solüsyona karışır. Elektriksel alan altındaki katyon iyonlarının iletkenliği ve kolloidal danelerin hareketi solüsyonun iletkenliğini arttırmaktadır.

Bir dane içinde elektriksel yükün değeri doğrudan o danenin yüzey alanı ile ilgilidir. Bu nedenle o danenin davranışına etki eden elektriksel kuvvetlerin kütle kuvvetlerine göre değeri de danelerin birim kütesine düşen yüzey alanı ile ilgilidir. Dane birim kütesine gelen yüzey alanı danelerin davranışına etki eden elektriksel yükün mertebesini gösterir.

Zemindeki tuz oranı elektriksel iletkenlikle belirlenir. Elektriksel iletkenlik değeri 4 miliSiemens (4000 mikroSiemens/cm) değerinden fazla ise zemin tuzludur. Teorik olarak çözeltinin tuz miktarı fazlalaştıkça elektriksel akımını iletmesi de artar. Bu metodun esası asit, baz ve tuzların sudaki çözeltilerinin elektrik akımını iletmeleri özelliğine dayanmaktadır.

Elektriksel iletkenliği belirlenecek numuneler laboratuarda oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak tamamen hava kurusu normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 16 nolu (1,31 mm göz açıklıklı) elekten elenir. Daha sonra bu numunelerden yaklaşık 200 gr alınarak saf suya doygun hale getirilinceye kadar karıştırılır. Numune suya doygun hale geldiğinde akıcı bir kıvamdadır. Akıcı kıvamdaki numunenin bulunduğu kabın üzeri kapatılarak bir gün bekletilir. Daha sonra elektriksel iletkenliği ölçecek olan aletin elektrotu batırılarak numunenin elektriksel iletkenliği tespit edilmiş olur. Elektriksel iletkenlik 1 cm² kesitinde ve birbirinden 1 cm uzaklıktaki elektrotlar arasındaki çözeltinin iletkenliğidir.

5.3. Mikro Yapısal Özellikler

5.3.1. Scanning (tarama) elektron mikroskobu (SEM)

Scanning elektron mikroskobu bir yüzeyin büyütülmüş şeklini elde edebilmek için kullanılan bir alettir. Scanning elektron mikroskobu ile kil mineralojisi, kil plakalarının yerleşim biçimleri veya kil dokusunun incelenmesi mümkün olmaktadır. Scanning elektron mikroskobu ile numune yüzeyi üzerine elektron bombardımanı yapılmaktadır. Elektronlar kil daneleri gibi katı objeler tarafından dağıtılır ve böylece fotoğraf plakasının üzerine bir gölge düşer.

Bir kil numunesinin SEM için hazırlaması, numunenin çatlamadan kurutulmasını içerir. Çoğu kil zeminler, havada kurutulduğunda ve büzülme ile yapısı değiştiğinde oldukça fazla hacim azalması gösterir. Bundan dolayı kil numunelerin kritik nokta kurutma metodu ile kurutulması hava kurusu, fırın kurusu ve donma/kuruma metoduna göre daha efektif bir metottur (Koyuncu, H., 1998).

6. BULGULAR ve TARTIŞMA

6.1. Geoteknik Özellikler

6.1.1. Atterberg kıvam limitleri

Kirletilmiş numunelerin likit limit ve plastik limitleri için ASTM D4318-84 (1985) belirtilen "Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils" metodu kullanılmıştır.

Na-Bentonit ve Kaolin killeri ve bunların belirli oranlardaki karışımları 105 °C da, 24 saat etüvde kurutulduktan sonra, hazırlanan çözeltiler kullanılarak Casagrande aletiyle Likit Limit deneyi yapılmıştır. Deney yönteminde çeşitli kimyasalların çözelti halleri önce kil mineralleriyle homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılıp daha sonra deneye tabi tutulmuştur.

Plastik Limit değerlerinin bulunması için kullanılan yöntemde de kirleticilerin kil yapısına nüfus etmesi aynı şekilde düzenlenmiştir.

Bu deneyler sonucunda Likit Limit, Plastik Limit değerleri bulunarak Plastisite İndisleri hesaplanmıştır. Bu deney sonuçlarına ilişkin çizilen; Şekil 6.1.'deki grafikler likit limit değişimlerini, Şekil 6.2.'deki grafikler plastik limit değişimlerini ve Şekil 6.3.'deki grafikler plastisite indisi değişimlerini göstermektedir. Bu grafiklerdeki Likit Limit, Plastik Limit ve Plastisite İndisi değerleri Ek 1, Ek 2 ve Ek 3'de gösterilmektedir.

Deneyssel yöntemde elde edilen değerlerle sonuçların istatistiksel olarak yorumlanması için varyans analizleri yapılmıştır. Likit limit, plastik limit ve plastisite indisi değerleri için varyans analiz sonuçları Ek 4, Ek 5 ve Ek 6'da sunulmaktadır. Bu varyans analizi sonuçlarına göre;

Kıvam Limitlerinden Likit Limit ve Plastik Limit değerleri birbirine paralel olmakla birlikte bu değerler, karışımdaki Na-Bentonit oranının azalması veya Kaolin oranının artmasıyla ve bununla birlikte kirleticilerin kullanılmasıyla büyük oranlarda düşmektedir. Bu değerlerin düşmesinde her iki faktör de çok etkilidir.

Sadece kimyasalların etkisi belirlenmek istenirse tek bir karışım için yapılan deneylerin incelenmesi gerekir. Buna göre yapılan incelemede tuzlar çok büyük oranlarda Likit Limit ve Plastik Limit değerlerine etki ederek düşürmüştür. Bundan dolayı kullanılan kimyasalları tuzlar ve ağır metaller olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Bu iki grubu da ayrıca üç alt grupta yani

kimyasalların Sulu, Bazik (10cmol NaOH) ve Asidik (10cmol HCl) çözeltileri olarak incelemek sonuçların değerlendirilmesi açısından daha etkili olacaktır. Buna göre;

Birinci grup, yani ağır metallerin ve tuzların sulu çözeltileriyle yapılan deneylerde;

CaCl₂ tuzu diğer tuzlara göre daha fazla plastisite özelliklerini düşürücü yönde etkilemiştir. Karışımdaki Kaolin miktarının %100'e yaklaşmasıyla KCl etkisi artmış diğer tuzlara göre daha fazla oranda plastisite özelliklerini azaltıcı yönde değiştirmiştir.

Tuzlar; Na-Bentonitte %75.32 ile %71.16 arasında değişen oranlarda likit limit, %36.29 ile %33.31 arasında değişen oranlarda plastik limit değerlerini düşürmüştür. Kaolinde ise %13.48 ile %2.22 arasında değişen oranlarda Likit Limit, %12.82 ile %1.91 arasında değişen oranlarda plastik limit değerlerini azaltmıştır.

Ağır metaller; Na-Bentonit için, CuCl₂ %33,59, ZnCl₂ %31,78, PbCl %1,90 oranında etki edip Likit Limit, %30.42 ile %5.74 arasında değişen oranlarda plastik limit değerlerini azaltmıştır.

Kaolinde ise %2,81 ile %14,68 arasında değişen oranlarda Likit Limit değerleri artmıştır. Plastik limit değerleri ise %11.95 ile %0.95 arasında değişen oranlarda azalmıştır.

Ara karışımlar için karışımdaki Na-Bentonit ve Kaolin 'e bağlı olarak değişik oranlarda LL, PL, PI değerleri değişmektedir.

Tuzların ve ağır metallerin kendi aralarındaki etkileri incelenirse; CaCl₂ tuzu NaCl ve KCl 'e göre, CuCl₂ ağır metali PbCl ve ZnCl₂'e göre daha fazla düşürücü yönde etkilemiştir

İkinci grup, yani ağır metallerin ve tuzların bazik çözeltileriyle yapılan deneylerde;

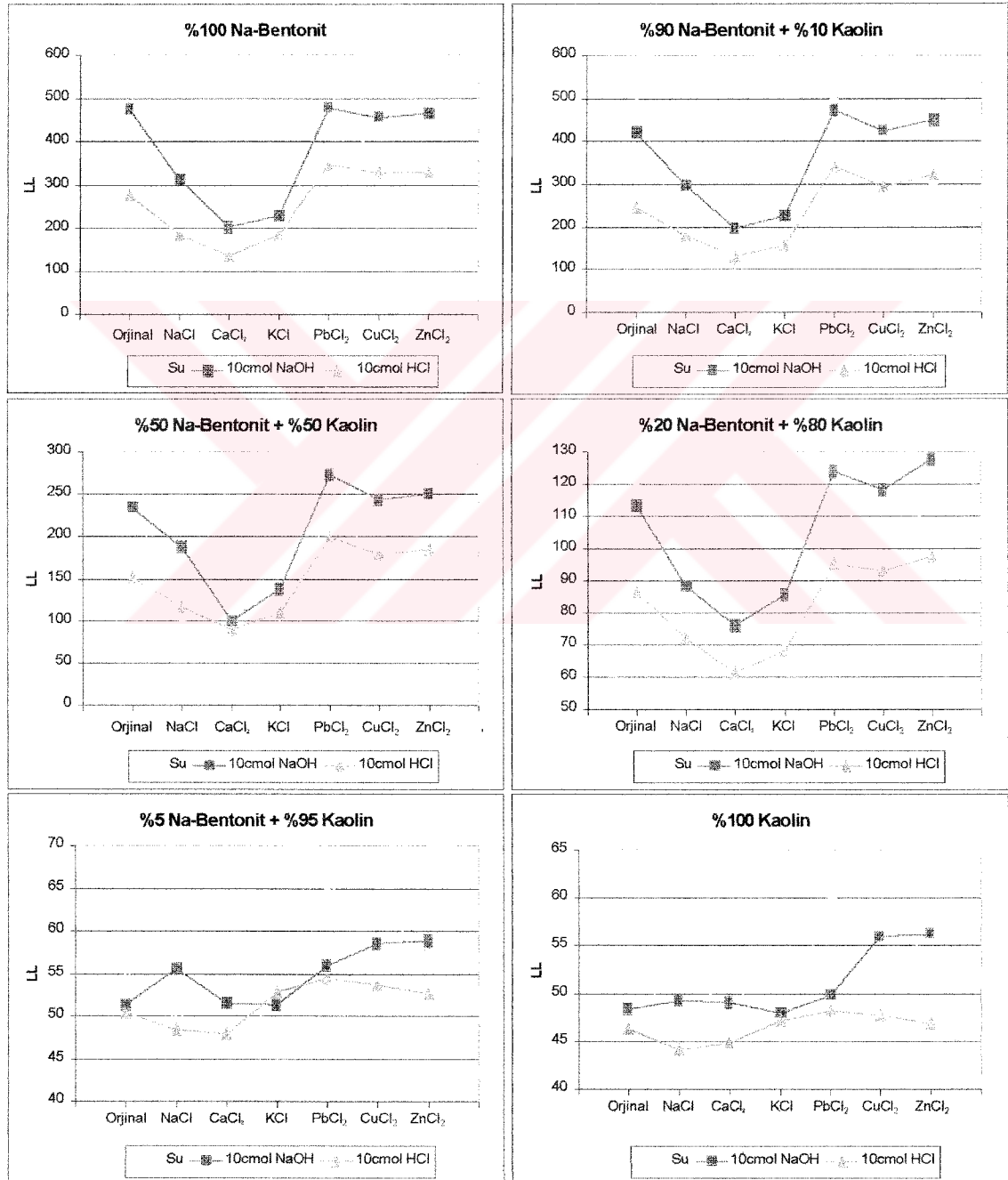
10cmol NaOH orijinal çözeltisi saf suya göre %8.89 oranında likit limit %21.21 oranında plastik limit değerini düşürmesine rağmen genel olarak tuz ve ağır metallerin 10cmol NaOH çözeltili karışımları, tuz ve ağır metallerin sulu çözelti karışımlarına göre likit limit ve plastik limit değerlerini daha az azaltmıştır.

Üçüncü grup, yani ağır metallerin ve tuzların asidik çözeltileriyle yapılan deneylerde;

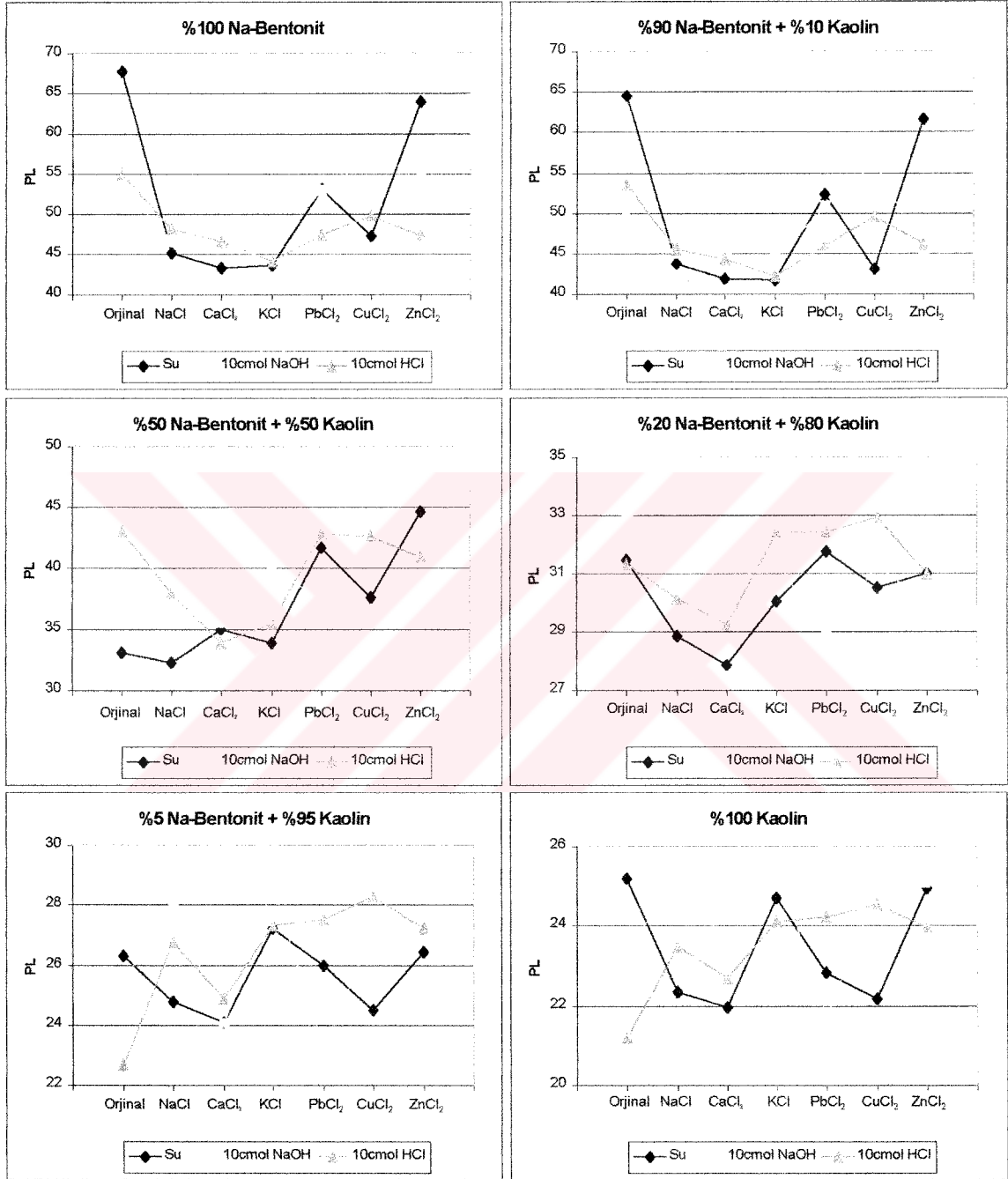
10cmol HCl orijinal çözeltisi saf suya göre %47.27 oranında likit limit değerini %18.94 oranında plastik limit değerini düşürmesine rağmen, tuzların asidik çözeltileri tuzların sulu çözeltilerine göre likit limit ve plastik limit değerlerini daha az azaltmıştır.

Ağır metallerin asidik çözeltileri ise sulu çözeltilerine göre likit limit ve plastik limit değerlerini daha fazla azaltmıştır.

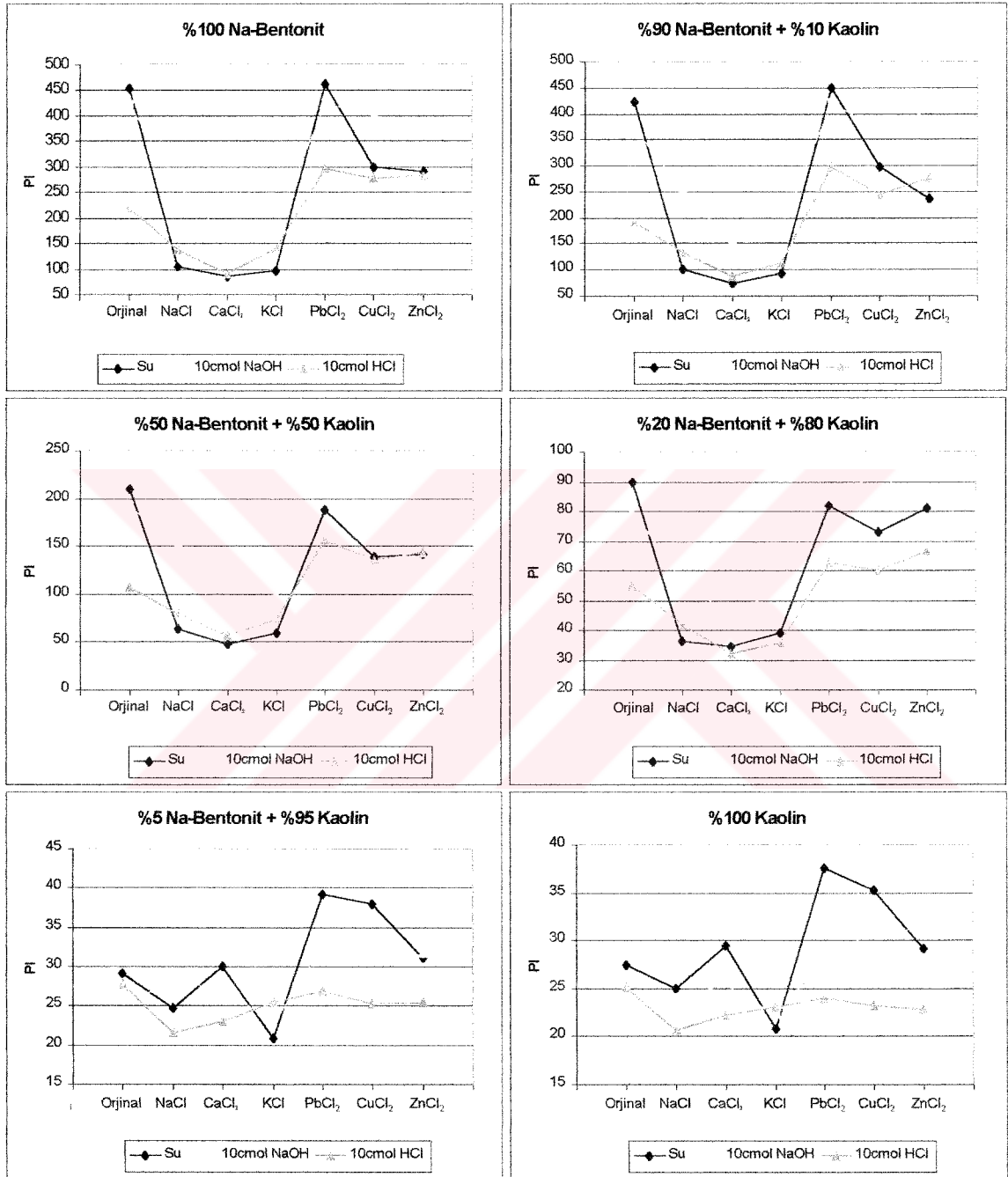
Yapılan deneylerin sonucuna dayanarak; tuzların kıvam limitlerini önemli ölçüde düşürdüğü ağır metallerin ise tuzlara göre daha az oranlarda düşürücü yönde etki ettiği, tuzlarla ve ağır metallerle karıştırılarak elde edilen bazik ve asidik çözeltilerde karşılaştırılma yapılırsa asidik çözeltilerin bazik çözeltilere göre kıvam limitlerini daha belirgin oranlarda düşürücü yönde etkilediği gözlenmiştir. (Şengül, T., 2002)



Şekil 6.1. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının likit limit değerleri



Şekil 6.2. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının plastik limit değerleri



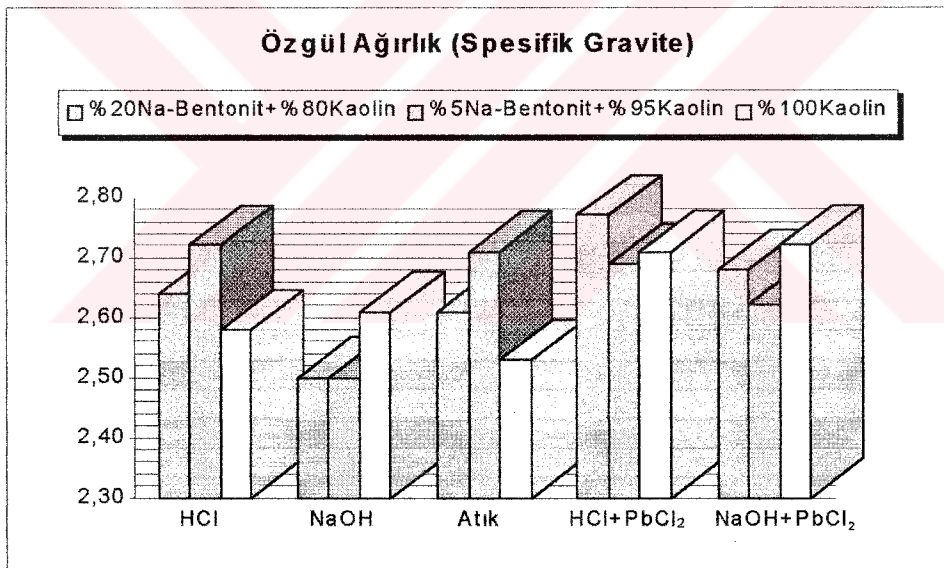
Şekil 6.3. Kirlenmiş, Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımlarının plastisite indisi değerleri

6.1.2. Özgül ağırlık (spesifik gravite)

Deneylerde dane özgül ağırlığı için ASTM D854-83 (1985) belirtilen “Test Method for Specific Gravity of Soil” standardı kullanılmıştır.

Kaolin kili ve bu kilin Na-Bentonit kiliyle belirli oranlardaki karışımları, bu kil ve kil karışımları için belirlenen optimum su muhtevasında kimyasal çözeltisi kullanılarak kirletilmiştir. Kirletilmiş kil ve kil karışımları önce belirli süre hava kurusu halinde kurutulmuş daha sonra etüvde kurularak belirtilen deney standartlarına göre özgül ağırlıkları belirlenmiştir.

Zeminlerin dane özgül ağırlığı, malzemenin hacim ve ağırlık ilişkisinin tespit edilebilmesi için gereklidir. Bu deneysel çalışmada çeşitli kil karışımlarının kimyasallarla kirletilmesi sonucu özgül ağırlığındaki değişimi Şekil 6.4.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.4. Kimyasal kirliliğe maruz kalmış çeşitli kil karışımlarında özgül ağırlığın değişimi

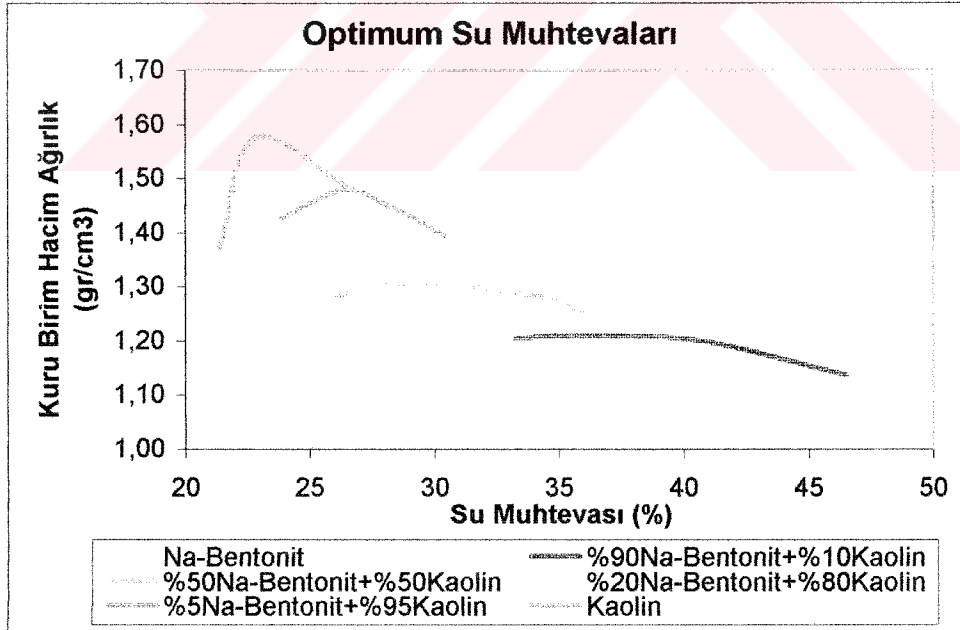
Kimyasallarla kirletilmiş killerin ve kil karışımlarının özgül ağırlıklarında kimyasal etkisinden dolayı değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir.

6.1.3. Kompaksiyon deneyleri

Laboratuarda serbest basınç deneyleri için standart proktor deneyi ASTM D698-78 (1985) belirtilen “Test Methods for Moisture-Density Relations of Soils and Soil Aggregate Mixtures, Using 5.5-lb (2.49-kg) Rammer and 12-in. (305-mm) Drop” metodu ile yapılmıştır.

Kompaksiyon deneyleri optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının bulunması için yapılmıştır. Kuru birim hacim ağırlığı ne kadar büyükse, zemin o derece iyi sıkışacaktır. Kuru birim hacim ağırlığı değeri su muhtevasına bağlı olarak değişir. Kuru birim hacim ağırlığının en büyük değerine ulaştığı su muhtevasına optimum su muhtevası denir. Yani en iyi sıkışma optimum su muhtevasında elde edilir.

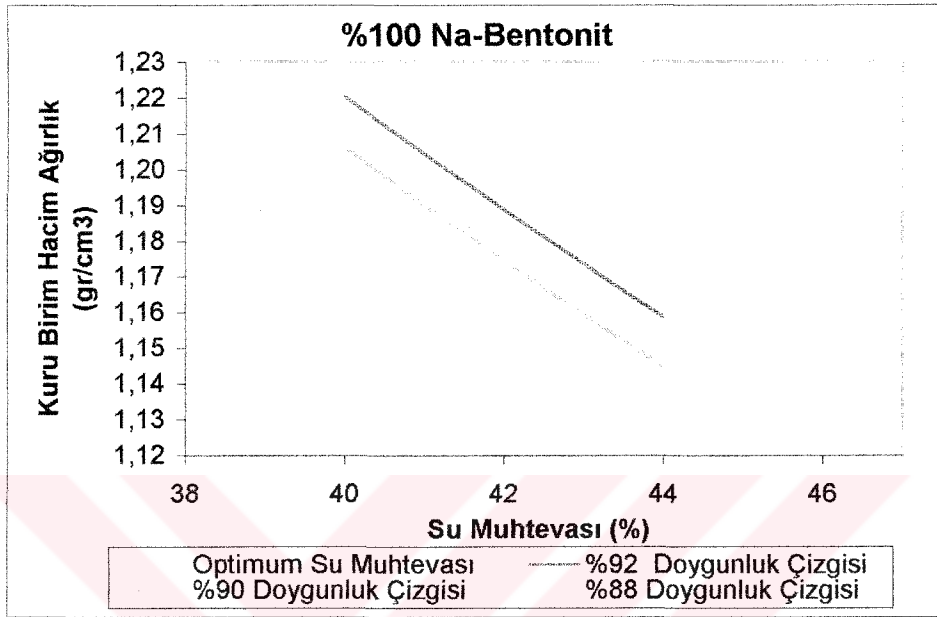
Bu deney sistemindeki her kil grubu ve bu killerin karışımları için optimum su muhtevası belirlenmiştir. Optimum su muhtevası belirlenirken kirletici kimyasallar kullanılmamış saf su kullanılarak tespit edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan Na-Bentonit, Kaolin ve değişik oranlardaki karışımları için optimum su muhtevasının değişimi Şekil 6.5.’de gösterilmektedir.



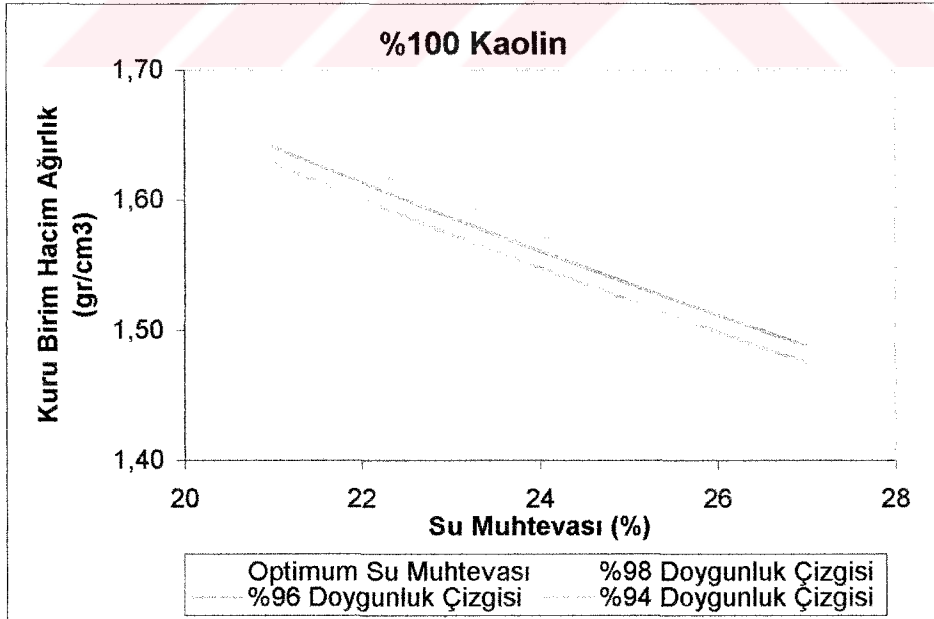
Şekil 6.5. Na-Bentonit, kaolin ve değişik oranlardaki karışımları için optimum su muhtevasının değişimi

Doygunluk çizgileriyle, kil grupları için deneysel eğrinin herhangi bir noktasında, özellikle tepe noktasındaki doygunluk durumu öğrenilmiştir. Na-Bentonit, Kaolin killeri için;

optimum su muhtevaları ve bu su muhtevaları için doygunluk çizgileri Şekil 6.6.ve Şekil 6.7.'de gösterilmektedir.



Şekil 6.6. Na-Bentonit kili için optimum su muhtevası ve doygunluk çizgileri



Şekil 6.7. Kaolin kili için optimum su muhtevası ve doygunluk çizgileri

6.1.4. Serbest basınç deneyleri

Çeşitli numunelerin serbest basınç dirençleri ASTM D2166-66 (1985) belirtilen “Test Methods for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil” metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

Değişik kil karışımları için optimum su muhtevası belirlendikten sonra bu optimum su muhtevasında kimyasal çözeltiler kullanılıp kil karışımlarıyla karıştırılarak standart kompaksiyonla sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler molddan örülenmeden çıkarılmıştır. Bu numunelerin 1 gün ve 28 gün süreyle saklanarak serbest basınç deneyine tabi tutulmuştur.

Serbest Basınç deneyi sırasında yükleme hızı 1 mm/min olarak belirlenmiştir. Bu şekilde deney süresince numunenin su kaybetmesi önlenmiştir. Su muhtevadaki kayıp önemsenmeyecek kadar azdır.

Serbest basınç deneyinde kullanılan 1 ve 28 günlük numunelerin saklama şekli Şekil 6.8.’de gösterilmektedir.



Şekil 6.8. Serbest basınç deneyinde kullanılacak numunelerin muhafaza edilmesi

Serbest basınç deneylerinde aksenal yüke maruz kalarak kırılan değişik kil numunelerinin kırılma şekilleri Şekil 6.9.’da gösterilmektedir.

Kayma mukavemeti parametreleri boşluk oranı, su muhtevası, içsel kuvvetler ve boşluk suyunun kimyasal yapısı ile etkilenmektedir. Elde edilen deney sonuçlarına göre;

%100 Na-Bentonit kili için; kullanılan tüm kimyasalların, ayrıca bunların asidik ve bazik çözeltileri kullanılarak elde edilen numunelerin dayanımının saf su ile hazırlanan

numunenin dayanımlarına göre belirgin oranda düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca 10cmol NaOH ile karıştırılarak elde edilen kimyasalların bazik çözeltileri diğer kimyasallara göre dayanımı daha fazla etkilemiş büyük oranda düşüşe sebep olmuştur.

%90 Na-Bentonit- %10 Kaolin kili karışımları için; dayanım özellikleri sadece bazik çözeltiler için düşmüş, sulu ve asidik çözeltili kimyasallar dayanımı artırmıştır.

Yukarıdaki belirtilen kil grupları haricindeki tüm kil karışımları ve saf Kaolin için, kullanılan kimyasal etkisiyle dayanımın arttığı gözlenmiştir.

Kullanılan kimyasalları tek tek değerlendirmek gerekirse 0,5N KCl 'ün diğer kimyasallara göre önemli miktarlarda dayanımı arttırdığı tespit edilmiştir.

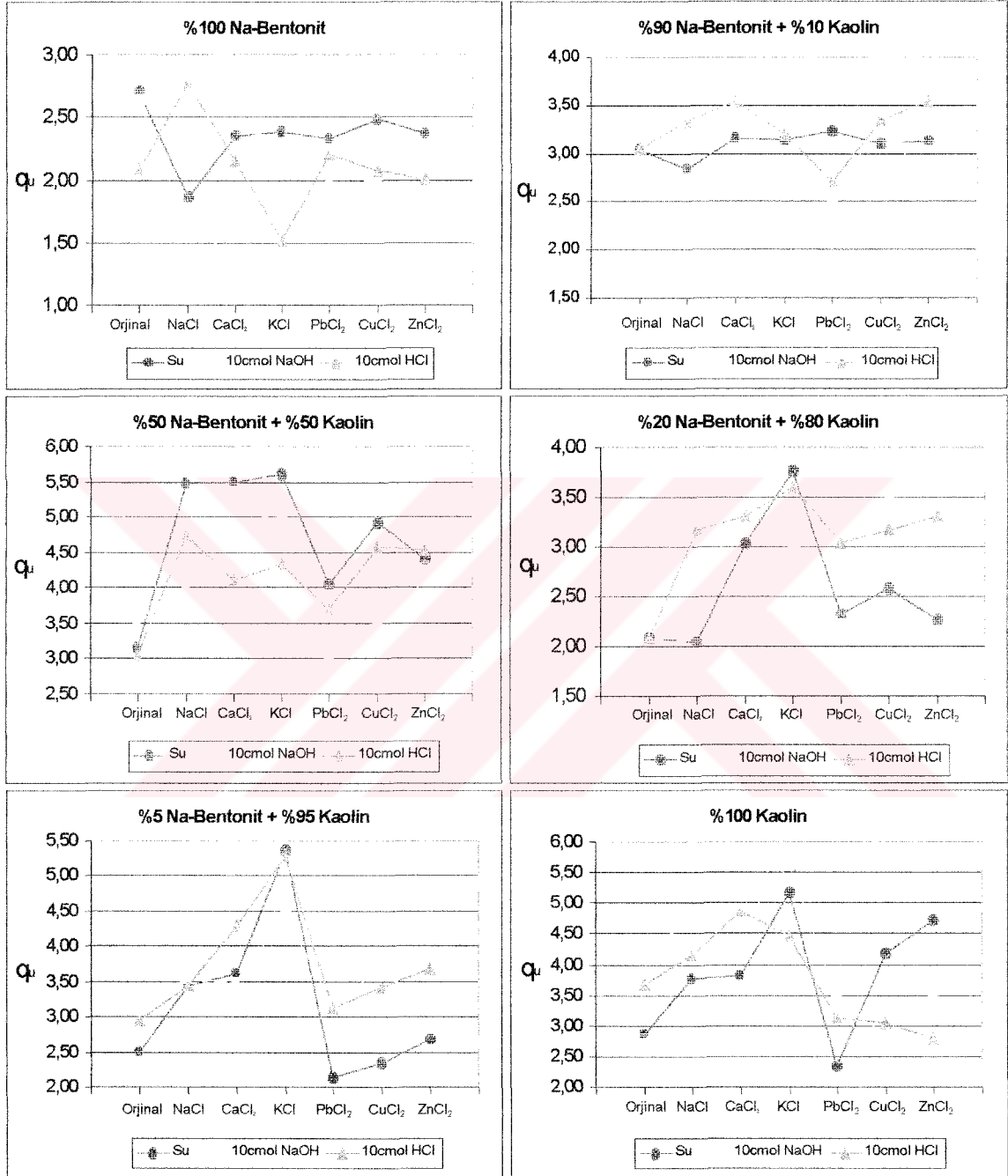
Bununla birlikte 0,5N KCl'ün eksenel şekil değiştirme grafiklerinden de görüldüğü gibi eksenel şekil değiştirme yüzdesini düşürdüğü görülmektedir. Bu oran karışımdaki Kaolin yüzdesinin artmasıyla paralel olarak artmaktadır. Kaolinin saf su ile karıştırılmasıyla elde edilen numunede eksenel şekil değiştirme yüzdesi %20,690 iken, 0,5N KCl'ün asidik çözeltisinin karışımıyla elde edilen numunede bu oran %4,741'e düşmüştür.

Serbest basınç deneyi sonucunda 1 ve 28 günlük numunelerin dayanım (q_u) grafikleri Şekil 6.10. ve Şekil 6.11.'de, eksenel şekil değiştirme (ϵ) grafikleri ise Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.'de gösterilmektedir.

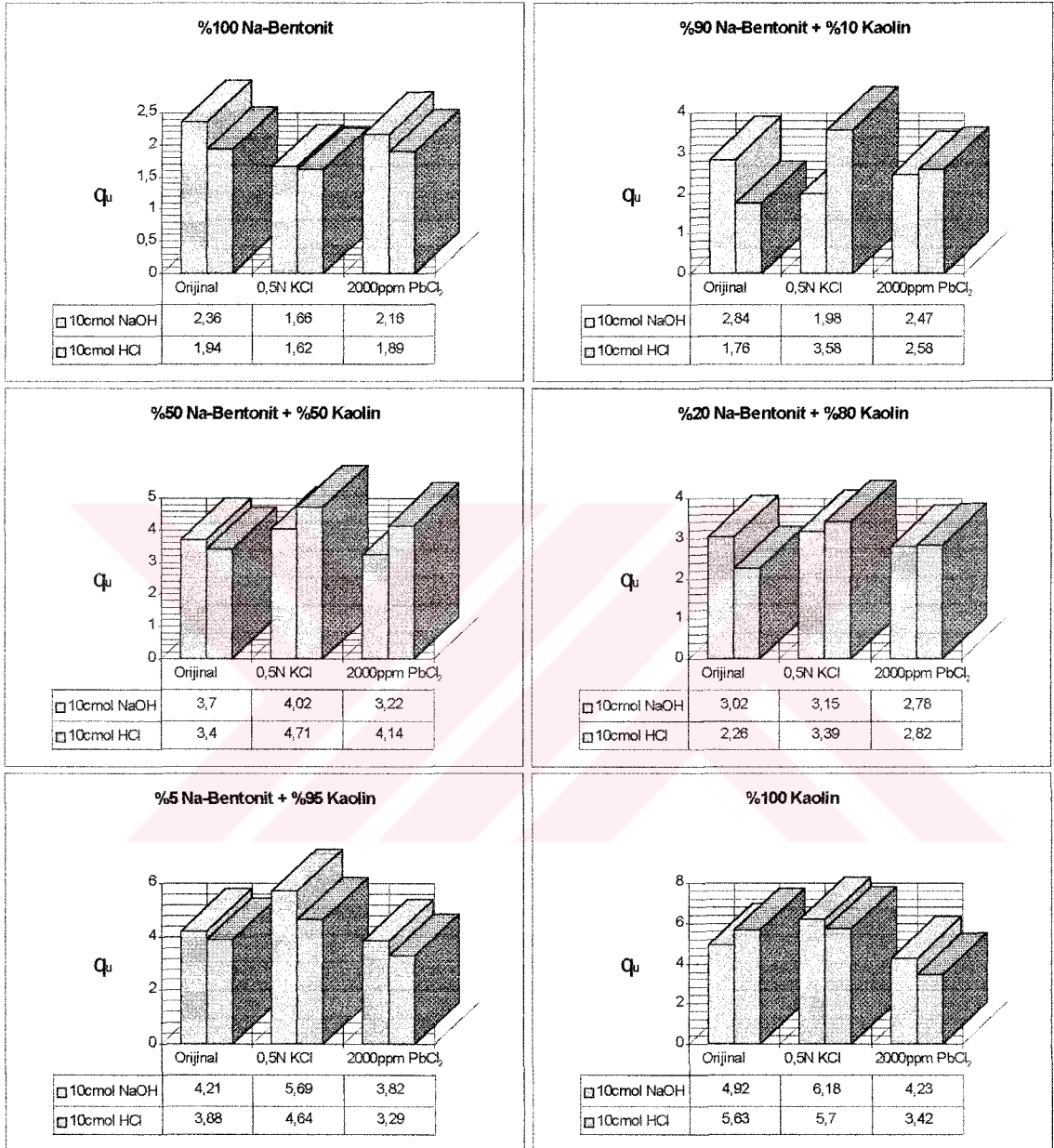
Bu grafiklerde gösterilen serbest basınç dayanım değerleri Ek 7'de, serbest basınç dayanım değerleri ile eksenel şekil değiştirme yüzdesi ilişkisi Ek 9'da 28 günlük numunelerden belirlenen serbest basınç değerleri Ek 8.'de gösterilmektedir. Serbest basınç deneyleri sonuçlarını değerlendirmek amacıyla yapılan varyans analizi sonuçları da Ek 8'de sunulmaktadır.



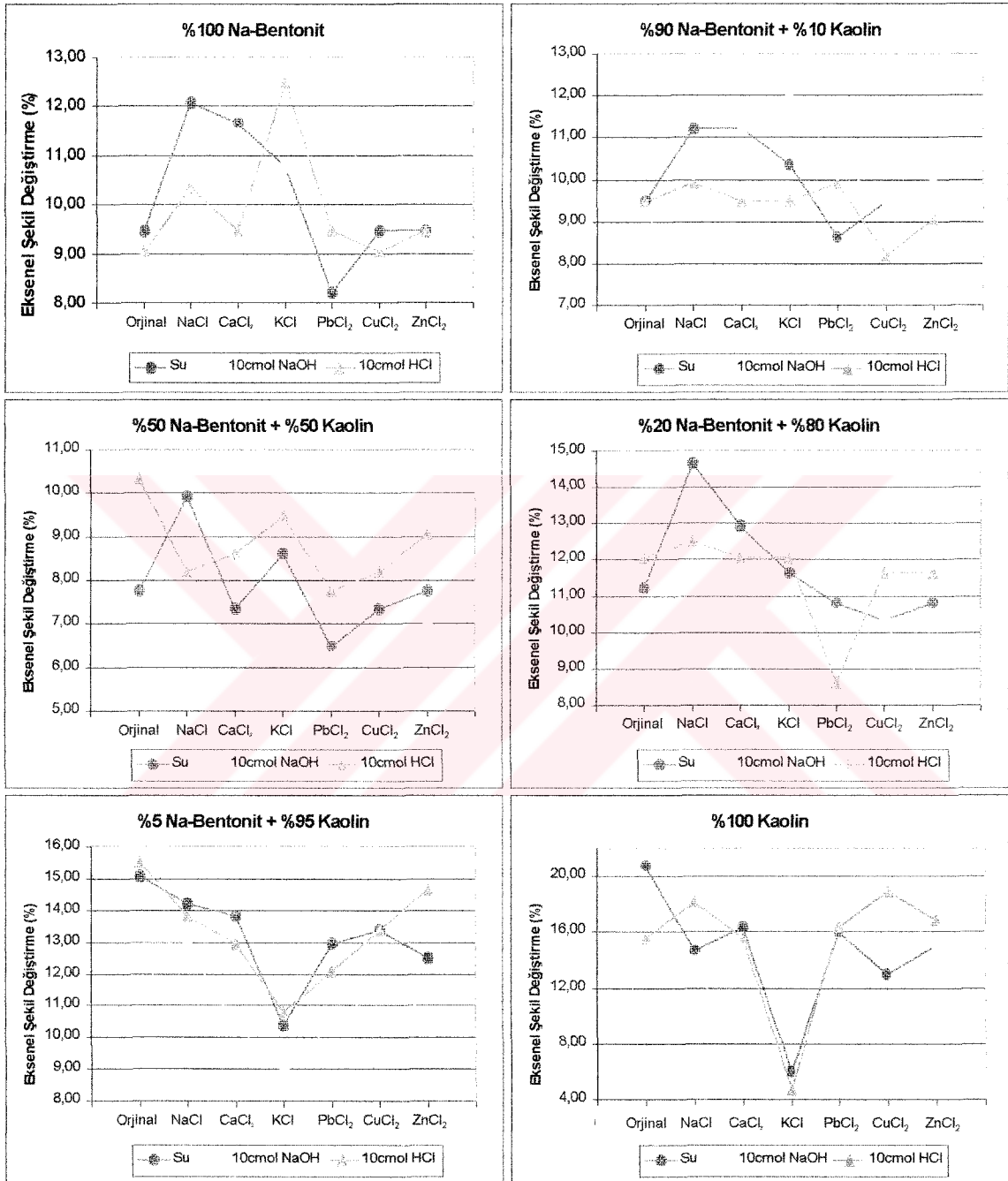
Şkil 6.9. Serbest basınç deneyinde değişik numunelerin kırılma şekilleri



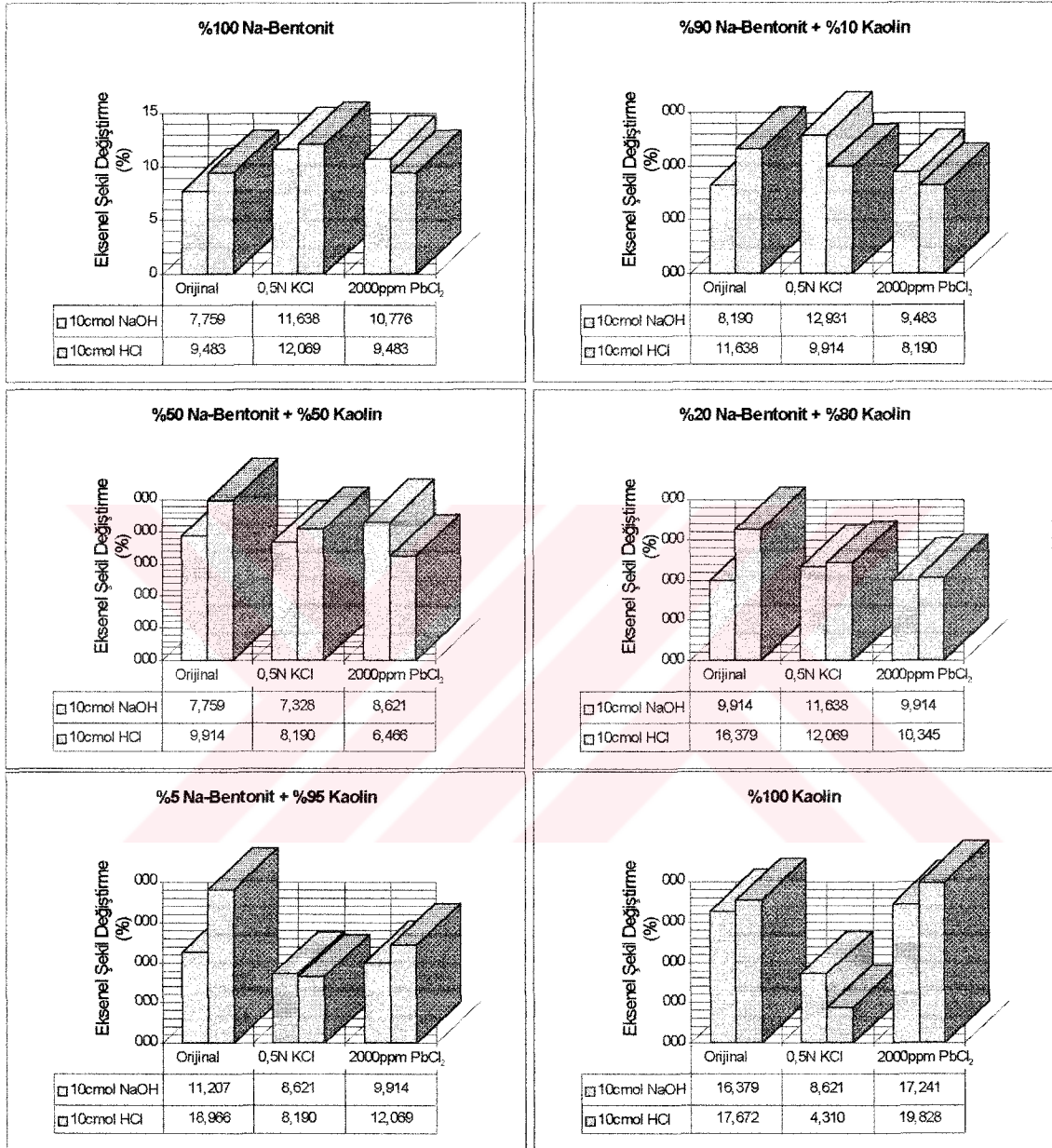
Şekil 6.10. Serbest basınç deneyi sonucunda 1 günlük numunelerin dayanım (q_u) grafikleri (kg/cm^2)



Şekil 6.11. Serbest basınç deneyi sonucunda 28 günlük numunelerin dayanım (q_u) grafikleri (kg/cm^2)

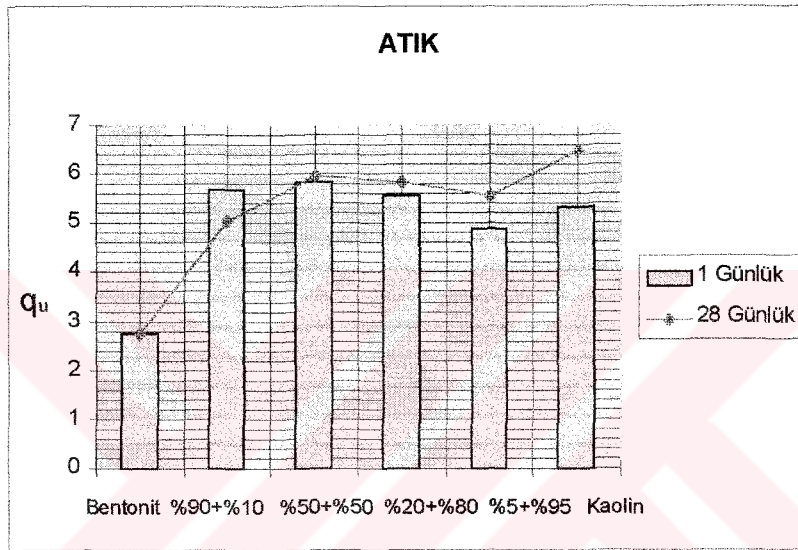


Şekil 6.12. Serbest basınç deneyi sonucunda 1 günlük numunelerin aksenal şekil değıştirme (ε) grafikleri

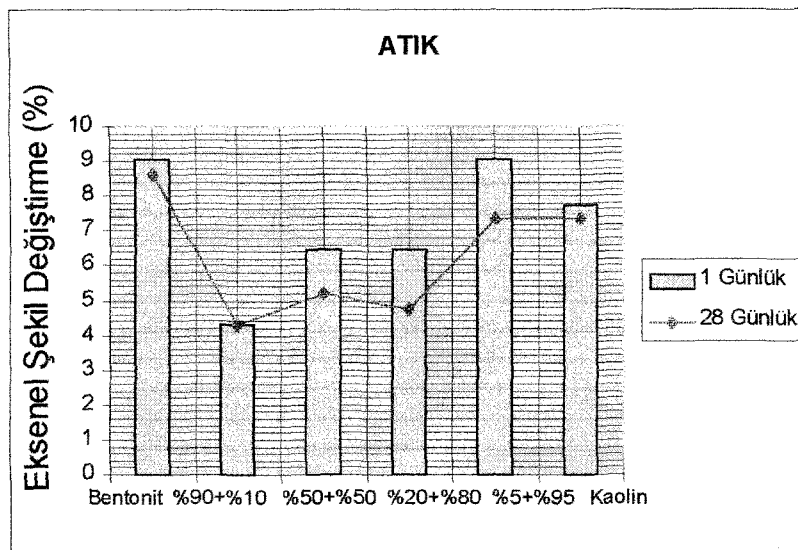


Şekil 6.13. Serbest basınç deneyi sonucunda 28 günlük numunelerin aksel şekil değişime (ε) grafikleri

Kullanılan atığın, tüm kil karışımları için dayanımı büyük oranda artırdığı, eksenel şekil değiştirme yüzdesini ise diğer kimyasallara göre düşürdüğü gözlenmiştir. Bunun sebebi; içeriğindeki kimyasal maddelerden farklı olarak 3mm'nin altında yaklaşık %5 mertebesinde katı madde içeriği ihtiva etmesinden kaynaklanmıştır. Atık kullanılarak elde edilen numunelere ait dayanım değerleri ve eksenel şekil değiştirme yüzdeleri Şekil 6.14. ve Şekil 6.15.'deki grafiklerde gösterilmektedir.



Şekil 6.14. Kullanılan atığa ilişkin 1 günlük ve 28 günlük numunelerin dayanım değerleri (kg/cm²)



Şekil 6.15. Kullanılan atığa ilişkin 1 günlük ve 28 günlük numunelerin eksenel şekil değiştirme yüzdeleri

6.1.5. Konsolidasyon

Laboratuarda konsolidasyon deneyleri ASTM D2435-96 'da belirtilen "Standart Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils" metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

Değişik kil ve kil karışımları için optimum su muhtevası belirlendikten sonra bu optimum su muhtevasında kimyasal çözeltiler kullanılıp kil karışımlarıyla karıştırılarak standart kompaksiyonla sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılan numuneler molddan örselenmeden ring içerisine alınmıştır. Deney sırasında ödometre hücrelerinin içerisine de saf su yerine numunenin kirletilmesinde kullanılan kimyasal çözelti ilave edilmiştir.

Bu çalışmada, konsolidasyon parametreleri kaolin ağırlıklı karışımlar için yapılmıştır. Laboratuarda yapılan ödometre deneyi sonuçlarında Deformasyon Okumaları- log (Dakika) ve Boşluk Oranı (e)-log (P) (kg/cm^2) ilişkileri inlenmiş C_v (konsolidasyon katsayısı), C_c (sıkışma İndisi), C_s (kabarma veya şişme indisi) değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre belirlenen konsolidasyon katsayısından k geçirimsizlik katsayısı Bölüm 5.1.5.'de belirtilen formülasyonla bulunmuştur. Belirlenen bu değerler; k (geçirimsizlik katsayısı) Çizelge 6.1.'de, C_v (konsolidasyon katsayısı) Çizelge 6.2.'de, C_c (sıkışma İndisi) Çizelge 6.3.'de, C_s (kabarma veya şişme indisi) Çizelge 6.4.'de gösterilmektedir.

Geçirimsizlik katsayısı (k) değerleri genelde kirleticilerin kullanılmasıyla artmıştır. Geçirimsizlik katsayısı değerleri ortalama olarak 10^{-9} - 10^{-7} cm/sn arasında değişmektedir. Bu değerler literatürde çöp deponi alanlarında permeabilite katsayısı için geçerli olan aralığı sağlamaktadır (Jessberger, H.L., Syllwasschy, O., 1997). Ayrıca karışımların konsolidasyon, sıkışma ve kabarma indisi değerlerinde kirleticilerin etkisiyle azalmalar görülmektedir.

Çizelge 6.1. Geçirimsizlik katsayısı (k) değerleri (cm/sn)

Kil Karışımları	Kullanılan Kimyasallar				
	NaOH	HCl	ATIK	HCl+PbCl ₂	Saf Su
%20Na-Bentonit+%80Kaolin	$4,97 \cdot 10^{-9}$	$7,05 \cdot 10^{-7}$	$1,84 \cdot 10^{-8}$	$3,02 \cdot 10^{-10}$	$7,38 \cdot 10^{-9}$
%5Na-Bentonit+%95Kaolin	$1,08 \cdot 10^{-8}$	$4,44 \cdot 10^{-9}$	$1,51 \cdot 10^{-8}$	$1,31 \cdot 10^{-9}$	$8,45 \cdot 10^{-9}$
%100 Kaolin	$6,04 \cdot 10^{-8}$	$8,39 \cdot 10^{-9}$	$1,74 \cdot 10^{-9}$	$5,21 \cdot 10^{-9}$	$1,21 \cdot 10^{-8}$

Çizelge 6.2. Konsolidasyon katsayısı (C_v) değerleri (cm^2/sn)

Kil Karışımları	Kullanılan Kimyasallar				
	NaOH	HCl	ATIK	HCl+PbCl ₂	Saf Su
%20Na-Bentonit+%80Kaolin	$3,55 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-3}$	$7,36 \cdot 10^{-5}$	$3,02 \cdot 10^{-5}$	$1,51 \cdot 10^{-5}$
%5Na-Bentonit+%95Kaolin	$1,08 \cdot 10^{-4}$	$8,88 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-4}$	$3,36 \cdot 10^{-4}$	$1,21 \cdot 10^{-4}$
%100 Kaolin	$7,55 \cdot 10^{-4}$	$8,39 \cdot 10^{-5}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$	$1,04 \cdot 10^{-4}$	$2,01 \cdot 10^{-4}$

Çizelge 6.3. Sıkışma indisi (C_c) değerleri

Kil Karışımları	Kullanılan Kimyasallar				
	NaOH	HCl	ATIK	HCl+PbCl ₂	Saf Su
%20Na-Bentonit+%80Kaolin	0,340	0,359	0,585	0,330	0,458
%5Na-Bentonit+%95Kaolin	0,244	0,156	0,244	0,256	0,166
%100 Kaolin	0,158	0,166	0,065	0,128	0,130

Çizelge 6.4. Kabarma veya şişme indisi (C_s) değerleri

Kil Karışımları	Kullanılan Kimyasallar				
	NaOH	HCl	ATIK	HCl+PbCl ₂	Saf Su
%20Na-Bentonit+%80Kaolin	0,085	0,042	0,086	0,214	0,178
%5Na-Bentonit+%95Kaolin	0,043	0,028	0,043	0,040	0,043
%100 Kaolin	0,020	0,013	0,013	0,027	0,023

6.1.6. Serbest şişme deneyi

Laboratuarda serbest şişme deneyleri ASTM D4546-96 'da belirtilen "Standart Test Methods for One-Dimensional Swell or Settlement Potential of Cohesive Soils" metoduna uygun olarak belirlenmiştir.

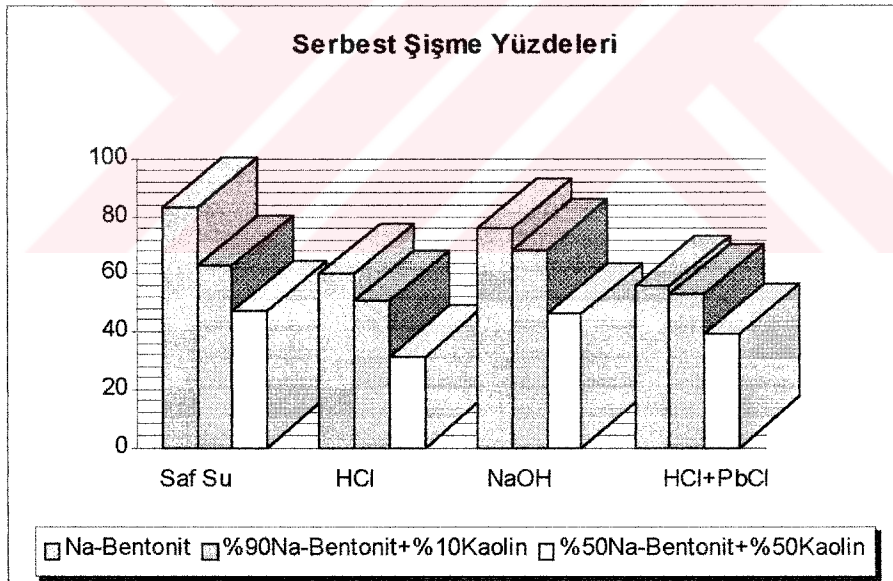
Kirleticiler, kil ve kil karışımlarına konsolidasyon deneylerinde olduğu gibi nüfus ettirilmiştir. Ayrıca konsolidasyon deneylerinde olduğu gibi deney sırasında ödometre

hücrelerinin içerisine de saf su yerine numunenin kirletilmesinde kullanılan kimyasal çözelti ilave edilmiştir.

Şişme deneyleri Na-Bentonit oranı fazla olan karışımlar için yapılmıştır. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler, ASTM D-4546'da belirtilen $0,07 \text{ kg/cm}^2$ (1 PSI) basınç altında serbest şişmeye bırakılmıştır. Numunede meydana gelen düşey yöndeki şişme miktarı değerleri, belirli zaman aralıklarında deformasyon saati ile belirlenmiştir. Serbest şişme deneyine, numunedeki şişme miktarı stabil hale gelinceye kadar devam edilip, belirli bir süre sonra stabil hale gelen serbest şişme miktarına göre serbest şişme yüzdeleri belirlenmiştir.

Şişme deneyleri sonuçlarına bakıldığında; genel olarak kimyasal ilavesi şişme yüzdesi değerlerini azaltmaktadır. Burada NaOH ile kirletilmiş olan kil karışımlarında şişme yüzdesi değerleri diğer kirleticilere göre daha az düşmektedir.

Değişik oranlardaki kil karışımlarının kirletici etkisi altındaki şişme yüzdeleri Şekil 6.16.'da gösterilmektedir.



Şekil 6.16. Değişik oranlardaki kil karışımlarının kirletici etkisi altındaki şişme yüzdeleri

6.2. Fiziko-Kimyasal Özellikler

pH ve elektriksel iletkenlik gibi fiziko kimyasal özellikler kullanılan kimyasallar ve atık için belirlenmiştir. Ayrıca bu kimyasallarla kirletilerek serbest basınç deneyi yapılan

Na-Bentonit ve Kaolin kili numuneleri hava kurusu normuna ulaştıktan sonra elenerek pH ve elektriksel iletkenliği ölçülmüştür.

6.2.1. pH

Laboratuarda oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kurusu normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 40 nolu (0,425 mm) elekten elenerek 20 gr alındı ve 50 ml ASTM Type II'ye uygun saf su ile bir beher içinde zaman zaman 30 dakika karıştırıldı. Karıştırılan karışımların üzeri kapatılarak 1 saat sonra pH değerleri ölçülmüştür. pH deneyi için U.S. EPA Method 9045 (1986)'da belirtilen "Soil pH" metodu kullanılmıştır. Mukayese yapılabilmesi için, aynı karışımlar üzeri kapatıldıktan bir gün sonra tekrar pH değeri ölçülmüştür. Ölçümlerde zemin çözeltilisinin üzerindeki berrak kısmın içerisine cam elektrotlu pH metre (Cole Parmer) daldırılıp numunelerin pH değerleri belirlenmiştir. Deneysel yöntemlerin tümünde kullanılan kimyasalların Su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin pH değerleri Çizelge 6.5.'de verilmektedir.

Bu çizelgeden de görüleceği üzere; NaOH eklenmesiyle çözeltiler bazik özellikler göstermektedir. HCl'in eklenmesiyle ise pH değerinde büyük miktarda azalma meydana gelmiş, çözeltiler asidik özellik göstermiştir.

Çizelge 6.5. Deneysel yöntemlerde kullanılan kimyasalların su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin pH değerleri

		pH						
		Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar						
	Atık	Orjinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su	8,59	6,50	8.80	8.20	7,80	6.27	5.24	6.55
10cmol NaOH		12.37	12.17	11.63	12.35	12.28	11.92	11.98
10cmol HCl		1.90	1.46	1.42	1.56	1.67	1.62	1.70

Değişik kimyasallarla ve bu kimyasalların Su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin karıştırılmasıyla kirletilmiş Kaolin ve Na-Bentonit killerinden hazırlanan

numuneler serbest basınç deneyinde kullanılmıştır. pH ve elektriksel iletkenlik ölçümleri kirlenmiş bu numuneler üzerinde yapılmıştır.

Kirlenmiş Na-Bentonit ve Kaolin'e ait pH değerleri Çizelge 6.6. ve Çizelge 6.7.'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.6. Kirlenmiş Na-Bentonit'e ait pH değerleri

pH							
Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar							
	Orjinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su	5.26	6.92	7.08	7.50	7.84	5.95	6.01
10cmol NaOH	13.72	12.35	9.75	11.57	13.05	9.31	10.34
10cmol HCl	7.32	6.53	6.37	6.87	6.48	6.17	6.48

Çizelge 6.7. Kirlenmiş kaolin'e ait pH değerleri

pH							
Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar							
	Orjinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su	4.86	7.81	6.11	6.73	4.89	5.21	4.95
10cmol NaOH	11.13	10.59	7.33	10.52	9.16	8.04	8.82
10cmol HCl	6.53	5.14	4.48	6.50	5.45	3.86	4.64

Çizelge 6.6. ve 6.7.'de verilen pH sonuçlarına bakıldığında, başlangıçta asidik özellik taşıyan çözeltilerle kirlenilen Na-Bentonit ve Kaolin killerin pH değerlerinin nötr özellikler taşımaya başladığı görülmektedir. Burada Na-Bentonit ve Kaolin'in asidik özellikteki çözeltilerin pH değerlerini yükselttiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak çözeltilerle kirlenilen Na-Bentonit ve Kaolin killeri pH değerlerinin kirlilik sınırları içerisinde kaldığı belirlenmiştir.

6.2.2. Elektriksel iletkenlik

Laboratuarda oda sıcaklığında (18-21°C) üzeri açık olarak kurumaya bırakılan numuneler tamamen hava kurusu normuna (yani %3-5 su muhtevasına) ulaştıktan sonra 16 nolu (1.31 mm) elekten elenmiştir. Daha sonra bu numunelerden 150-250 gr arasında alınarak saf su ile bir beher içinde doygun hale getirilmiştir. Kilin su ile doygun hale gelmesi durumunda kil yüzeyi ışığı yansıttığı için parıldar kap eğilince ise yavaşça akar. Karıştırma işi bitince doygun hale getirilmiş kil üzeri kapatılarak 1 gün bekletilmiştir. Elektriksel iletkenliği ölçülecek çözeltilerin içerisine elektrot daldırılarak numunenin elektriksel iletkenliği belirlenmiştir.

Deneysel yöntemlerin tümünde kullanılan kimyasalların Su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin Elektriksel İletkenlik değerleri Çizelge 6.8.'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. Deneysel yöntemlerde kullanılan kimyasalların su, 10cmol NaOH ve 10cmol HCl'deki çözeltilerinin elektriksel iletkenlik değerleri

Elektriksel İletkenlik (miliSiemens)								
Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar								
	Atık	Orjinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su		0	45.30	41.90	37,10	1.30	4.70	4.80
10cmol NaOH	0,6	15.60	60.40	46.80	74.30	15.60	10.20	10.50
10cmol HCl		33.10	75.70	72.80	90.60	34.80	37.00	38.50

Çizelge 6.8.'de görüldüğü gibi tuz ve ağır metal çözeltilerine NaOH ve HCl ilave edilmesiyle çözeltilerin elektriksel iletkenliğinde çok büyük miktarda artış meydana gelmiştir.

Kirlenmiş Na-Bentonit ve Kaolin'e ait Elektriksel İletkenlik değerleri Çizelge 6.9. ve Çizelge 6.10.'da gösterilmektedir.

Çizelge 6.9. Kirletilmiş Na-Bentonit'e ait elektriksel iletkenlik değerleri

Elektriksel İletkenlik (miliSiemens)							
Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar							
	Orijinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su	1.25	9.63	5.50	8.95	3.56	3.95	3.69
10cmol NaOH	4.94	16.30	14.30	17.15	3.22	3.94	3.69
10cmol HCl	8.26	17.03	16.87	27.00	4.32	5.65	5.50

Çizelge 6.10. Kirletilmiş kaolin'e ait elektriksel iletkenlik değerleri

Elektriksel İletkenlik (miliSiemens)							
Deneysel Yöntemlerde Kullanılan Kimyasallar							
	Orijinal	0.5N NaCl	0.5N CaCl ₂	0.5N KCl	2000ppm PbCl ₂	2000ppm CuCl ₂	2000ppm ZnCl ₂
Su	0.15	3.95	3.51	3.44	1.47	1.88	0.91
10cmol NaOH	2.34	13.14	12.80	9.43	9.16	8.04	8.82
10cmol HCl	5.64	13.34	12.71	16.37	2.92	4.55	3.48

Çizelge 6.9. ve Çizelge 6.10. görüldüğü gibi genel olarak ağır metaller ve tuzların orijinal çözeltileriyle kirletilmiş killerden Na-Bentonit'in elektriksel iletkenlik değerlerinin Kaoline göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Fakat bu değerler her iki kil içinde başlangıçtaki çözeltilerin elektriksel iletkenlik değerlerinden oldukça düşüktür.

Ağır metaller ve tuzların asidik ve bazik çözeltileriyle kirletilmesi durumunda Na-Bentonit ve Kaolin'in elektriksel iletkenlik değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir.

6.3. Mikro Yapısal Özellikler

6.3.1. Scanning (tarama) elektron mikroskobu (SEM)

Elektron mikroskobu (SEM) analizi için deneysel yöntemlerde kullanılan numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin yapısı LEO 440 model scanning elektron mikroskobu ile incelenmiştir.

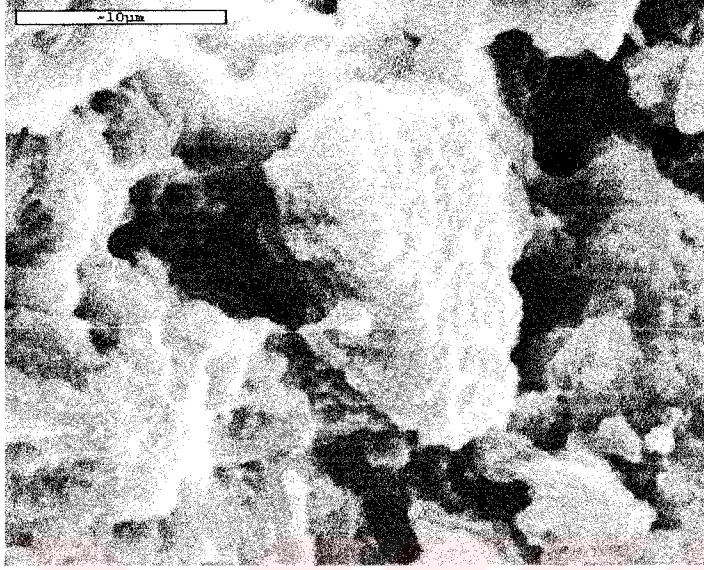
Scanning elektron mikroskobu için numunelerin hazırlanması şu şekildedir;

Numunelerin kurutulması için kritik nokta kurutucu aleti kullanıldı. Herbir numuneden alınan örnekler, kritik nokta kurutucu aletine yerleştirilen özel bir kaba, özel bir kağıt ile sarılarak yerleştirildi. Daha sonra bu özel kap aseton ile dolduruldu. Kritik nokta kurutucu aletine yerleştirilen numunelere belirli bir basınçta CO₂ sıvı olarak verildi. Özel kap içindeki asetonun sıvı CO₂ ile yer değiştirebilmesi için aseton çıkış vanası açıldı. Bu işleme numunelerden aseton tamamen atılana kadar gerektiğinde sıvı CO₂ ilavesi yapılarak devam edildi. Aseton tamamen uzaklaştırıldıktan sonra numuneler sıvı CO₂ içinde 2 saat bekletildi. Daha sonra aletle 36-38°C arasındaki sıcaklıklarda sıcak su verildi. Böylece sıvı CO₂ tekrar gaz haline dönüştü. CO₂ çıkış vanası, CO₂'nin tekrar sıvı haline dönüşmesine engel olacak şekilde yavaş yavaş açılmak suretiyle CO₂ gazı uzaklaştırıldı. Bu işlem tamamlandıktan sonra numuneler kurutulmuş olarak aletten çıkarıldı. Kurutulan numuneler, kapalı bir kapta nem almaması için SEM fotoğrafları çekilene kadar bırakıldı.

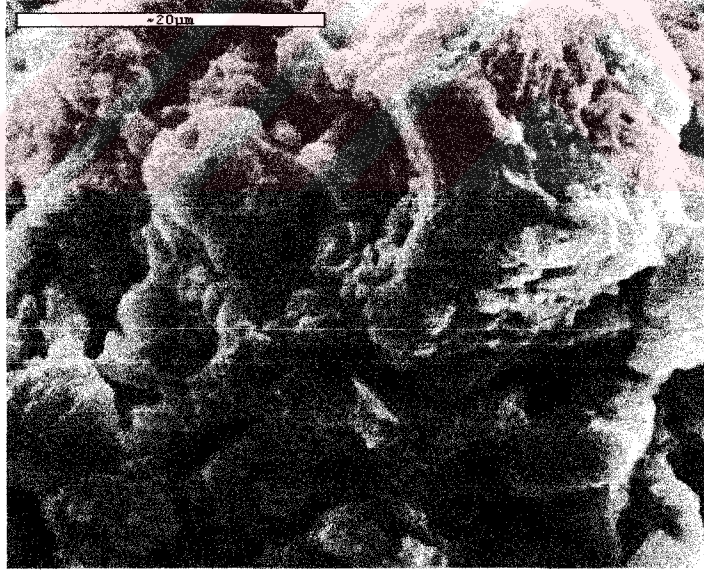
Scanning elektron mikroskobu zeminin yapısını gözlemlemek için ideal bir araçtır. Zeminin mikro yapısı, yapı ve zemin kirletici ilave sisteminin fiziko-kimyasal özelliklerinin bir fonksiyonudur. Mikro yapısal birimler, yalnızca tanelerin birleşmesiyle oluşmaz aynı zamanda fiziko-kimyasal kuvvetlerin bağladığı bileşik parçacıklardan etkilenir.

Çeşitli kimyasallarla kirletilmiş Na-Bentonit kilinin Scanning Elektron Mikroskobu (SEM) fotoğrafları Şekil 6.17., Şekil 6.18., Şekil 6.19., Şekil 6.20., Şekil 6.21., Şekil 6.22.'de gösterilmektedir.

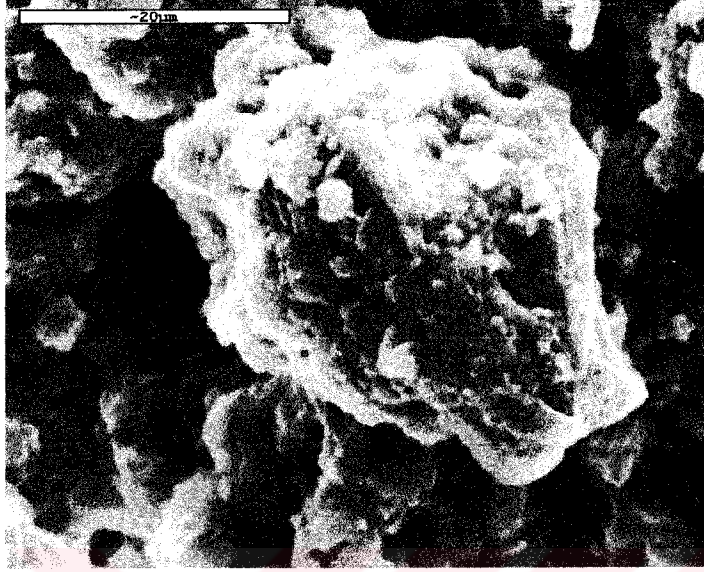
Kirleticiler etkisindeki kil karışımlarının mikro yapısal özelliklerinin değiştiği ve bundan dolayı geoteknik özelliklerinde değişikliklerin meydana geldiği gözlemlenmiştir.



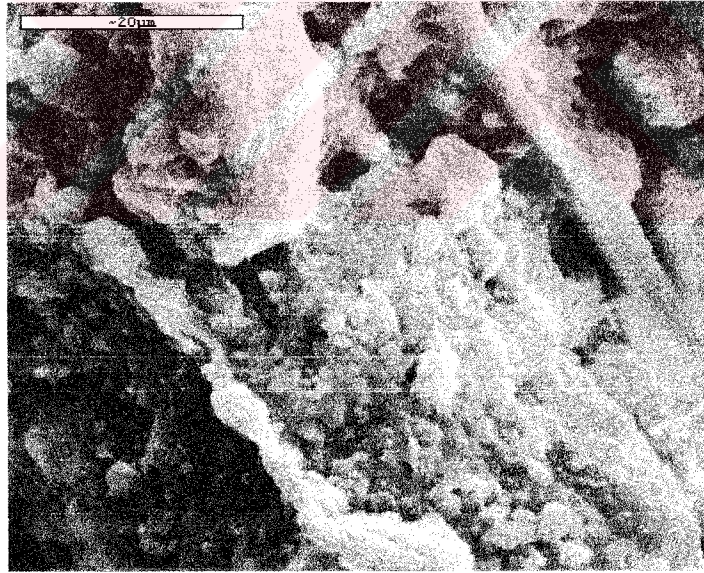
Şekil 6.17. NaCl'le kirlenmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı



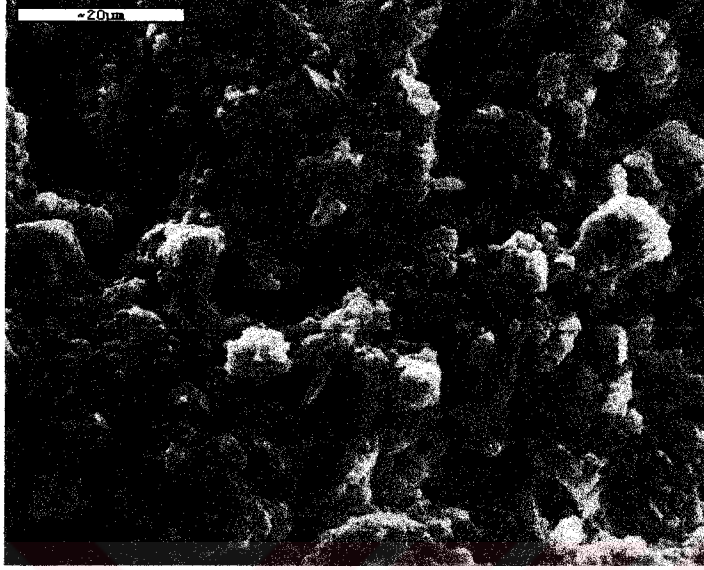
Şekil 6.18. CaCl'le kirlenmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı



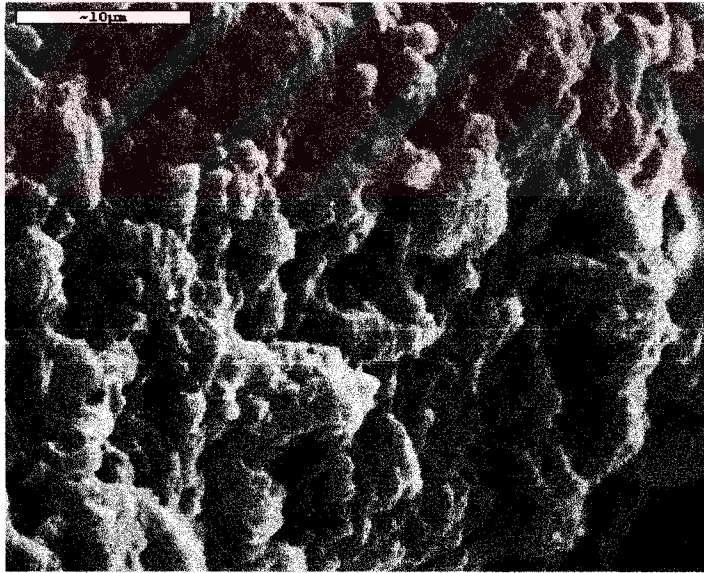
Şekil 6.19. KCl 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı



Şekil 6.20. PbCl₂ 'le kirletilmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı



Şekil 6.21. CuCl_2 'le kirlenmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı



Şekil 6.22. ZnCl_2 'le kirlenmiş Na-Bentonitin scanning elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafı

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada çöp deponi tabakalarını oluşturan Na-Bentonit ve kaolin karışımlarının ağır metal ve tuzlarla kirlenmesi sonucunda, Atterberg kıvam limitleri, serbest şişme, konsolidasyon, permeabilite, kayma mukavemeti, pH ve elektriksel iletkenlik değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Ayrıca mikro yapısal özelliklerdeki değişimler ise, SEM (taramalı elektron mikroskobu) fotoğrafları çekilerek belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular ışığında, çeşitli kil ve kil karışımları üzerinde kirleticilerin bazı geoteknik özelliklere olan etkileri, Çizelge 7.1., Çizelge 7.2., Çizelge 7.3. Çizelge 7.4., Çizelge 7.5. ve Çizelge 7.6.'da özetlenmiştir. Çizelgelerde, kirlenmiş kil karışımlarına ait likit limit, plastik limit, plastisite indisi, 1 ve 28 günlük serbest basınç mukavemeti (q_u) ve eksenel şekil değiştirme yüzdesi (ϵ) değerleri, kirlenmemiş kil karışımlarına ait sonuçlarla karşılaştırması yapılmıştır.

Kıvam Limitlerinden likit limit ve plastik limit değerleri, karışımdaki Na-Bentonit oranının azalması ve kirleticilerin kullanılmasıyla büyük oranlarda düşmektedir. Kimyasal kirleticilerden tuzlar ağır metallerle göre çok büyük oranda kıvam limitlerini düşürmüştür. Asidik çözeltiler ile bazik çözeltiler karşılaştırılırsa; asitlerin bazlara göre plastisite özelliklerini düşürücü etkisi daha fazladır. Asidik ve bazik çözeltiler kıvam limitlerini orijinaline göre büyük oranda düşürmesine rağmen; tuz ve ağır metallerin bazik, tuzların asidik çözeltileri, tuz ve ağır metallerin orijinal çözeltilerine göre daha az oranda kıvam limitlerini düşürmüştür.

Kil ve kil karışımlarının kimyasal etkisiyle serbest basınç mukavemeti değerleri değişmiştir. Na-Bentonit kilinde tüm kimyasalların etkisiyle (her üç grup kimyasal çözeltide de) serbest basınç mukavemeti değerleri düşmüş, eksenel şekil değiştirme yüzdesi genel olarak artmıştır. Kaolinde ise bunun tam tersi bir durum söz konusudur. Yani serbest basınç mukavemeti değerleri genel olarak artmış, eksenel şekil değiştirme yüzdesi azalmıştır. Genel olarak en yüksek dayanım ve en düşük eksenel şekil değiştirme yüzdesi %50 Na-Bentonit + %50 Kaolin karışımıyla hazırlanan numunelerde gözlenmiştir.

Kimyasalların zamanla dayanım özelliklerini ne şekilde etkilediğini gözlemek için, bazı kimyasallarla hazırlanan numuneler 28 gün saklanarak deneyler yapılmıştır. 28 günlük numunelerde, serbest basınç mukavemeti genel olarak artmış fakat eksenel şekil değiştirme yüzdesi azalmıştır.

Konsolidasyon parametrelerinden olan C_c (Sıkışma İndisi) değerleri, kirletilmiş %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin kili karışımlarında ortalama olarak %30 civarında, C_s (kabarma veya şişme indisi) değerleri ise yaklaşık %50 oranında düşmektedir. Diğer kil karışımında ve kaolin de ise konsolidasyon sıkışma indisi (C_c) değerleri artmış, konsolidasyon şişme indisi (C_s) değerleri azalmıştır. Kirletilmiş kil karışımlarında konsolidasyon deneyi sonucunda bulunan permeabilite katsayısı değerleri ise genelde artmıştır.

Serbest şişme deneyleri, Na-Bentonit oranı yüksek kil karışımları için yapılmıştır. Şişme deneyleri sonucunda, kirletilmiş kil karışımlarının şişme yüzdeleri yaklaşık %30 oranında azalmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları incelendiğinde, kirlenme sonucunda yapıda bozulmalar meydana geldiği görülmüştür.

Genel olarak kimyasal kirliliğe maruz kalmış kil ve kil karışımlarının geoteknik özelliklerinde olumsuz değişimler meydana geldiği belirlenmiştir. Kirleticilerin etkisinin bilinmesi, bu zararlı etkinin en aza indirilebilmesi, uygun kil tabakası seçimi ve dizaynı için oldukça önemlidir. Bu deneysel çalışmada deponi alanlarında geçirimsiz kil tabakası olarak Na-Bentonit, Kaolin ve bu killerin değişik oranlardaki karışımlarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu kil ve kil karışımlarının kimyasal etkilerden dolayı, geoteknik ve fiziko-kimyasal özelliklerindeki değişimler incelendiğinde, deponi geçirimsiz tabakası olarak, en uygun kil karışımının %20 Na-Bentonit +%80 Kaolin olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışmanın bir devamı olarak; sıkıştırılmış kil zeminler üzerinde ağır metal ve tuz kirleticileri kullanılarak sızıntı deneyleri yapılabilir ve kirlilik tutma kapasiteleri belirlenebilir. Ayrıca yüksek katyon değişim kapasitesine sahip malzemeler (sepiyolit ve zeolit) ve bunların Na-Bentonit karışımlarının çöp deponi tabakalarında kullanılabilirliğinin ve deponi geçirimsiz tabakası olarak en uygun karışımın belirlenmesi konusunda çalışmalar yapılabilir.

Çizelge 7.1. %100 Na-Bentonit kili için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0.5N NaCl	-	-	-	-	-	+	-
0.5N CaCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
0.5N KCl	-	-	-	-	-	+	-
2000ppm PbCl ₂	-	-	-	-	-	-	-
2000ppm CuCl ₂	-	-	-	-	-	0	-
2000ppm ZnCl ₂	-	-	-	-	-	0	-
10cmol NaOH	-	-	-	-	- / -	-	- / -
NaOH+NaCl	-	-	-	-	-	+	-
NaOH+CaCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
NaOH+KCl	-	-	-	-	+ / -	+	+ / +
NaOH+PbCl ₂	-	-	-	-	+ / -	+	+ / +
NaOH+CuCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
NaOH+ZnCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
10cmol HCl	-	-	-	-	- / -	-	+ / 0
HCl+NaCl	-	-	-	+	-	+	-
HCl+CaCl ₂	-	-	-	-	-	0	-
HCl+KCl	-	-	-	-	+ / -	+	- / +
HCl+PbCl ₂	-	-	-	-	- / -	0	0 / 0
HCl+CuCl ₂	-	-	-	-	-	-	-
HCl+ZnCl ₂	-	-	-	-	-	0	-

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

Çizelge 7.2. %90 Na-Bentonit +%10 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0.5N NaCl	-	-	-	-	-	+	-
0.5N CaCl ₂	-	-	-	+	-	+	-
0.5N KCl	-	-	-	+	-	+	-
2000ppm PbCl ₂	+	-	+	+	-	-	-
2000ppm CuCl ₂	-	-	-	+	-	0	-
2000ppm ZnCl ₂	-	-	-	+	-	+	-
10cmol NaOH	-	-	-	+	- / -	-	- / -
NaOH+NaCl	-	-	-	-	-	+	-
NaOH+CaCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
NaOH+KCl	-	-	-	-	+ / -	+	+ / +
NaOH+PbCl ₂	-	-	-	-	+ / -	+	- / 0
NaOH+CuCl ₂	-	-	-	+	-	0	-
NaOH+ZnCl ₂	-	-	-	-	-	+	-
10cmol HCl	-	-	-	+	- / -	0	+ / +
HCl+NaCl	-	-	-	+	-	+	-
HCl+CaCl ₂	-	-	-	+	-	0	-
HCl+KCl	-	-	-	+	+ / +	0	+ / +
HCl+PbCl ₂	-	-	-	-	- / -	+	- / -
HCl+CuCl ₂	-	-	-	+	-	-	-
HCl+ZnCl ₂	-	-	-	+	-	-	-

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

Çizelge 7.3. %50 Na-Bentonit +%50 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0.5N NaCl	-	-	-	+		+	
0.5N CaCl ₂	-	+	-	+		-	
0.5N KCl	-	+	-	+		+	
2000ppm PbCl ₂	-	+	-	+		-	
2000ppm CuCl ₂	-	+	-	+		-	
2000ppm ZnCl ₂	-	+	-	+		0	
10cmol NaOH	-	+	-	+	+ / +	+	- / 0
NaOH+NaCl	-	+	-	+		+	
NaOH+CaCl ₂	-	+	-	+		0	
NaOH+KCl	-	+	-	+	- / +	+	- / -
NaOH+PbCl ₂	+	+	+	-	+ / +	0	+ / +
NaOH+CuCl ₂	+	+	-	+		-	
NaOH+ZnCl ₂	+	+	+	+		-	
10cmol HCl	-	+	-	-	+ / +	+	- / +
HCl+NaCl	-	+	-	+		+	
HCl+CaCl ₂	-	+	-	+		+	
HCl+KCl	-	+	-	+	+ / +	+	- / +
HCl+PbCl ₂	-	+	-	+	+ / +	0	- / -
HCl+CuCl ₂	-	+	-	+		+	
HCl+ZnCl ₂	-	+	-	+		+	

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

Çizelge 7.4. %20 Na-Bentonit +%80 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0.5N NaCl	-	-	-	-		+	
0.5N CaCl ₂	-	-	-	+		+	
0.5N KCl	-	-	-	+		+	
2000ppm PbCl ₂	-	+	-	+		-	
2000ppm CuCl ₂	-	-	-	+		-	
2000ppm ZnCl ₂	-	-	-	+		-	
10cmol NaOH	-	+	-	+	- / +	-	- / -
NaOH+NaCl	-	+	-	+		0	
NaOH+CaCl ₂	-	-	-	+		+	
NaOH+KCl	-	-	-	+	+ / +	0	+ / +
NaOH+PbCl ₂	+	-	+	+	0 / +	-	- / -
NaOH+CuCl ₂	-	-	-	+		-	
NaOH+ZnCl ₂	+	-	+	+		-	
10cmol HCl	-	-	-	+	+ / +	+	+ / +
HCl+NaCl	-	-	-	+		+	
HCl+CaCl ₂	-	-	-	+		+	
HCl+KCl	-	+	-	+	- / +	+	0 / +
HCl+PbCl ₂	-	+	-	+	- / +	-	+ / -
HCl+CuCl ₂	-	+	-	+		+	
HCl+ZnCl ₂	-	-	-	+		+	

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

Çizelge 7.5. %5 Na-Bentonit +%95 Kaolin karışımları için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0,5N NaCl	-	-	-	+		-	
0,5N CaCl ₂	-	-	+	+		-	
0,5N KCl	-	+	-	+		-	
2000ppm PbCl ₂	+	-	+	-		-	
2000ppm CuCl ₂	+	-	+	-		-	
2000ppm ZnCl ₂	+	+	+	+		-	
10cmol NaOH	-	-	-	+	+ / +	-	- / -
NaOH+NaCl	+	+	-	+		-	
NaOH+CaCl ₂	-	-	-	+		-	
NaOH+KCl	-	+	-	+	+ / +	-	- / -
NaOH+PbCl ₂	+	-	+	+	+ / +	-	- / -
NaOH+CuCl ₂	+	+	+	+		-	
NaOH+ZnCl ₂	+	+	+	+		-	
10cmol HCl	-	-	-	+	+ / +	+	+ / +
HCl+NaCl	-	+	-	+		-	
HCl+CaCl ₂	-	-	-	+		-	
HCl+KCl	-	+	-	+	- / +	-	- / -
HCl+PbCl ₂	-	+	-	+	+ / +	-	0 / -
HCl+CuCl ₂	-	+	-	+		-	
HCl+ZnCl ₂	-	+	-	+		-	

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

Çizelge 7.6. %100 Kaolin kili için özelliklerin değişimi

Kullanılan Kimyasal	LL	PL	PI	1 Günlük	28 Günlük	1 Günlük	28 Günlük
				σ (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	ε (%)	ε (%)
0,5N NaCl	-	-	-	+		-	
0,5N CaCl ₂	-	-	+	+		-	
0,5N KCl	-	-	-	+		-	
2000ppm PbCl ₂	+	-	+	-		-	
2000ppm CuCl ₂	+	-	+	+		-	
2000ppm ZnCl ₂	+	-	+	+		-	
10cmol NaOH	-	-	-	+	+ / +	-	- / -
NaOH+NaCl	-	-	-	+		-	
NaOH+CaCl ₂	-	-	-	+		-	
NaOH+KCl	-	+	-	+	+ / +	-	- / -
NaOH+PbCl ₂	-	-	+	+	+ / +	-	+ / -
NaOH+CuCl ₂	+	-	+	-		-	
NaOH+ZnCl ₂	+	-	+	+		-	
10cmol HCl	-	-	-	+	+ / +	-	+ / -
HCl+NaCl	-	-	-	+		-	
HCl+CaCl ₂	-	-	-	+		-	
HCl+KCl	-	-	-	+	+ / +	-	- / -
HCl+PbCl ₂	-	-	-	+	+ / +	-	+ / -
HCl+CuCl ₂	-	-	-	+		-	
HCl+ZnCl ₂	-	-	-	-		-	

- : Azalmayı + : Artışı 0 : Değişmediğini Göstermektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdüsselamoğlu, M. Ş., 1982, Tortul kayaç petrografisi, İ.T.Ü., İstanbul, 19 s.
- Ahmad N.S., Karunaratne G.P., Chew S.H., Lee S.L., Bentonit-Kaolinite mix for barrier systems, Environmental Geotechnics, 93-103p.
- Aktaş, A., 1993, Das bericht von institut für umweltgeologie schmitz, Köln.
- ASTM, 1985, Annual book of ASTM standards, Natural building stones, soil and rock, Vol: 04.08, ASTM, Philadelphia, Pa.
- Aydemir, İ., 1999, Katı atıkların depolanmasında doğal zeolitlerin kullanılması, Fizik Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Baran, S., 1995, Katı atık (çöp) depo yerlerinin seçimi ve inşaaındaki bazı ana hususlar, Jeoloji mühendisliği dergisi, 52-54 s.
- Barkowski, D., 1990, Altlasten, handbuch zur ermittlung und abwehr von gefahren durch kontaminierte standorte-verlag C.F. Müller GmbH, Karlsruhe.
- Braja, D., 1990, Principle of geotechnical engineering, Second Edication, pp. 10-16.
- Ergene, A., 1987, Toprak biliminin esasları, Atatürk Üniversitesi Yayınları, 156-177 s.
- Grim, Ralph E., 1962, Applied clay mineralogy, Research Professor of Geology University of Illinois Urbana.
- Gordon, M.E., Huebner, P.M., Miazga, T.J., 1989, Hydraulic conductivity of three landfill clay liners, J.of.Geotech.Eng., Vol.115, No:8, 1148-1159p.
- Hassini, S., 1992, Some Aspects of landfill design, Environmental Science and Engineering, Environmental Geotechnology, 137-143 p.
- Işık, İ., 1996, Kil ve kil minerali tanımı, Aipea ve Cms Terminoloji Komitelerinin Ortak Raporları (Çeviri), Seramik Dünyası Dergisi, S. Temmuz-Ağustos, 15 s.
- Işık, İ., 1997, Genel jeoloji, D.P.Ü. Lisans Ders Notları, Kütahya, 60 s. (yayımlanmamış).
- Jessberger, H.L., Syllwasschy, O., 1997, Controlled landfill design, Report of the ISSMFE technical committee TC5 on Environmetal Geotechnics, Ruhr-Universität, Boschum, 77-85 p.
- Jo, H.Y., Katsumi, T., Benson, C.H., Edil, T., 2001, Hyraulic conductivity and swelling of nonprehydrated GCLs permeated with single-species salt solutions, J.G. Geotechnical and Geotechnical Engineering, Vol.127, No.7, 557-567 p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (Devam)

- Karagüzel, R., 1992, Atıkların depolanmasında ve kontrolünde jeolojinin önemi, Tehlikeli ve toksik atıkların yönetimi, Teknik, yasal ve yöresel uygulamalar kollokyumu ve Eskişehir'de durum ve çözüm alternatiflerinin uygulanabilirlik yönünden tartışılması paneli, 255-236, 26-27 s.
- Koyuncu, H., 1998, Stabilizasyon, solidifikasyon yöntemiyle iyileştirilmiş petrollü sondaj atıkların fiziko-kimyasal, mikro-yapısal ve geoteknik özellikleri, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi.
- Muhsin, Y., 1997, Çevresel kirlilik şartlarının bentonit kilinin şişme/büzülme özelliklerine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Murray, H.H., 1996, Common clay: industrial minerals and rocks, 6. Edition (Senior Editor Carr, D.D.), USA, pp. 247-248.
- Özbayoğlu, F., 1993, Belirli oranlarda bentonit katkılı sıkıştırılmış kum örneklerinin şişme davranışları üzerinde bir çalışma, 6. Ulusal Kil Sempozyumu, 295-308 s.
- Özdemir, H.İ., 1981, Genel anorganik ve teknik kimya, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Stavridakis, E.I., Hatzigogos, T.N., 1999, Influence of limit and slaking on cement stabilized clay admixtures, Geotechnical and Geological Engineering 17: 145-154p
- Şengül, T., Koyuncu, H., Güney, Y., 2002, Tuz, ağır metal ve pH etkisindeki kil karışımlarının indeks özellikleri, IV. Mühendislik Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir.
- T.C. Çevre Bakanlığı Yönergesi, 1993.
- Toussaint, B., 1989, Grundwasserschutz bei deponienanlagen aus hydrogeologischer und geotechnischer sicht. Wissenschaft und umwelt, Deutschland.
- Uzuner, B. A., 1998, Temel zemin mekaniği, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknik yayınevi mühendislik mimarlık yayınları, Ankara.
- Ün, R., 1968, Metal kimyası, Şirketiye Mürettibiye Basımevi, İstanbul.
- Worrall, W.E., Clay and ceramic raw materials, Second Edition, Elsevier Applied Science Publishers, London and New York

EKLER

1. Likit Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
2. Plastik Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
3. Plastisite İndisi Değerleri
4. Likit Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
5. Plastik Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
6. Plastisite İndisi Değerleri İçin Varyans Analizi Sonuçları
7. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler
8. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları
9. Serbest Basınç Deneyi Sonucunda Çeşitli Kil ve Kil Karışımları İçin Gerilme Eksenel -Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - a) Na-Bentonit İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - b) %90 Na-Bentonit+%10 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - c) %50 Na-Bentonit + %50 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - d) %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - e) %5 Na-Bentonit + %95 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
 - f) %100 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi
10. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda 28 Günlük Numuneler İçin Elde Edilen Değerler

Ek 1. Likit Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler

Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Likit Limit					Su+								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	521,12	150,28	128,60	139,89	511,20	346,08	355,52	487,99	143,15	114,56	133,01	502,26	341,62	298,64
%90Bentonit+%10Kaolen	241,96	95,87	82,89	93,21	230,30	176,12	186,62	121,03	64,95	62,39	69,33	113,44	103,72	112,07
%50Bentonit+%50Kaolen	55,40	49,48	54,04	48,10	65,20	62,45	57,45	%20Bentonit+%80Kaolen	47,31	51,48	45,55	60,38	57,44	54,13
Bolu Kaolin														
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Likit Limit					10cmol NaOH+								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	474,79	309,72	203,07	228,39	476,86	465,34	421,96	297,60	194,96	225,23	471,43	424,17	450,67	
%90Bentonit+%10Kaolen	233,57	186,63	99,59	137,60	273,80	244,32	249,53	113,62	88,10	75,91	123,70	118,08	127,61	
%50Bentonit+%50Kaolen	51,32	55,61	51,50	51,27	55,83	58,88	48,38	49,21	49,05	47,84	49,81	55,87	56,24	
Bolu Kaolin														
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Likit Limit					10cmol HCl+								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl	+2000ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	274,80	184,23	136,31	182,74	345,20	331,72	244,09	179,34	130,62	156,66	343,28	293,07	322,34	
%90Bentonit+%10Kaolen	150,65	116,80	89,62	109,57	199,51	183,64	86,39	72,00	61,43	68,45	95,27	93,00	97,40	
%50Bentonit+%50Kaolen	50,30	48,32	47,82	52,81	54,41	52,68	46,25	44,07	44,86	47,14	48,23	47,71	46,83	
Bolu Kaolin														

Ek 3. Plastisite İndisi Değerleri

Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Plastisite İndisi					Su+.....								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	453,31	105,06	85,40	96,28	453,09	298,90	291,60							
%90Bentonit+%10Kaolen	423,53	99,40	72,72	91,36	449,96	298,52	236,98							
%50Bentonit+%50Kaolen	208,92	63,62	47,86	59,35	188,55	138,50	141,95							
%20Bentonit+%80Kaolen	89,55	36,07	34,53	39,27	81,68	73,18	81,09							
%5Bentonit+%95Kaolen	29,11	24,72	29,95	20,86	39,21	37,97	30,99							
Bolu Kaolin	27,46	24,96	29,52	20,84	37,57	35,26	29,18							
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Plastisite İndisi					10cmol NaOH+,.....								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	421,36	262,94	157,21	182,45	424,01	399,05	410,31							
%90Bentonit+%10Kaolen	371,93	252,55	149,97	180,87	420,68	367,90	405,54							
%50Bentonit+%50Kaolen	192,65	147,20	63,87	97,72	236,16	207,73	212,46							
%20Bentonit+%80Kaolen	80,48	56,11	45,31	54,17	94,80	86,79	97,60							
%5Bentonit+%95Kaolen	25,84	27,53	27,46	22,60	32,68	31,40	31,60							
Bolu Kaolin	24,97	24,03	25,44	22,21	28,10	30,94	31,16							
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	Plastisite İndisi					10cmol HCl+,.....								
	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂	Orjinal	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl ₂	+200ppm CuCl ₂	+2000ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	219,83	135,82	89,84	138,59	297,71	277,85	284,41							
%90Bentonit+%10Kaolen	190,47	133,77	86,34	114,37	297,29	243,47	276,20							
%50Bentonit+%50Kaolen	107,55	78,85	55,75	74,13	156,64	136,22	142,75							
%20Bentonit+%80Kaolen	55,06	41,86	32,18	36,01	62,82	60,05	66,39							
%5Bentonit+%95Kaolen	27,65	21,56	22,96	25,50	26,91	25,24	25,47							
Bolu Kaolin	25,07	20,59	22,18	23,03	24,02	23,18	22,87							

Ek 4. Likit Limit DeneYleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi

Sonuçları

Deneysel çalışmaların sonucunda elde edilen likit limit, plastik limit, plastisite indisi ve kayma mukavemeti değerleri için 2 faktörlü, 3 tekerrürlü varyans analizi yapılmıştır. Su, Asidik (HCl) ve Bazik (NaOH) özeltilerle yapılan deneyler tekerrür olarak alınmıştır.

1. Faktör : Kil ve kil karışımları (6 düzeYlidir)

1. düzey : Na-Bentonit
2. düzey : %90 Na-Bentonit + %10 Kaolin
3. düzey : %90 Na-Bentonit + %10 Kaolin
4. düzey : %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin
5. düzey : %5 Na-Bentonit + %95 Kaolin
6. düzey : Kaolin

2. Faktör : Kimyasal Maddeler (7 düzeYlidir)

1. düzey : Orjinal
2. düzey : 0,5N NaCl
3. düzey : 0,5N CaCl₂
4. düzey : KCl
5. düzey : 2000ppm PbCl₂
6. düzey : 2000ppm CuCl₂
7. düzey : 2000ppm ZnCl₂

Tekerrürler

- : 1. tekerrür : Kimyasalların saf su çözeltileri
- : 2. tekerrür : Kimyasalların bazik (10cmol NaOH) özeltileri
- : 3. tekerrür : Kimyasalların asidik (10cmol HCl) özeltileri

Karekök Transformasyonu Yapılmış Likit Limit Değerleri

Kombinasyon	1. Tek	2. Tek	3. Tek
1 * 1	22.83	21.79	16.58
1 * 2	12.26	17.60	13.57
1 * 3	11.34	14.25	11.68
1 * 4	11.83	15.11	13.52
1 * 5	22.70	21.84	18.58
1 * 6	18.60	21.36	18.10
1 * 7	18.86	21.57	18.21
2 * 1	22.09	20.54	15.62
2 * 2	11.96	17.25	13.39
2 * 3	10.70	13.96	11.43
2 * 4	11.53	15.01	12.52
2 * 5	22.41	21.71	18.53
2 * 6	18.48	20.60	17.12
2 * 7	17.28	21.23	17.95
3 * 1	15.56	15.28	12.27
3 * 2	9.79	13.66	10.81
3 * 3	9.10	9.98	9.47
3 * 4	9.65	11.73	10.47
3 * 5	15.18	16.55	14.12
3 * 6	13.27	15.63	13.37
3 * 7	13.66	15.80	13.55
4 * 1	11.00	10.66	9.29
4 * 2	8.06	9.39	8.49
4 * 3	7.90	8.71	7.84
4 * 4	8.33	9.25	8.27
4 * 5	10.65	11.12	9.76
4 * 6	10.18	10.87	9.64
4 * 7	10.59	11.30	9.87
5 * 1	7.44	7.16	7.09
5 * 2	7.03	7.46	6.95
5 * 3	7.35	7.18	6.92
5 * 4	6.94	7.16	7.27
5 * 5	8.07	7.47	7.38
5 * 6	7.90	7.65	7.32
5 * 7	7.58	7.67	7.26
6 * 1	7.26	6.96	6.80
6 * 2	6.88	7.01	6.64
6 * 3	7.17	7.00	6.70
6 * 4	6.75	6.92	6.87
6 * 5	7.77	7.06	6.94
6 * 6	7.58	7.47	6.91
6 * 7	7.36	7.50	6.84

İkili İnteraksiyon Tablosu (Ortalama)

2. Faktör seviyeleri

1.Faktör	1.Seviye	2.Seviye	3.Seviye	4.Seviye	5.Seviye	6.Seviye	7.Seviye	Ortalama
1	20.40	14.48	12.42	13.49	21.04	19.36	19.55	17.25
2	19.42	14.20	12.03	13.02	20.88	18.73	18.82	16.73
3	14.37	11.42	9.52	10.62	15.28	14.09	14.34	12.81
4	10.32	8.64	8.15	8.62	10.51	10.23	10.58	9.58
5	7.23	7.15	7.15	7.12	7.64	7.62	7.50	7.35
6	7.00	6.84	6.96	6.84	7.26	7.32	7.23	7.07
Ortalama	13.12	10.46	9.37	9.95	13.77	12.89	13.00	11.80

Varyans Analizi

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F degeri	à ola(%)
Tekerrür	2	65.854	32.927	23.767**	0.000
1. Faktör	5	2145.372	429.074	309.710**	0.000
2. Faktör	6	349.198	58.200	42.009**	0.000
İnteraksiyon	30	225.640	7.521	5.429**	0.000
Hata	82	113.603	1.385		
Genel	125	2899.666			

<*>:P%5 ; <*>:P%1 düzeyinde istatistiki önemli ; <ns>:istatistiki önemsiz

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406
HATA SERBESTLİK DERECESESİ : 82
PAYDA ÇARPANI : 3
LSD Testi
LSD değeri = 2.53439 Olasılık = .01
(TABLO İÇİNDE 1.A Seviyelerinde B'lerin karşılaştırılmaları)
S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	5	21.038
2	1	20.398
3	7	19.547
4	6	19.355
5	2	14.477
6	4	13.486
7	3	12.422

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406
HATA SERBESTLİK DERECESESİ : 82
PAYDA ÇARPANI : 3
LSD Testi
LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01
(TABLO İCİNDE 2.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)
S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	5	20.884
2	1	19.419
3	7	18.821
4	6	18.733
5	2	14.202
6	4	13.019
7	3	12.032

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406
HATA SERBESTLİK DERECESESİ : 82
PAYDA ÇARPANI : 3
LSD Testi
LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01
(TABLO İCİNDE 3.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)
S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	5	15.282
2	1	14.371
3	7	14.336
4	6	14.092
5	2	11.420
6	4	10.617
7	3	9.517 ³

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	7	10.584
2	5	10.511
3	1	10.318
4	6	10.231
5	2	8.644
6	4	8.617
7	3	8.150

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	5	7.641
2	6	7.624
3	7	7.504
4	1	7.233
5	3	7.148
6	2	7.148
7	4	7.121

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	6	7.320
2	5	7.258
3	7	7.233
4	1	7.004
5	3	6.959
6	2	6.844
7	4	6.844

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 1.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	20.398	
2	2	19.419	
3	3	14.371	
4	4	10.318	
5	5	7.233	
6	6	7.004	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 2.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	14.477	
2	2	14.202	
3	3	11.420	
4	4	8.644	
5	5	7.148	
6	6	6.844	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 3.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	12.422	
2	2	12.032	
3	3	9.517	
4	4	8.150	
5	5	7.148	
6	6	6.959	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.B SEV.'de A'ların karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	13.486	
2	2	13.019	
3	3	10.617	
4	4	8.617	
5	5	7.121	
6	6	6.844	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.B SEV.'de A'ların karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	21.038	
2	2	20.884	
3	3	15.282	
4	4	10.511	
5	5	7.641	
6	6	7.258	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.B SEV.'de A'ların karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	1	19.355	
2	2	18.733	
3	3	14.092	
4	4	10.231	
5	5	7.624	
6	6	7.320	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.385406

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.53439 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 7.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	19.547	
2	2	18.821	
3	3	14.336	
4	4	10.584	
5	5	7.504	
6	6	7.233	



Ek 5. Plastik Limit Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları

Karekök Transformasyonu Yapılmış Plastik Limit Değerleri

Kombinasyon	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür
1 * 1	8.23	7.31	7.41
1 * 2	6.72	6.84	6.94
1 * 3	6.57	6.77	6.82
1 * 4	6.60	6.78	6.64
1 * 5	7.62	7.27	6.89
1 * 6	6.87	7.56	7.06
1 * 7	7.99	7.42	6.88
2 * 1	8.03	7.07	7.32
2 * 2	6.61	6.71	6.75
2 * 3	6.47	6.71	6.65
2 * 4	6.45	6.66	6.50
2 * 5	7.23	7.12	6.78
2 * 6	6.57	7.50	7.04
2 * 7	7.85	6.72	6.79
3 * 1	5.75	6.40	6.57
3 * 2	5.68	6.28	6.16
3 * 3	5.92	5.98	5.82
3 * 4	5.82	6.32	5.95
3 * 5	6.46	6.14	6.55
3 * 6	6.13	6.05	6.53
3 * 7	6.68	6.09	6.39
4 * 1	5.61	5.76	5.60
4 * 2	5.37	5.66	5.49
4 * 3	5.28	5.53	5.41
4 * 4	5.48	5.61	5.70
4 * 5	5.64	5.38	5.70
4 * 6	5.53	5.59	5.74
4 * 7	5.57	5.48	5.57
5 * 1	5.13	5.05	4.76
5 * 2	4.98	5.30	5.17
5 * 3	4.91	4.90	4.99
5 * 4	5.22	5.35	5.23
5 * 5	5.10	4.81	5.24
5 * 6	4.95	5.21	5.32
5 * 7	5.14	5.22	5.22
6 * 1	5.02	4.84	4.60
6 * 2	4.73	5.02	4.85
6 * 3	4.69	4.86	4.76
6 * 4	4.97	5.06	4.91
6 * 5	4.78	4.66	4.92
6 * 6	4.71	4.99	4.95
6 * 7	4.99	5.01	4.89

CİZELGE 2: İKİLİ İTERAKSİYON TABLOSU (Ort.)

2. Faktor seviyeleri

1.Faktör	1.SEV.	2.SEV.	3.SEV.	4.SEV.	5.SEV.	6.SEV.	7.SEV.	Ortalama
1	7.65	6.84	6.72	6.68	7.26	7.16	7.43	7.11
2	7.47	6.69	6.61	6.54	7.05	7.04	7.12	6.93
3	6.24	6.04	5.91	6.03	6.38	6.24	6.39	6.17
4	5.65	5.51	5.41	5.59	5.57	5.62	5.54	5.56
5	4.98	5.15	4.93	5.27	5.05	5.16	5.19	5.10
6	4.82	4.86	4.77	4.98	4.79	4.89	4.97	4.87
Ortalama	6.14	5.85	5.72	5.85	6.02	6.02	6.11	5.96

VARIYANS ANALİZİ

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F degeri	à ola(%)
TEKERRUR	2	0.025	0.013	0.187ns	0.829
1.FAKTOR	5	92.215	18.443	274.855**	0.000
2.FAKTOR	6	2.514	0.419	6.243**	0.000
İTERAK.	30	3.150	0.105	1.565ns	0.058
HATA	82	5.502	0.067		
GENEL	125	103.406			

<*>:P%5 ; <*>:P%1 düzeyinde istatistiki Önemli ; <ns>:ist. Önemsiz

HATA KARELER ORTALAMASI : 6.710067E-02

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 21

LSD Testi

LSD değeri= .210814 Olasılık = .01

(TABLO DISINDA A seviyeleri karşılaştırmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	1	7.106	
2	2	6.931	
3	3	6.174	
4	4	5.556	
5	5	5.105	
6	6	4.867	

HATA KARELER ORTALAMASI : 6.710067E-02

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 21

LSD Testi

LSD değeri= .1590279 Olasılık = .05

(TABLO DISINDA A seviyeleri karşılaştırmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	1	7.106	
2	2	6.931	
3	3	6.174	
4	4	5.556	
5	5	5.105	
6	6	4.867	

HATA KARELER ORTALAMASI : 6.710067E-02

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 18

LSD Testi

LSD değeri= .2277051 Olasılık = .01

(TABLO DISINDA B seviyeleri karşılaştırmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1 1 6.136 |
2 7 6.106 |
3 6 6.017 | |
4 5 6.016 | |
5 2 5.848 | |
6 4 5.848 | |
7 3 5.724 |

HATA KARELER ORTALAMASI : 6.710067E-02

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 18

LSD Testi

LSD değeri= .1717697 Olasılık = .05

(TABLO DISINDA B seviyeleri karşılaştırmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1 1 6.136 |
2 7 6.106 |
3 6 6.017 | |
4 5 6.016 | |
5 2 5.848 | |
6 4 5.848 | |
7 3 5.724 |

Ek 6. Plastisite İndisi Değerleri İçin Varyans Analizi Sonuçları

Karekök Transformasyonu Yapılmış Plastisite İndisi Değerleri

Kombinasyon	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür
1 * 1	21.29	20.53	17.08
1 * 2	10.25	16.22	11.65
1 * 3	9.24	12.54	9.48
1 * 4	9.81	13.51	11.77
1 * 5	21.29	20.59	17.25
1 * 6	17.29	19.98	16.67
1 * 7	17.08	20.26	16.86
2 * 1	20.58	19.29	12.27
2 * 2	9.97	15.89	11.57
2 * 3	8.53	12.25	9.29
2 * 4	9.56	13.45	10.69
2 * 5	21.21	20.51	17.24
2 * 6	17.28	19.18	15.60
2 * 7	15.39	20.14	16.62
3 * 1	14.45	13.88	10.37
3 * 2	7.98	12.13	8.88
3 * 3	6.92	7.99	7.47
3 * 4	7.70	9.89	8.61
3 * 5	13.73	15.37	12.52
3 * 6	11.77	14.41	11.67
3 * 7	11.91	14.58	11.95
4 * 1	9.46	8.97	7.42
4 * 2	6.01	7.49	6.47
4 * 3	5.88	6.73	5.67
4 * 4	6.27	7.36	6.00
4 * 5	9.04	9.74	7.93
4 * 6	8.55	9.32	7.75
4 * 7	9.00	9.88	8.15
5 * 1	5.40	5.08	5.26
5 * 2	4.97	5.25	4.64
5 * 3	5.47	5.24	4.79
5 * 4	4.57	4.75	5.05
5 * 5	6.26	5.72	5.19
5 * 6	6.16	5.60	5.02
5 * 7	5.57	5.62	5.05
6 * 1	5.24	5.00	5.01
6 * 2	5.00	4.90	4.54
6 * 3	5.43	5.04	4.71
6 * 4	4.57	4.71	4.80
6 * 5	6.13	5.30	4.90
6 * 6	5.94	5.56	4.81
6 * 7	5.40	5.58	4.78

İKİLİ İNTERAKSİYON TABLOSU (ORT.)

2. Faktör seviyeleri

1.Faktör	1.SEV.	2.SEV.	3.SEV.	4.SEV.	5.SEV.	6.SEV.	7.SEV.	Ortalama
1	19.63	12.71	10.42	11.70	19.71	17.98	18.07	15.74
2	17.38	12.48	10.02	11.23	19.65	17.35	17.38	15.07
3	12.90	9.66	7.46	8.73	13.87	12.62	12.81	11.15
4	8.62	6.66	6.09	6.54	8.90	8.54	9.01	7.77
5	5.25	4.95	5.17	4.79	5.72	5.60	5.41	5.27
6	5.08	4.81	5.06	4.69	5.44	5.44	5.26	5.11
Ortalama	11.48	8.54	7.37	7.95	12.22	11.25	11.32	10.02

Varyans Analizi Tablosu

Varyans Kaynağı	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F değeri	à ola(%)
TEKERRUR	2	81.847	40.923	24.742**	0.000
1.FAKTOR	5	2337.327	467.465	282.624**	0.000
2.FAKTOR	6	425.858	70.976	42.911**	0.000
INTERAK.	30	255.081	8.503	5.141**	0.000
HATA	82	135.630	1.654		
GENEL	125	3235.743			

<*>:P%5 ; <*>:P%1 düzeyinde istatistiki önemli ; <ns>:ist. Önemsiz

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 1.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	5	19.711	
2	1	19.634	
3	7	18.066	
4	6	17.978	
5	2	12.706	
6	4	11.697	
7	3	10.419	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 2.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	5	19.655	
2	7	17.384	
3	1	17.377	
4	6	17.354	
5	2	12.476	
6	4	11.234	
7	3	10.022	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 3.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	5	13.871	
2	1	12.902	
3	7	12.813	
4	6	12.618	
5	2	9.663	
6	4	8.733	
7	3	7.459	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	7	9.011
2	5	8.900
3	1	8.618
4	6	8.540
5	2	6.655
6	4	6.542
7	3	6.093

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	5	5.722
2	6	5.596
3	7	5.412
4	1	5.246
5	3	5.168
6	2	4.954
7	4	4.790

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	5	5.444
2	6	5.438
3	7	5.255
4	1	5.081
5	3	5.062
6	2	4.812
7	4	4.692

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 1.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	19.634	
2	2	17.377	
3	3	12.902	
4	4	8.618	
5	5	5.246	
6	6	5.081	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 2.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	12.706	
2	2	12.476	
3	3	9.663	
4	4	6.655	
5	5	4.954	
6	6	4.812	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 3.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	10.419	
2	2	10.022	
3	3	7.459	
4	4	6.093	
5	5	5.168	
6	6	5.062	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022
HATA SERBESTLIK DERECESE : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	1	11.697	
2	2	11.234	
3	3	8.733	
4	4	6.542	
5	5	4.790	
6	6	4.692	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022
HATA SERBESTLIK DERECESE : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	1	19.711	
2	2	19.655	
3	3	13.871	
4	4	8.900	
5	5	5.722	
6	6	5.444	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022
HATA SERBESTLIK DERECESE : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	1	17.978	
2	2	17.354	
3	3	12.618	
4	4	8.540	
5	5	5.596	
6	6	5.438	

HATA KARELER ORTALAMASI : 1.654022

HATA SERBESTLIK DERECESI : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 2.769208 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 7.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	18.066	
2	2	17.384	
3	3	12.813	
4	4	9.011	
5	5	5.412	
6	6	5.255	



Ek 7. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler

Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	q_u (kg/cm ²)	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂	Sut+.....	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	2,70	1,86	2,35	2,38	2,33	2,48	2,37							
%90Bentonit+%10Kaolen	3,04	2,83	3,15	3,14	3,22	3,10	3,13							
%50Bentonit+%50Kaolen	3,14	5,47	5,50	5,61	4,05	4,93	4,40							
%20Bentonit+%80Kaolen	2,08	2,04	3,03	3,77	2,32	2,58	2,26							
%5Bentonit+%95Kaolen	2,49	3,43	3,62	5,37	2,14	2,33	2,67							
Bolu Kaolin	2,87	3,77	3,80	5,16	2,34	4,18	4,71							
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	q_u (kg/cm ²)	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂	10cmol NaOH+.....	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	2,64	1,60	1,42	1,47	1,95	2,01	2,03							
%90Bentonit+%10Kaolen	3,15	1,93	1,91	1,93	2,45	3,37	2,63							
%50Bentonit+%50Kaolen	3,54	4,03	5,10	4,94	3,04	3,47	4,11							
%20Bentonit+%80Kaolen	3,13	2,83	3,17	3,03	2,78	3,48	3,35							
%5Bentonit+%95Kaolen	3,20	3,54	3,48	4,46	3,17	3,69	3,89							
Bolu Kaolin	4,25	4,68	4,65	5,62	3,47	2,83	3,54							
Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal													
	q_u (kg/cm ²)	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂	10cmol HCl+.....	+0,5N NaCl	+0,5N CaCl ₂	+0,5N KCl	+200ppm PbCl	+200ppm CuCl ₂	+200ppm ZnCl ₂
Na Bentonit	2,08	2,77	2,15	1,52	2,20	2,07	2,01							
%90Bentonit+%10Kaolen	3,05	3,33	3,54	3,19	2,71	3,34	3,54							
%50Bentonit+%50Kaolen	3,04	4,72	4,10	4,33	3,69	4,58	4,53							
%20Bentonit+%80Kaolen	2,09	3,17	3,30	3,60	3,04	3,17	3,30							
%5Bentonit+%95Kaolen	2,94	3,44	4,29	5,29	3,12	3,41	3,67							
Bolu Kaolin	3,68	4,14	4,86	4,47	3,13	3,03	2,79							

Ek 8. Serbest Basınç Deneyleri Sonucunda Elde Edilen Değerler İçin Varyans Analizi Sonuçları

Kayma Mukavemeti Verileri

Kombinasyon	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür
1 * 1	2.70	2.64	2.08
1 * 2	1.86	1.60	2.77
1 * 3	2.35	1.42	2.15
1 * 4	2.38	1.47	1.52
1 * 5	2.33	1.95	2.20
1 * 6	2.48	2.01	2.07
1 * 7	2.37	2.03	2.01
2 * 1	3.04	3.15	3.05
2 * 2	2.83	1.93	3.33
2 * 3	3.15	1.91	3.54
2 * 4	3.14	1.93	3.19
2 * 5	3.22	2.45	2.71
2 * 6	3.10	3.37	3.34
2 * 7	3.13	2.63	3.54
3 * 1	3.14	3.54	3.04
3 * 2	5.47	4.03	4.72
3 * 3	5.50	5.10	4.10
3 * 4	5.61	4.94	4.33
3 * 5	4.05	3.04	3.69
3 * 6	4.93	3.47	4.58
3 * 7	4.40	4.11	4.53
4 * 1	2.08	3.13	2.09
4 * 2	2.04	2.83	3.17
4 * 3	3.03	3.17	3.30
4 * 4	3.77	3.03	3.60
4 * 5	2.32	2.78	3.04
4 * 6	2.58	3.48	3.17
4 * 7	2.26	3.35	3.30
5 * 1	2.49	3.20	2.94
5 * 2	3.43	3.54	3.44
5 * 3	3.62	3.48	4.29
5 * 4	5.37	4.46	5.29
5 * 5	2.14	3.17	3.12
5 * 6	2.33	3.69	3.41
5 * 7	2.67	3.89	3.67
6 * 1	2.87	4.25	3.68
6 * 2	3.77	4.68	4.14
6 * 3	3.80	4.65	4.86
6 * 4	5.16	5.62	4.47
6 * 5	2.34	3.47	3.13
6 * 6	4.18	2.83	3.03
6 * 7	4.71	3.54	2.79

İKİLİ İNTERAKSİYON TABLOSU (ORT.)

2. Faktor seviyeleri

1.Faktör	1.SEV.	2.SEV.	3.SEV.	4.SEV.	5.SEV.	6.SEV.	7.SEV.	ORT.
1	2.47	2.08	1.97	1.79	2.16	2.19	2.14	2.11
2	3.08	2.70	2.87	2.75	2.79	3.27	3.10	2.94
3	3.24	4.74	4.90	4.96	3.59	4.33	4.35	4.30
4	2.43	2.68	3.17	3.47	2.71	3.08	2.97	2.93
5	2.88	3.47	3.80	5.04	2.81	3.14	3.41	3.51
6	3.60	4.20	4.44	5.08	2.98	3.35	3.68	3.90
Ortalama	2.95	3.31	3.52	3.85	2.84	3.22	3.27	3.28

Varyans Analizi

Varyans Analizi	SD	Kareler Toplamı	Kareler Ortalaması	F degeri	à ola(%)
TEKERRUR	2	0.358	0.179	0.608ns	0.552
1.FAKTOR	5	64.735	12.947	43.963**	0.000
2.FAKTOR	6	12.374	2.062	7.003**	0.000
INTERAK.	30	18.838	0.628	2.132**	0.004
HATA	82	24.149	0.295		
GENEL	125	120.454			

<*>:P%5 ; <**>:P%1 duzeyinde istatistiki onemli ; <ns>:ist. Onemsiz

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004
HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 1.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	1	2.473
2	6	2.187
3	5	2.160
4	7	2.137
5	2	2.077
6	3	1.973
7	4	1.790

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004
HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 2.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	6	3.270
2	7	3.100
3	1	3.080
4	3	2.867
5	5	2.793
6	4	2.753
7	2	2.697

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004
HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82
PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 3.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	4	4.960
2	3	4.900
3	2	4.740
4	7	4.347
5	6	4.327
6	5	3.593
7	1	3.240

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	4	3.467
2	3	3.167
3	6	3.077
4	7	2.970
5	5	2.713
6	2	2.680
7	1	2.433

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	4	5.040
2	3	3.797
3	2	3.470
4	7	3.410
5	6	3.143
6	1	2.877
7	5	2.810

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.A SEV.'de B'lerin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	4	5.083
2	3	4.437
3	2	4.197
4	7	3.680
5	1	3.600
6	6	3.347
7	5	2.980

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 1.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	6	3.600
2	3	3.240
3	2	3.080
4	5	2.877
5	1	2.473
6	4	2.433

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 2.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORTALAMALAR GRUPLAR

1	3	4.740
2	6	4.197
3	5	3.470
4	2	2.697
5	4	2.680
6	1	2.077

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 3.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	3	4.900
2	6	4.437
3	5	3.797
4	4	3.167
5	2	2.867
6	1	1.973

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 4.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	6	5.083	
2	5	5.040	
3	3	4.960	
4	4	3.467	
5	2	2.753	
6	1	1.790	

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 5.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	3	3.593	
2	6	2.980	
3	5	2.810	
4	2	2.793	
5	4	2.713	
6	1	2.160	

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESE : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

(TABLO ICINDE 6.B SEV.'de A'larin karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

1	3	4.327	
2	6	3.347	
3	2	3.270	
4	5	3.143	
5	4	3.077	
6	1	2.187	

HATA KARELER ORTALAMASI : .2945004

HATA SERBESTLIK DERECESESİ : 82

PAYDA CARPANI : 3

LSD Testi

LSD değeri= 1.168498 Olasılık = .01

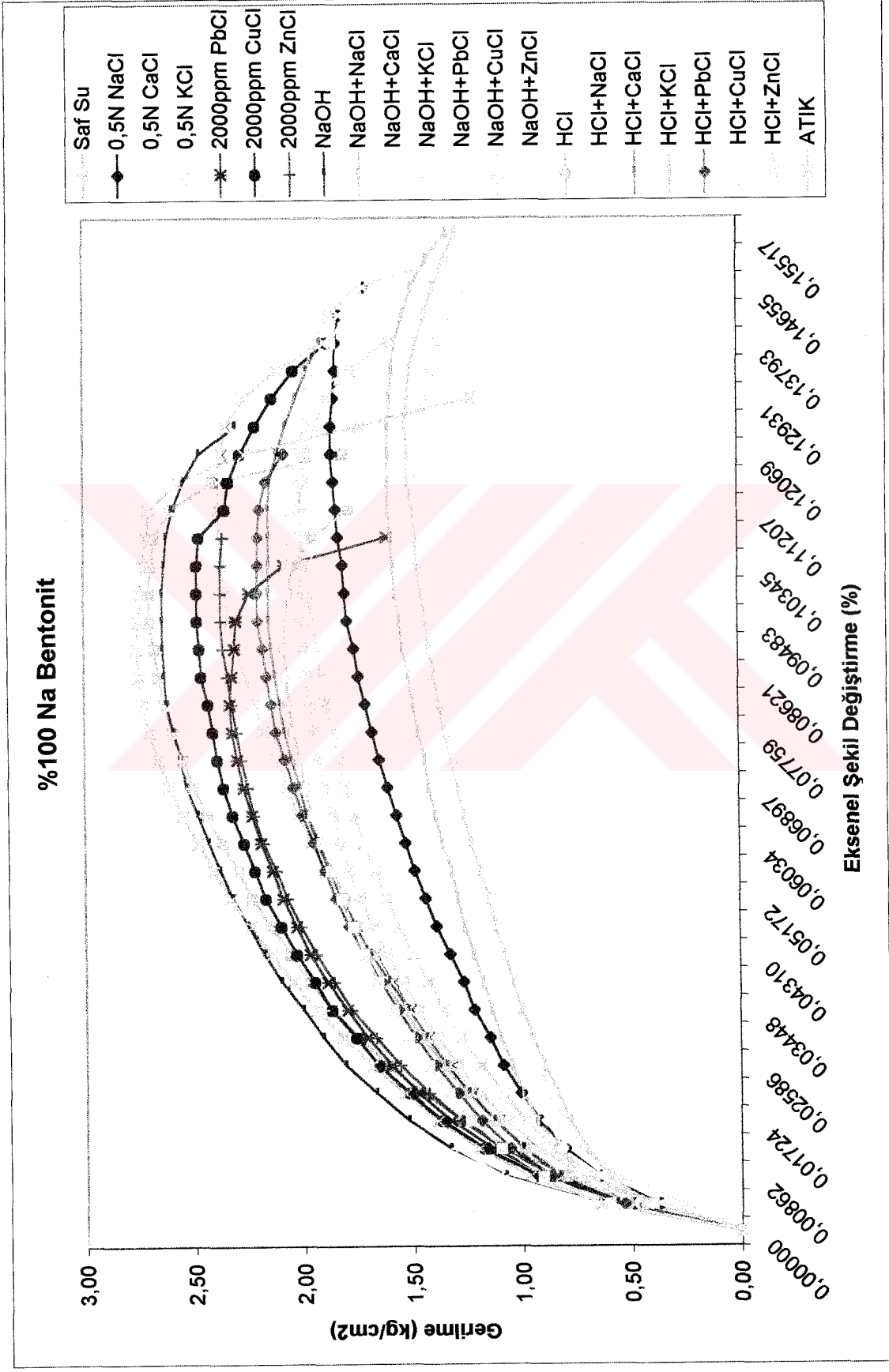
(TABLO ICINDE 7.B SEV.'de A'ların karşılaştırılmaları)

S.no C.no ORT. GRUPLAR

S.no	C.no	ORT.	GRUPLAR
1	3	4.347	
2	6	3.680	
3	5	3.410	
4	2	3.100	
5	4	2.970	
6	1	2.137	

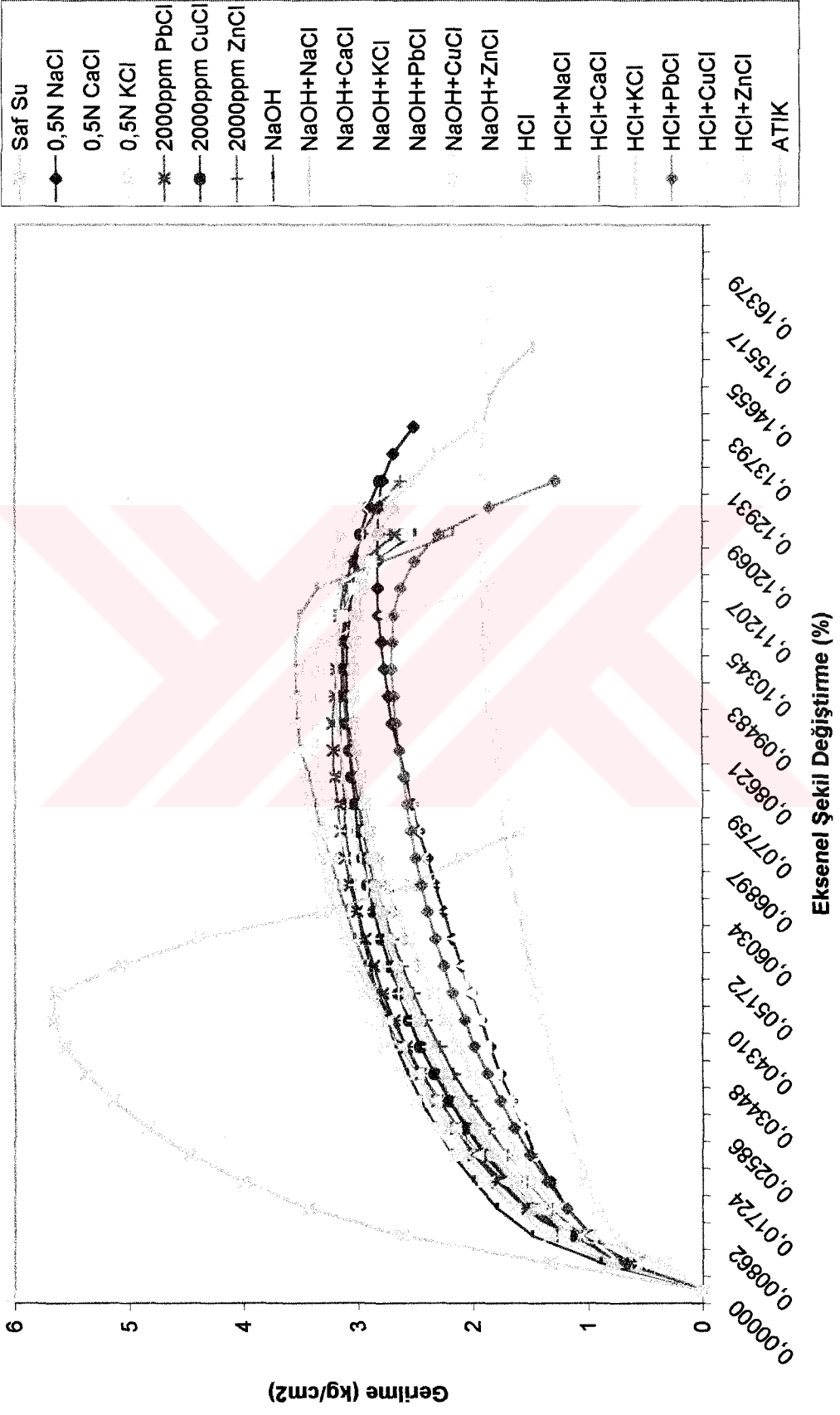


Ek 9. Serbest Basınç Deneyi Sonucunda Çeşitli Kil ve Kil Karışımları İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi

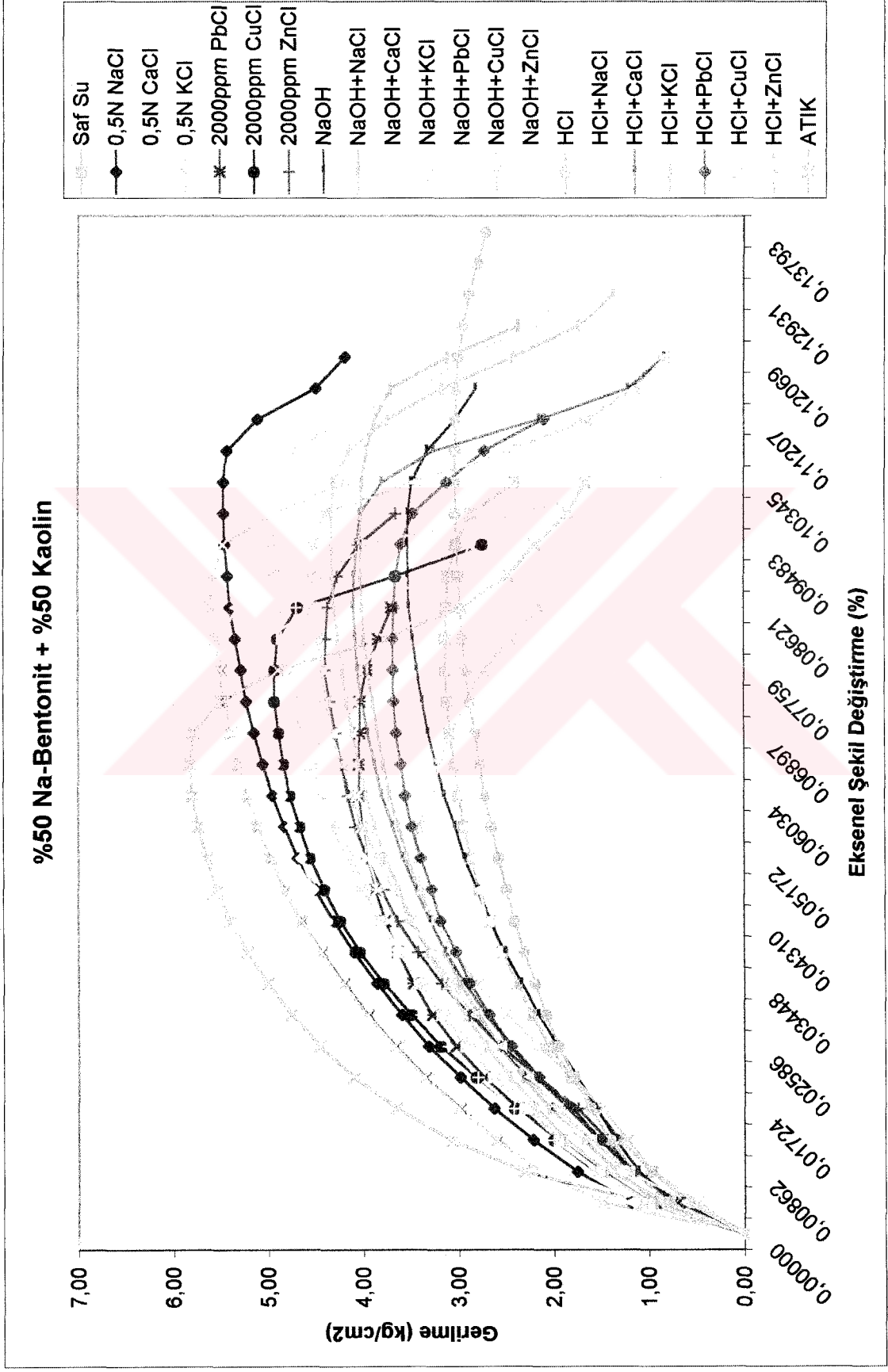


Ek 9. a) Na-Bentonit İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi

%90 Na Bentonit + %10 Kaolin

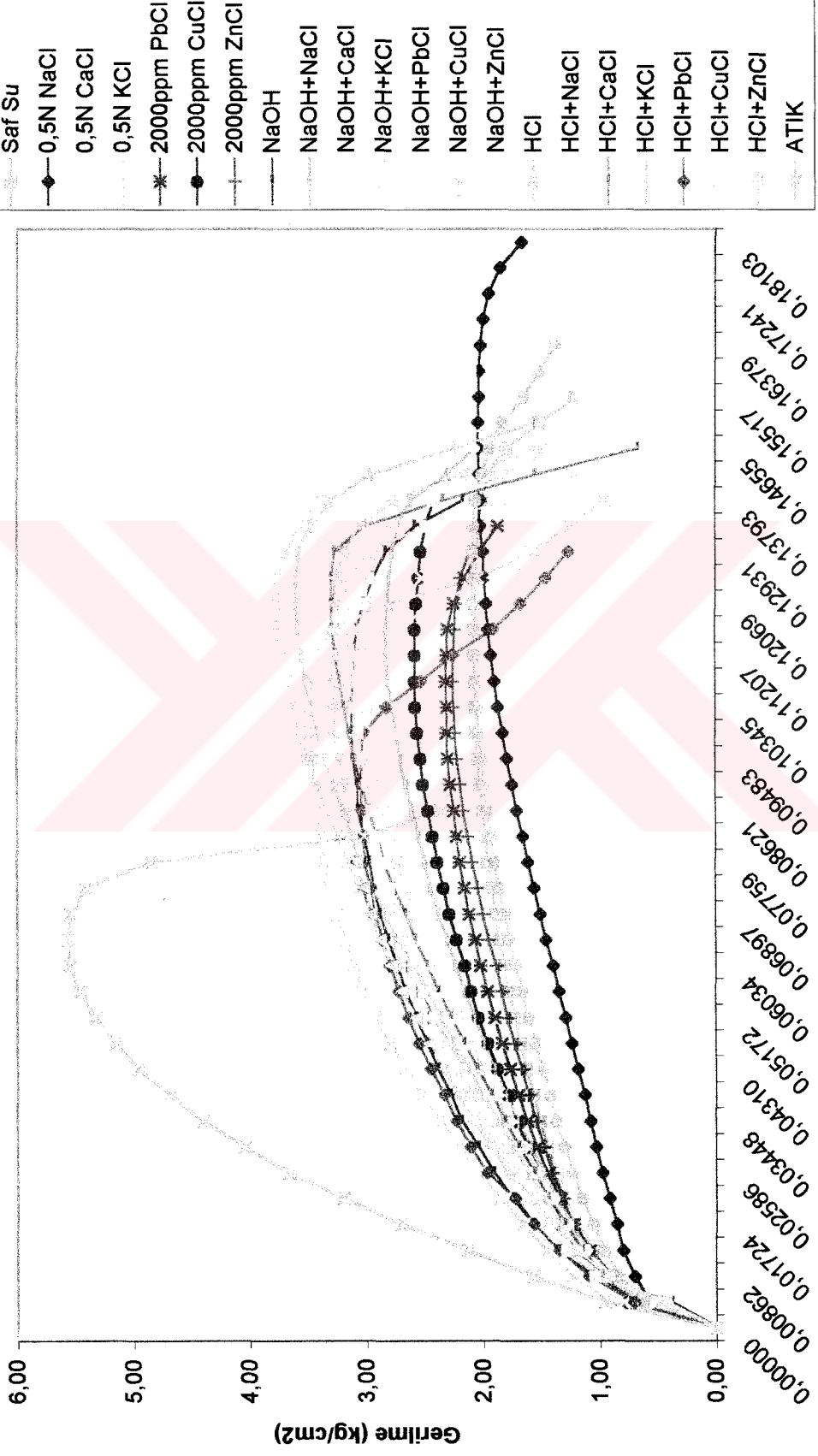


Ek 9. b) %90 Na-Bentonit + %10 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi

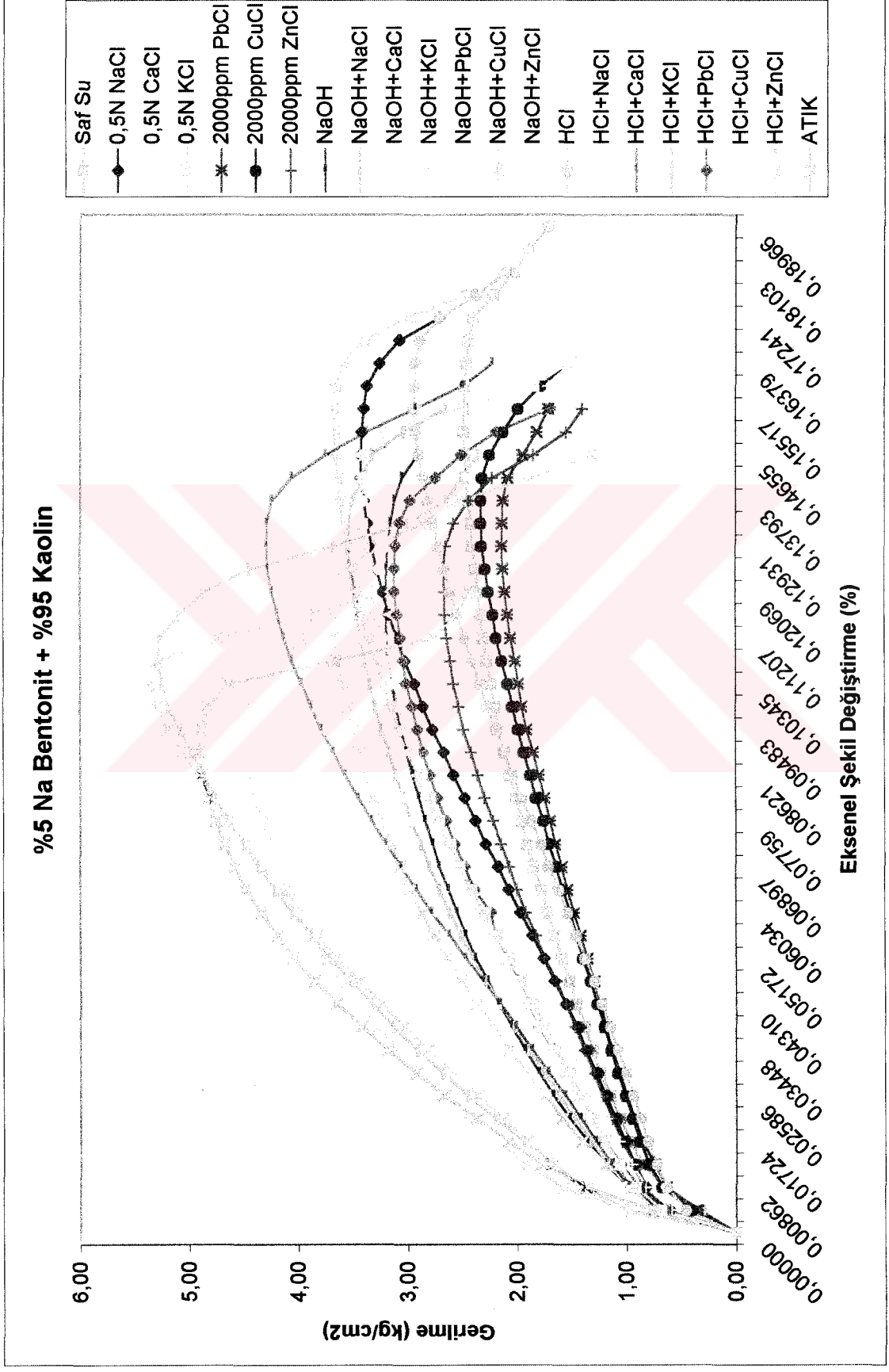


Ek 9. c) %50 Na-Bentonit + %50 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değişirme Yüzdesi İlişkisi

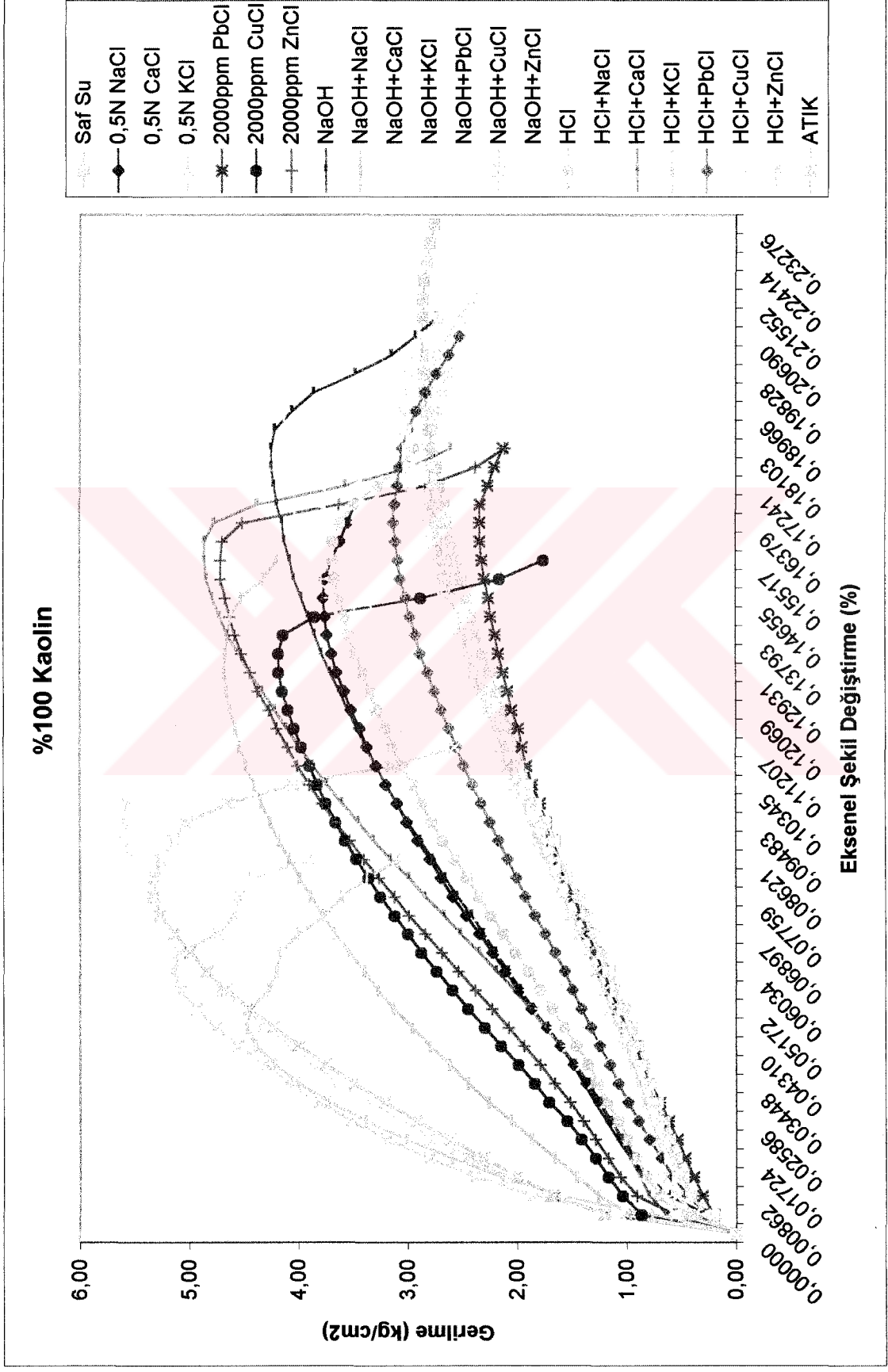
%20 Na-Bentonit + %80 Kaolin



Ek 9. d) %20 Na-Bentonit + %80 Kaolin İçin Gerilme-Eksnel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi



Ek 9. e) %5 Na-Bentonit + %95 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değiştirme Yüzdesi İlişkisi



Ek 9. f) % 100 Kaolin İçin Gerilme-Eksenel Şekil Değişirme Yüzdesi İlişkisi

Ek 10. Serbest Basınç Deneylemleri Sonucunda 28 Günlük Numuneler İçin Elde Edilen Değerler

Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal		
	q_u (kg/cm ²)	10cmol NaOH+	2000ppm PbCl
Na Bentonit	Orjinal	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl
%90Bentonit+%10Kaolen	2,36	1,66	2,16
%50Bentonit+%50Kaolen	2,84	1,98	2,47
%20Bentonit+%80Kaolen	3,70	4,02	3,22
%5Bentonit+%95Kaolen	3,02	3,15	2,78
Bolu Kaolin	4,21	5,69	3,82
	4,92	6,18	4,23

Killerin Karışım Oranları	Kullanılan Kimyasal		
	q_u (kg/cm ²)	10cmol HCl+	2000ppm PbCl
Na Bentonit	Orjinal	+0,5N KCl	+2000ppm PbCl
%90Bentonit+%10Kaolen	1,94	1,62	1,89
%50Bentonit+%50Kaolen	1,76	3,58	2,58
%20Bentonit+%80Kaolen	3,40	4,71	4,14
%5Bentonit+%95Kaolen	2,26	3,39	2,82
Bolu Kaolin	3,88	4,64	3,29
	5,63	5,70	3,42

İ.C. YÜZELERİNİN ETİM KURULU
 DOKÜMANTASYON MERKEZİ