

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KATMANLI İRİ VE İNCE DANELİ ZEMİNLERDE, ZEMİNİN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ VE GEÇİRGENLİK KATSAYISI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ARAŞTIRILMASI.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMMAD HAROON SAEEDI

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Eylül, 2021

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



KATMANLI İRİ VE İNCE DANELİ ZEMİNLERDE, ZEMİNİN FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİ VE GEÇİRGENLİK KATSAYISI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN
ARAŞTIRILMASI.

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MOHAMMAD HAROON SAEEDI
(Y1913.090020)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Kaveh Dehghanian

Eylül, 2021

ONAY FORMU



YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Katmanlı İri ve İnce Daneli Zeminlerde, Zeminin Fiziksel Özellikleri ve Geçirgenlik Katsayısı Arasındaki İlişkinin Araştırılması.” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (24/9/2021)

MOHAMMAD HAROON SAEEDI



Aileme,

ÖNSÖZ

Bu bitirme çalışmasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Kaveh Dehghanian'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Eylül, 2021

MOHAMMAD HAROON SAAEDI



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	7
3.1 Permeabilite.....	7
3.2 Geçirgenliği Etkileyen Faktörler	9
3.3 Yoğunluk ve Boşluk Oranının Etkisi	10
3.4 Zemin Dokusu ve Yapısının Etkisi	10
3.5 Geçirgenlik Katsayısı:	11
4. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ	13
4.1 Zeminlerin Deney Amaçları İçin Gruplandırılma:	13
4.2 Geçirgenlik Deneyi	14
4.2.1 Geçirgenlik katsayısının belirlenmesi.	14
4.2.2 Katmanlı toprağın etkili geçirgenlik katsayısı.	16
4.3 Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi.....	17
4.4 Düşen Seviyeli Permeabilite Test Yöntemi.....	18
4.4.1 Ekipman kalibrasyonu.....	18
4.4.2 Numunenin hazırlanması:	19
4.4.3 Test prosedüre	19
4.4.4 Hesaplamalar.....	19
5. ZEMİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ:	22
5.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı	22
5.1.1 Elek analizine göre tane büyüklüğü dağılımı.....	23
5.2 Likit limit.....	27
5.3 Plastik Limit Deneyi.....	34
5.4 Plastisite İndeksinin Belirlenmesi	36
5.5 Doğrusal Büzülme Tayini	37
5.6 Özgül Ağırlık.....	43
6. DÜŞEN SEVİYELİ GEÇİRGENLİK TESTİ	50
7. BİRİM HACİM AĞIRLIK:	57
7.1 Yaş Birim Hacim Ağırlık	57
7.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık	57
7.3 Boşluk Oranı	57

7.4 Prozite (N)	58
8. YENİ BENTONİTİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİ:	61
8.1 Proktor Testi Nerede Kullanılır?	62
8.2 Standart Proctor Deneyi-Proktor Deneyi	63
8.3 Standart Proctor Deneyinin Yapılışı	63
8.4 Hesaplama	64
9. YENİ BENTONİTİN PERMEABİLİTE DENEYİ (KATMANLI VE KOMPOZİTE)	67
9.1 Yeni Bentonitin Numune Hazırlanması.	67
9.1.1 Yeni bentonitin test prosedür:	68
9.1.2 Yeni bentonitin Ölçülen ve Teorik permeabilite hesaplaması:	71
9.1.3 Hesaplamalar:.....	71
9.2 Yeni Bentonitin Permeabilite Deneyi (komposite)	73
9.2.1 Yeni numunenin optimum su miktarı (komposite)	73
9.2.2 Yeni numunenin test procedure (komposite)	73
10. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	77
10.1 Sonuç	82
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	86

KISALTMALAR

K	: Permeabilite katsayısı
LL	: Likit limit
PL	: Plastik limit
PI	: Plastisite indeksi
Keq	: Eşdeğer geçirgenlik katsayısı
Kth	: Tabakalı zeminin teorik geçirgenliği
Zi	: i, Katmanın kalınlığı
Cu	: Tekdüzelik Katsayısı
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
TS	: Türk standart
G_s	: Özgül ağırlık
S_L	: Büzülme limit
YBHA	: Yaş Birim Hacim Ağırlığı
KBHA	: Kuru Birim Hacim Ağırlığı
e	: Boşluk oranı
n	: Prozite

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1:Geçirgenlik sınıflandırması.....	15
Çizelge 5.1:İri ve ince tane boyutlar (Va, 2014)	23
Çizelge 5.2: Elek analyizi test sonuçlar.	27
Çizelge 5.3: 100% Bentonite İçin Hazırlanmış Likit Limit, Plastik Limit Ve Büzülme Limit Test Sonuçlari Şekil Halinde Gösterildi.	39
Çizelge 5.4: %20 BENTONITE +%80 KUM	40
Çizelge 5.5: %30 BENTONITE +%70 KUM	41
Çizelge 5.6: %40 BENTONITE +%60 KUM	42
Çizelge 5.7: Karışık numne cc ve cu tayini.	43
Çizelge 5.8: Atterberg limiti karışık numune test sonuçları	43
Çizelge 5.9: %100 kum numunesi için özgül ağırlık test sonuçları.	46
Çizelge 5.10: %100 Bentonit numunesi için özgül ağırlık test sonuçları.....	46
Çizelge 5.11: %80 kum +%20 Bentonit	47
Çizelge 5.12: %70 kum +%30 Bntonit	47
Çizelge 5.13: %60 kum +%40 Bentonit	48
Çizelge 6.1: Karışık numune %100 kum permeabilite test sonuçları.....	52
Çizelge 6.2: Karışık numune %90 kum+%10 bentonite permeabilite test sonuçları	53
Çizelge 6.3: Karışık numune %80 kum+%20 bentonite	53
Çizelge 6.4: Karışık numune %70 kum+%30 bentonite	54
Çizelge 6.5: Karışık numune %60 kum+%40 bentonite	54
Çizelge 6.6: Karışık 1.numune permeabilite test sonuçları	55
Çizelge 6.7: karışık numune optimum su miktarı belirlemesi.....	56
Çizelge 7.1: karışık numune Boşluk oranı(e)belirlemesi	58
Çizelge 8.1: Ürün Bilgisi (ECCC,222).....	61
Çizelge 8.2: Analitik veriler :(ECCC,222) (% 1 tartarik asit solüsyonunda)	62
Çizelge 8.3: Kuru Birim Hacim Ağırlık	64
Çizelge 8.4: Kuru Birim Hacim ağırlık	65
Çizelge 8.5: Su muhtevası /Water content (%) (Wn)	65
Çizelge 9.1: Tabaklı yeni numune %95 kum +%5 bentonite permeabilite test sonuçları.	69
Çizelge 9.2: Tabaklı yeni numune %90 kum +%10 bentonite.	70
Çizelge 9.3: Tabaklı yeni numune %85 kum +%15 bentonite	70
Çizelge 9.4: Tabaklı yeni numune permeabilite test sonuçları.....	71
Çizelge 9.5: Ölçülen permeabilite ve Teorik permeabilite hesaplaması(T).	73
Çizelge 9.6: Karışık 2.numune %95 kum +%5 bentonite permeabilite test sonuçları	74
Çizelge 9.7: Karışık yeni numune %90 kum +%10 bentonite	75
Çizelge 9.8: Karışık yeni numune %85 kum +%15 bentonite	75
Çizelge 10.1: İkinci bentonite için k ve γ_d	77
Çizelge 10.2: Farklı oranlar için k ve γ_d	78

Çizelge 10.3: Birinci numune için e and K.....	78
Çizelge 10.4: Örnekler için k ve değerleri.....	79
Çizelge 10.5: Farklı numnunler için Gs ve k değerleri.....	80
Çizelge 10.6: Karışık ve tabaklı numuneler için K.....	81



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Tane boyutu indeksleri ile tipik tane boyutu dağılım eğrisi.....	10
Şekil 3.2: Sıvının bir zemin türünde farklı hızlarını gösterişi	11
Şekil 3.3: Zemin geçirgenlikten dolayı fazla suyu kaybı	12
Şekil 3.4: Göletlerin kanallarında su kaybına açan geçirimli tabakanın örneği	12
Şekil 4.1: Düşen seviyeli permeabilite cihazı.....	20
Şekil 5.1: Bentonit numune örneği.....	22
Şekil 5.2: Kum numune örneği.....	22
Şekil 5.3: Tane büyüklüğü dağılım %100 kum için	25
Şekil 5.4: Tane büyüklüğü dağılım %80 kum ve %20 bentonite	26
Şekil 5.5: Tane büyüklüğü dağılım %70kum ve %30bentonite	26
Şekil 5.6: Tane büyüklüğü dağılım %60 kum ve%40 bentonite	27
Şekil 5.7: Atterberg Limitleri	28
Şekil 5.8: Atterberg Limitleri	30
Şekil 5.9: Likit limitin kullanılan çarpmalı cihaz	31
Şekil 5.10: Pirinç veya paslanmaz çelikten imal edilmiş oluk açma bıçağı	32
Şekil 5.11: (a) Casagrande pruvasına yerleştirilen (b): Oluk açma aletinin Zemin... ..	33
Şekil 5.12: Plastik limitin ufalanma biçimler	35
Şekil 5.13: Doğrusal büzülme testi için kalıp.....	37
Şekil 8.1: Kuru birim hacim ağırlık su muhtevası karşı	66
Şekil 10.1: Kuru birim hacim ağırlığa karşı geçirgenlik katsayısının (2. numune)....	77
Şekil 10.2: 1.numune kuru yoğunluğa karşı geçirgenlik katsayısının	78
Şekil 10.3: Geçirgenlik katsayısı ile likit limit arasındaki ilişkiyi göstermektedir... ..	79
Şekil 10.4: Geçirgenlik katsayısı ve özgül ağırlık	80
Şekil 10.5: 2.numune için ölçülen permeabilite ve teorik permeabilite	81
Şekil 10.6: tabakalı ve karışık permeabilite.....	81

KATMANLI İRİ VE İNCE DANELİ ZEMİNLERDE, ZEMİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ VE GEÇİRGENLİK KATSAYISI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN ARAŞTIRILMASI.

ÖZET

Zeminler, enerji yükünde bir fark olduğunda sıvıların akışına izin veren birbirine bağlı boşlukların varlığı nedeniyle geçirgen malzemelerdir. Barajlar altındaki sızıntı miktarını tahmin etmek ve yer altı inşaatını kolaylaştırmak için susuzlaştırmak için iyi bir zemin geçirgenliği bilgisi gereklidir. Hidrolik iletkenlik olarak da adlandırılan zemin geçirgenliği, bozulmamış veya yeniden oluşturulmuş numuneler üzerinde sabit ve düşen seviyeli laboratuvar testlerini içeren birkaç yöntem kullanılarak ölçülür. Zeminin geçirgenliği, yer altı suyu beslemesi, nehir kıyısı filtrasyonu, baraj gövdesinden sızıntı, şev stabilitesi sorunları, yer altı suyu akışı gibi çeşitli inşaat mühendisliği uygulamaları için gerekli olan önemli bir özelliktir. Birbirine bağlı boşluklar, sırayla parçacıkların şekline ve boyutuna bağlıdır. Zemin kütlesinden akabilen su hacmi, boşlukların sayısı veya toplam sayısından çok, boşluk açıklıklarının boyutuyla ilgilidir.

Tane boyutu dağılımı ve yoğunluğunun zeminin geçirgenliğini etkilediği bilinmektedir. Geoteknik mühendisliğinde kullanılan zeminin en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Geçmişte birçok araştırmacı tarafından birçok korelasyon geliştirilmiş olsa da bu korelasyonların gerçek uygulamaya uygulanabilirliği her zaman şüpheli olmuştur. Tabakalı bir zemin sisteminin bir zemin tabakasının nispi konumu ve kalınlığı, kompozit zemin tabakasının geçirgenliğini etkileyen önemli parametrelerden bazılarıdır.

Bu çalışma, mevcut ampirik ilişkinin ince ve iri taneli zeminlerin geçirgenliğine uygulanabilirliğine odaklanmaktadır. İki tabakalı zeminlerin iki tip bentonit numunesi ve bir tip kum ile geçirgenliği için bir seri laboratuvar çalışması, atterberg limit testi, elek analizi testi, özgül ağırlık testi ve ayrıca proktor testi yapılmaktadır.

Sonuç laboratuvarında, ölçülen geçirgenliğin tabakalı bir çökeltinin teorik değerlerinden daha büyük olup olmadığını kontrol ettiği için çıkış tabakasının geçirgenliğini gösterir. Bu çalışmada, geçirgenliğin azalmasıyla atterberg limiti artması gözlemlenmiştir. Ayrıca, Kuru birim hacim ağırlık hem birinci hemde ikinci numunesi ise artmasıyla geçirgenlik katsayısının azağlını göstermektedir. Daha yüksek boşluk oranında geçirgenlik daha yüksektir. Özgül ağırlık arttıkça geçirgenlik katsayısı artar. Son tabakanın kalınlığı tabakalı zeminlerin geçirgenliği üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

Anahtar Kelimeler: *Geçirgenlik Katsayısı, İki katmanlı geçirgenlik, Tane Boyutları, Boşluk Oranı, Maksimum Kuru Yoğunluk, Atterberg Limitleri, Özgül Ağırlık.*

INVESTIGATION OF THE CORRELATION BETWEEN PHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND PERMEABILITY COEFFICIENT IN LAYERED COARSE AND FINE GRAINED SOILS.

ABSTRACT

Permeability of porous media is an important property "which depends upon various properties of soil mass such as porosity, size and shape of soil particles, initial moisture content and compaction etc. As in natural condition, the soil mass exists in layers/ strata, thus represents a stratified soil (Gupta & Singha, 2015)". Soils are permeable materials due to the presence of interconnecting spaces that enable fluids to flow when there is a difference in energy head. To estimate the amount of drainage under dams and dewatering to enable the subterranean construction, good soil-permeability knowledge is necessary. Soil permeability is a critical property for a variety of civil engineering applications, including ground water recharge, river bank filtration, seepage through dam bodies, slope stability issues, and ground water flow. The interconnected voids in turn depend upon the shape and size of particles. The amount of water that may flow through a soil mass is proportional to the size of the void apertures rather than the total number of voids. Even though void ratios are frequently greater than for fine grained soil.

The permeability of soils is thought to be affected by grain size distribution and density. In geotechnical engineering, it is one of the most important physical properties of soil. Despite the fact that many correlations have been created in the past by various scholars, the application of these correlations to real-world practice has always been questioned.

The present study focuses on the applicability of the existing empirical relationship to the permeability of fine and coarse grained soils. Some of the significant characteristics that affect the permeability of the composite soil layer are the relative position and thickness of a soil layer in a stratified soil system. A series laboratory study was done for permeability of two layer soils with two type of bentonite sample and one type of sand, atterberg limit test, sieve analysis test, specific gravity test and also proctor test.

The result shows permeability of the exit layer as tested in the laboratory determines whether the measured permeability is larger than the theoretical values for a stratified deposit. For another physical properties against permeability atterberg limit increase with decrease in permeability. The higher the specific gravity, the higher the permeability coefficient. The permeability is higher at higher void ratio. Dry unit weight has increased with increases the permeability coefficient. Thickness of end layer has significant effect on the permeability of stratified soils.

Keywords: *Coefficient of Permeability, two layer permeability, Grain Sizes, Void Ratio, Maximum Dry Density, Atterberg Limits, Specific Gravity.*

1. GİRİŞ

Zemin mekaniğinde, zemin geçirgenliğinin incelenmesi önemli olması halinde genel uygulamada, geçirgenlik katsayısı tipik olarak sabit bir seviye geçirgenlik testi ile elde edilir ve farklı hidrolik koşullar altında yer altı sızma miktarını ölçmek için filtrasyon-drenaj, oturma ve stabilite ölçümlerinde kullanılır. Bu problemler, atık su yönetimi, şev stabilite kontrolü, erozyon ve zemin oturma sorunları ile ilgili yapısal bozulma gibi çevresel konular için son derece önemlidir. Geoteknik mühendisliği alanında, geçirgenlik, zemin konsolidasyon özellikleri ve drenajın bir sonucu olarak zemin kesme dayanımının mobilizasyonu üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ayrıca Geoteknik mühendisliği için toprak bilimi, hidroloji, drenaj ve ince taneli zeminlerdeki su hareketi birincil öneme sahiptir. Buna Ek olarak, zemin barajların gövdesinden sızma, şev stabilite sorunları, yeraltı suyu akışı ve ilgili birçok konu ile ilgili çalışma, ince taneli zeminlerin geçirgenlik özellikleri hakkında güvenilir bilgi gerektirir. The bedding planes of the layers can be horizontal, vertical or inclined for layered soils systems ve her katmanın kendi geçirgenlik katsayısı (k) değeri olacaktır ayrıca tabakalama düzlemlerinin yönelimi ile ilgili olarak, tabakalaşmış çökeltinin ortalama veya eşit geçirgenlik katsayısı, k_{eq} , akış yönüne bağlıdır. Homojen zemin birikintilerinin geçirgenlik özelliklerinin, boşluk oranı ve zemin tipinin fonksiyonları olduğu bilinmektedir. Tabakalı yatakların geçirgenlik özellikleri (yani, katmanlı sistemler) bilhassa akış yataklama düzlemine normal olduğunda farklı katmanlardaki zeminler arasındaki olası karşılıklı etkileşim ve bunların tortudaki göreceli konumları ile daha da karmaşık hale gelebilir. Bu nedenle, mevcut deneysel araştırmada, akış tabaka düzlemlerine dik olduğunda tabakalı çökellerin geçirgenlik özelliklerinin incelenmesi önerilmektedir. Bu teknik çalışmanın permeabilite katsayısı, iki tabakanın geçirgenlik davranışı çalışmasının sonuçları ve aynı zamanda numune zemin sisteminin karşılaştırıcısı ile kum ve bentonitin fiziksel özelliğinin karşılaştırılmasıyla ilgilidir. İki tabakalı zemin sistemi için çıkış

tabakasının geçirgenlik katsayısı, üç tabaka zemin sistemi için bir kontrol faktörü olarak geçirgenlik katsayısını, zeminlerin göreceli konumuna bağlı olarak kabul eder. Bu çalışma, tabakalı bir zemin sisteminin geçirgenlik katsayısının, akış, yataklama düzlemlerinin yönüne normal olduğunda, sistemdeki farklı geçirgenlik katsayısı değerlerine sahip tabakaların göreceli konumlandırmasına bağlı olduğu noktasını güçlendirmektedir.

1.1 Tezin Amacı

Zeminlerin geçirgenliği, farklı zemin yapılarının tasarımı için gerekli olan temel bir mühendislik özelliğide, sıkıştırılabilirlik ve kayma mukavemeti gibi ince taneli zeminlerin diğer mühendislik özelliklerini kontrol eder. Bu bilgi, zemin barajlarının tasarımı, hidrolik yapılar altındaki kaçak miktarının belirlenmesi ve temellerin inşasından önce ve sonra susuzlaştırılmasında önemlidir. Daha yaygın olarak, zeminlerin sahada homojen kütlelerden ziyade tabakalı çökeller halinde oluştuğu gözlenir.

Geçirgenlik katsayısı, zeminlerin en çok farklılık gösteren ve diğer faktörlerden etkilenen özelliklerinden biridir. Bu tür katmanlı sistemin eşdeğer geçirgenlik katsayısı şu anda Darcy yasasının bu tür bir sisteme genişletilmesiyle hesaplanmaktadır. Laboratuvarında geçirgenlik katsayısı testi, konsolidasyon testi ve üç eksenli kesme testi ile tanımlanabilir. Killerin geçirgenlik katsayısı oldukça düşüktür ve geleneksel olarak düşen seviyesi geçirgenlik testi ile ölçülür. Bu yöntem, numunenin doyması beklendiğinden uzun bir süre boyunca sonuç verir. Bu tezin temel amacı, zemin katmanlarındaki çeşitli boyutlardaki kum ve bentoniti ölçmek ve karşılaştırmaktır. Bu iki zemin numunesinin farklı boyutları, numuneyi karıştırmak ve 2 katmanlı sınıflandırmaya yönelik testlerdir. Ayrıca laboratuvarında bentonitin daha spesifik inceleme için bir tür kum ve iki tür bentonite numunesi temin etmekte olup üzerinde atterberg limit deneyi, özgül ağırlık deneyi, proktor deneyi, composite permeabilite ve katmanlı permeabilite değişik oranları sahip yapılmaktadır. Son olarak, geçirgenlik sonuçlarını zeminin diğer fiziksel özellikleriyle karşılaştırmak için çizgiler ve yorumlar bölümü amaçlanmıştır.

İnce taneli zeminlerin geçirimsizlik özellikleri üzerine yapılan bu çalışma, ince taneli zeminlerin geçirimsizlik katsayısının bentonite boyutlarının, likit limitin,

plastik limitin ve plastisite indeksinin artmasıyla azaldığını ve maksimum kuru yoğunluğun artmasıyla arttığını göstermektedir. Ara bağlantıların doğasını etkileyen faktörler arasında tane boyutu dağılımı, parçacık şekli ve yoğunluk (sıkıştırma derecesi) yer alır. Geçirgenliğin karmaşık doğası ve bunu etkileyen bir dizi faktör nedeniyle, ince taneli zeminlerin geçirgenliğinin %100 değişkenliğini açıklayabilecek bir tahmin denklemi geliştirmek mümkün değildir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde geçirgenlikle ilgili literatür ve geçirgenlik üzerine yapılan bazı çalışmalar tartışılmaktadır dolaysıyla klasik zemin mekaniğinde zemin homojen ve izotropik bir malzeme olarak kabul edilir. Çoğu durumda, arazide toprak tabakalı bir ortam iken, deneyler ve sayısal analizler tek bir tabaka için yapılır (Jamshidi & Behfar, Dec 2017).

Uppot vd. (1989) İki kil, killer ve geçirgenlik arasındaki reaksiyonun neden olduğu geçirgenlik değişikliklerini incelemek için organik ve inorganik geçirgenlere tabi tutulur (Stephenson, January 1989). Haug ve arkadaşları (1990) tarafından Ottawa kumu ve sodyum bentonitten oluşan prototip bir astar üzerinde laboratuvar geçirgenlik testleri yapılmıştır. Bu malzeme karıştırıldı, nemlendirildi ve güçlendirilmiş ahşap çerçeveler halinde sıkıştırıldı (haug, February 1990).Yerinde geçirgenlik testi sonuçları, bozulmamış özlü ve yeniden kalıplanmış numune üzerinde gerçekleştirilen düşük gradyanlı, geri basınçla doymuş üç eksenli geçirgenlik testleri ile doğrulanmıştır ve başka bir resercher "Nikraz ve arkadaşları (2011) tarafından Elyafın kompozit kumun hidrolik iletkenliğine etkisini belirlemek için gerçekleştirilen bir dizi laboratuvar geçirgenlik deneyleri yapılmıştı. Kompozitin Zemin parçası olarak killi kum seçilmiş ve takviye olarak doğal lif kullanılmıştır (Chegenizadeh & Nikraz, 2011)".

Sridharan ve Prakash (2002)"iki katmanlı zemin sistemlerinde yeniden düzenlenmiş, katmanlı bir birikinti oluşturan farklı zemin türlerinin farklı katmanları arasındaki karşılıklı etkileşimin, katmanlanmış çökeltinin eşdeğer geçirgenliğini etkilediğini gösterir ve eşit geçirgenlik katsayısı için denklem kullanılarak basitçe hesaplanamaz. Darcy yasasına göre akış yataklama düzlemlerinin yönüne normal olduğunda tabakalı bir birikintidir. Çıkış tabakasının geçirgenliği, ölçülen geçirgenliğin tabakalı bir biriktirme için teorik değerlerden daha büyük veya daha az olup olmadığını kontrol eder.

Bir toprağın geçirgenlik katsayısı, aynı zamanda, zemin ile temas halinde olduğu çevreleyen Zeminler arasındaki etkileşimin bir fonksiyonu gibi görünmektedir" (Prakash & Sridharan, 2002).

(Katmanlı sistem). Bu bağlamda, katmanlı bir sistemdeki bir zeminin geçirgenlik katsayısı, farklı k katmanlarının göreceli olarak nasıl yerleştirildiğine, kalınlıklarına ve akış yönüne bağlı olarak düşünülmelidir. "Mevcut araştırma tamamen deneysel olmakla birlikte, sonuçların ve önerilen hipotezin geçerliliğinin matematiksel olarak doğrulanması gerektiğinden daha ileri çalışmalar için bir alan açar, daha sonra 2013'te Üç katmanlı toprak tortullarının ölçülen eşdeğer geçirgenlik katsayısının teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırmalı bir çalışması yapılmıştır. Sonuçlar, genel olarak, alt katmanın geçirgenlik katsayısının, eşdeğer geçirgenlik katsayısının ölçülen değerinin teorik olarak hesaplanan değerden daha büyük veya daha az olup olmadığını kontrol ettiğini göstermektedir"(Prakash & Sridharan, October 2013).

Başka bir çalışmada Gupta ve arkadaşları (2015), üç katmanlı katmanlı bir zemin sisteminde en az geçirgen toprağın konumundaki değişikliğin etkisini incelemek için girişimde bulunmuştur. Sonuçlar, en az geçirgen katmanın geçirgenlik katsayısının, tabakalı toprağın gözlenen geçirgenliğini kontrol ettiğini göstermektedir. (Tabakalı Zemin). Bu gözlemin sonucu, herhangi bir tabakalı zemin birikintisinin gözlemlenen geçirgenliğinin sadece birikintiyi oluşturan tek tek tabakaların k değerlerine değil, aynı zamanda sistemdeki tabakaların görece konumlandırılmasına da bağlı olduğunun anlaşılmasıdır. En az geçirgen tabakanın geçirgenliği olarak da Alam ve arkadaşları (2016) deneyleri yeniden inceledi, bu nedenle, tek tek katmanın konumu ve kalınlığının kompozit zeminin geçirgenliği üzerindeki etkisini araştırmak için yapılmıştır. Son tabaka kalınlığının tabakalı zeminlerin geçirgenliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur, bu nedenle Dulcey-Leal ve arkadaşları (2017) taneli malzemelerin hidrolik iletkenliğini değerlendirmek için alternatif bir fiziksel model önermektedir. Bu, hidrolik iletkenliği doğrudan ölçmek ve katmanlı zeminlerde eşdeğer geçirgenlik katsayısını oluşturmak için kullanılabilir ve bu nedenle sahada meydana gelen sızıntıyı kopyalayabilir. Tekniğin verimli ve nispeten kolay

uygulanabildiği kanıtlanmıştır. Sonuçlar, eşdeğer geçirgenlik katsayısının akış yönüne göre değiştiğini göstermektedir.

"Galvaeo vd. (2004) Saprolitik zeminlerin geçirgenlik katsayısı, yüzde iki kireç eklendiğinde saprolitik geçirgenlik katsayısının yaklaşık beş kat artması ve daha sonra kireç eklenmesiyle azalması halinde yeniden lld. Bu, kimyasal bağların ve kümelenmenin yaratılmasına atanır. Lateritik zeminta ise, kireç eklendikçe geçirgenlik katsayısı azalmıştır. Bu ayrıca bağların zeminta geliştirilenlerden daha zayıf olması dışında aynı mekanizmaya atanır "(Gustavo & Elsharief, July 15, 2004).

Diğer çalışmada granüler malzemelerin hidrolik iletkenliğini değerlendirmek için alternatif bir fiziksel model önermektedir ve Sonuçlarımız, eşdeğer geçirgenliğin katsayısı akış yönüne göre değişir (Gmez & Cruz, February15th, 2018).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Permeabilite

Hidrolik iletkenlik olarak da bilinen geçirgenlik, suyun gözenekli ortamdan akma kolaylığını temsil eden özelliktir (Jabro, 1992; Alyamani ve Sen, 1993; Holtz vd., 2011; Salarashayeri ve Siosemarde, 2012). Geoteknik mühendisliğinde kullanılan zeminin en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Doymuş zeminlerin yük altında oturma oranı, şevlerin ve istinat yapılarının stabilitesi, zeminden yapılan filtrelerin tasarımı ve zemin barajlarının tasarımı, geoteknik mühendisliğindeki geçirgenlik uygulamalarının örneklerinden bazılarıdır (Das, 2008).

Zeminler, sıvıların yüksek enerjili konumlardan düşük enerjili konumlara akışına izin veren birbirine bağlı boşlukların varlığı nedeniyle geçirgen malzemelerdir. Susuzlaştırma faaliyetleri sırasında hidrolik yapılar ve su miktarları altındaki sızıntının hesaplanması için zemin geçirgenliğinin uygun şekilde ölçülmesi / değerlendirilmesi gereklidir. Boşluk oranı, tanecikler arası gözenek dağılımı ve doygunluk derecesi gibi çeşitli değişkenler zemin geçirgenliğini etkiler.

Zemin geçirgenliği, suyun (veya başka bir sıvının) ve havanın zeminden geçme kabiliyetini ifade eder. Su, yağış veya sulama durumunda yüksek geçirgen zeminlerde çok kolay ve düşük geçirgenliğe sahip zeminlerde çok yavaş hareket eder. Bir toprağın geçirgenliği, onun infiltrasyon hızı hesaplanarak belirlenebilir.

Kumlu dokuya sahip zeminler, yağışın çok hızlı bir şekilde zeminden akmasına izin veren geniş gözenek boşluklarına sahiptir. Kumlu zeminlerin yüksek geçirgenliğe sahip olduğu, bu da yüksek sızma oranları ve iyi drenaj ile sonuçlandığı bilinmektedir. Kil dokulu zeminlerde suyun zeminden yavaşça akmasına neden olan küçük gözenek boşlukları vardır. Killi zeminlerin düşük

geçirgenliğe sahip olduğu, bu da düşük sızma oranlarına ve zayıf drenajlara yol açtığı bilinmektedir.

Gözenek boşluğu daha fazla suyla dolduğunda, hava dışarı itilir. Zemindeki tüm gözenek boşlukları su ile dolduğunda zemin doymun hale gelir. Doymuş zeminlerde, birkaç bitki türünün kökleri gelişemez. Düz zeminde doymuş zemin, su birikmesine neden olarak sele neden olabilir. Doymuş zeminler eğimli arazide drenajla sonuçlanır ve bu da su kütlesine artan miktarda su girmesine neden olabilir. Erozyon ve su baskını bu duruma ve su kütlesine artan miktarda kirlenici madde girmesine neden olabilir.

Ek olarak, zemin barajları ve setlerinden ve bunların temellerinden oluşacak sızıntı miktarını tahmin etmek, inşaat kazılarında sızıntı suyunun pompalanmasıyla ilgili sorunları çözmek, su tablasını düşürmek için drenaj boşluklarını ve derinliğini belirlemek için geçirgenlik hakkında bilgi gereklidir bununle birlikte Yol, otoyollarda ve zemin yapılarının ve zemin istinat duvarlarının sızıntı kuvvetlerine maruz kaldıklarında stabilite analizlerinin yapılması (Das, 2008). Bununla birlikte, geçirgenlik de en değişken özelliklerden biridir. Hem yatay hem de dikey yönde değişkenlik gösterir (Jabro, 1992). Bu özellikle doğası gereği heterojen olan buzul zeminler için geçerlidir. Bir laboratuvarında, geçirgenlik genellikle sahadaki zeminlerin heterojenliğini temsil etmeyen küçük numunelerde ölçülür (Holtz ve diğerleri, 2011). Laboratuvarında kaç numune test edilirse edilsin, geçirgenlik güvenilir bir şekilde tahmin edilemez. Ek olarak, laboratuvar test sonuçlarının güvenilirliği, sahada toplanan bozulmamış Zemin örneklerinin kalitesine bağlıdır (Holtz vd., 2011). Taneli zeminler için bozulmamış numuneler elde edilemediğinden, bu tür zeminler için geçirgenlik testi sonuçlarının doğruluğu, laboratuvar numunelerinin zemin yapısı ve yoğunluğunun sahadaki toprağın doğal durumunu ne kadar iyi temsil ettiğine bağlıdır (DeGroot ve ark. 2012). Bu sorunun üstesinden gelmek için, genellikle büyük mühendislik projeleri için saha pompalama testleri kullanılır. Bununla birlikte, bir dizi sahada pompalama testi yapmak hem pahalı hem de zaman alıcıdır (Shepherd, 1989; Jabro, 1992). Ayrıca, yerinde yöntemler genellikle yatay geçirgenliği ölçer (DeGroot ve diğerleri, 2012). Laboratuvar ve saha yöntemlerinin bu sınırlamaları nedeniyle, birçok araştırmacı (Hazen, 1892; Kozeny, 1927 ve Carmen, 1956; Terzaghi ve Peck, 1964; Kenney vd., 1984;

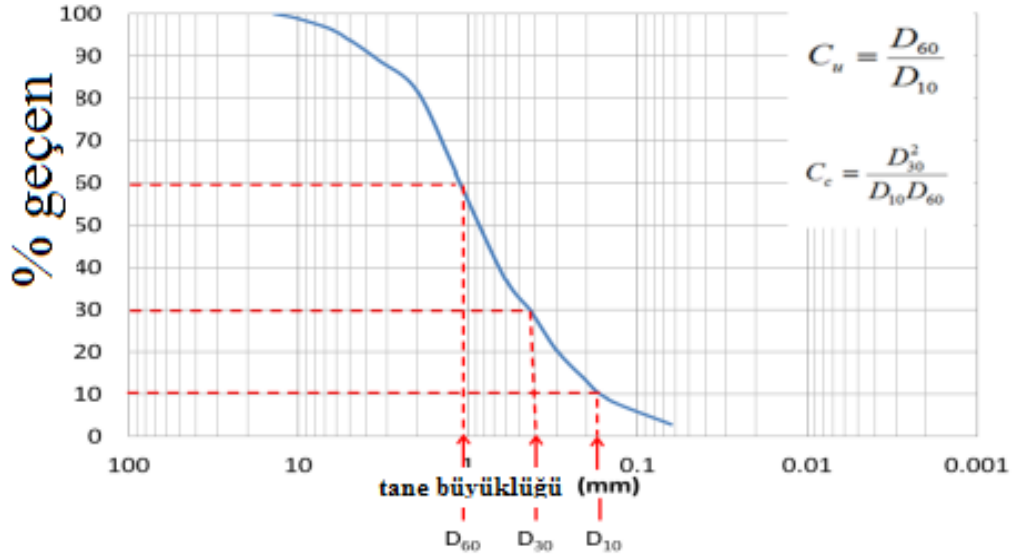
Alyamani ve Sen, 1993), tane boyutu dağılım parametrelerinden geçirgenliği tahmin etmek için ampirik denklemler geliştirmeye çalıştı.

3.2 Geçirgenliği Etkileyen Faktörler

Geçirgenlik hem toprağın hem de nüfuz eden sıvının fiziksel özellikleri tarafından kontrol edilen karmaşık bir özelliktir (DeGroot ve diğerleri, 2012). Ortak oda sıcaklığı, suyun viskozitesi ve birim ağırlığı 20 ° C'lik sabit bir sıcaklıkta sabit kalır. Sonuç olarak, tane boyutu dağılımı, yoğunluk, boşluk oranı, zemin dokusu ve yapısı gibi fiziksel özelliklerin geçirgenlik büyüklüğü üzerinde etkisi vardır.

Taneli zeminlerin tane boyutu dağılımı, geçirgenliklerini etkiler (Freeze ve Cherry, 1979). Taneli bir toprağın tane boyutu dağılımını karakterize etmenin birkaç yolu vardır. Yaygın olarak kullanılan indeksler arasında tekdüzelik katsayısı ($C_u = D_{60} / D_{10}$)), eğrilik katsayısı ($C_c = D_{30}^2 / (D_{10} D_{60})$)), partikül boyutları, D_{10} , D_{30} ve D_{60} bulunur, burada D_{10} , D_{30} ve D_{60} , ilgili elek boyutlarını geçen toprağın ağırlıkça %10, %30 ve %60'ının mm cinsinden parçacık boyutlarıdır (Şekil 3,1)

C_u , zemin ayırma derecesini gösteren ve tane boyutu dağılım eğrisi eğimini gösteren önemli bir tip faktördür (Mitchell ve Soga, 2005). Daha büyük C_u değerleri, iyi derecelendirilmiş Zeminleri, daha küçük C_u değerleri ise homojen derecelendirilmiş zeminleri gösterir (Holtz vd., 2011). Yetersiz derecelendirilmiş zeminler, daha küçük taneciklerin daha büyük taneler arasındaki boşlukları doldurma eğiliminde olduğu iyi derecelendirilmiş zeminlere göre daha yüksek gözeneklilik ve geçirgenlik değerlerine sahiptir. C_c , tane boyutu dağılım eğrisinde üç noktayı hesaba katan tane boyutu dağılımını temsil eden bir başka önemli şekil faktörüdür ve iyi derecelendirilmiş bir boşluk-derecelendirilmiş toprağın dikkate alınma olasılığını azaltır.



Şekil 3.1: Tane boyutu indeksleri ile tipik tane boyutu dağılım eğrisi.

Kaynak: (Onur, 2014)

3.3 Yoğunluk ve Boşluk Oranının Etkisi

Kuru yoğunluk (ρ), bir zeminteki katıların kütesinin toplam hacmine oranı, katıların hacmi ve boşlukların hacminin toplamıdır. Boşluk oranı (e), boşlukların hacminin katıların hacmine oranı olarak tanımlanmaktadır (Das, 2008). Yoğunluk ve boşluk oranı ters orantılıdır. Yoğunluk arttıkça veya boşluk oranı azaldıkça geçirgenlik azalır.

3.4 Zemin Dokusu ve Yapısının Etkisi

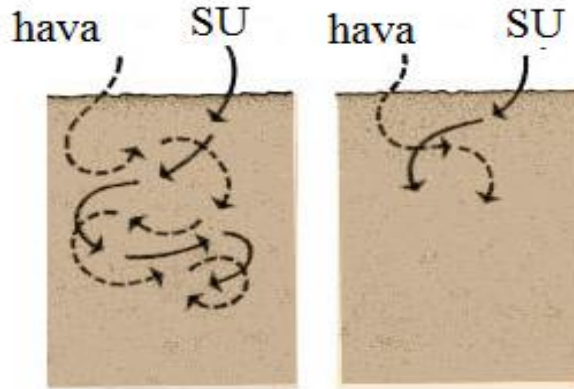
Bir zemin kütesindeki parçacıkların boyutu, şekli, düzeni doku ve yapı ile ilgilidir. Parçacık şekli, parçacıklar arasındaki ara bağlantının boyutunu ve şeklini etkilediği için geçirgenlik üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Taneler ne kadar köşeli olursa, boşluklar o kadar küçük ve akış yolları daha kıvrımlı olacaktır. Bunun nedeni, köşeli taneciklerin kenarlarının ve köşelerinin boşluklara sığabilmesidir; yani, daha yüksek derecede birbirine kenetlenme vardır (Holtz ve diğerleri, 2011).

3.5 Geçirgenlik Katsayısı:

Bir toprağın geçirgenlik katsayısı (k), bir maddenin zeminden ne kadar hızlı akabileceğini açıklar. Zeminin hidrolik iletkenliğine genellikle genel olarak atıfta bulunulur. Bir sıvının viskozitesi veya kalınlığı (akışkanlığı) ve yoğunluğu bu yönü etkileyecektir. Sayı aynı zamanda boşluğun boyutundan veya zemin olmayan alandan, boşluğun sürekliliğinden ve zemin parçacıklarının formundan ve yüzey pürüzlülüğünden de etkilenebilir.

Bir sıvının belirli bir zemin türüne gerçekte hangi hızda akabileceğine karar verirken, bu önemli bir düşüncedir (Şekil 3.2). Geçirimsiz toprağa inşa edilmiş bir havuz, sızıntı yoluyla çok az su kaybeder (Şekil 3.3). Zemin ne kadar geçirgen olursa, sızıntı o kadar büyük olur. Bazı zeminler o kadar geçirgendir ve sızıntı yapar ki, özel yapım teknikleri olmadan bir gölet inşa etmek mümkün değildir (Şekil 3.4).

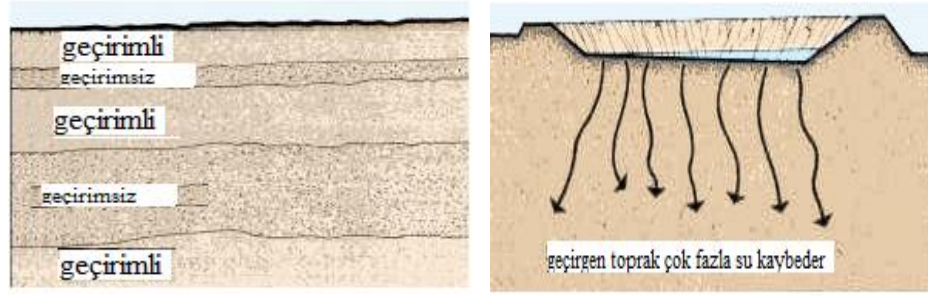
Zeminler genellikle katmanlardan oluşur ve Zemin kalitesi genellikle bir katmandan diğerine büyük ölçüde değişir. Gölet inşasından önce, geçirgen ve geçirimsiz tabakaların göreceli konumunun belirlenmesi önemlidir. Bir havuzun tasarımı, sızıntı nedeniyle alt toprağa aşırı su kaybını önlemek için alt kısımda geçirgen bir katmana sahip olmayacak şekilde planlanmalıdır.



Şekil 3.2: Sıvının bir zemin türünde farklı hızlarını gösterişi

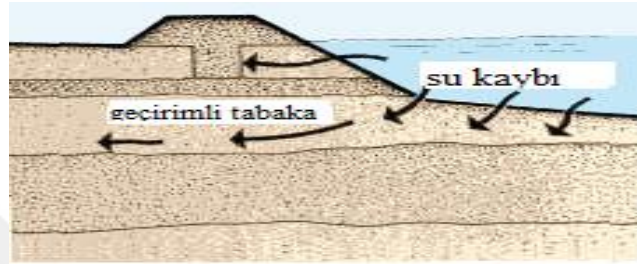
Kaynak: (Pradhikaran, 2012).

Gölet kanallarının su tutmasını sağlayacak Zeminla yapılması gerekir. Yine, Zemin kalitesinin bu akılda tutularak kontrol edilmesi gerekecektir. Şekil 3.5



Şekil 3.3: Zemin geçirgenlikten dolayı fazla suyu kaybı

Kaynak: (Pradhikaran, 2012).



Şekil 3.4: Göletlerin kanallarında su kaybına açan geçirimli tabakanın örneği

Kaynak: (Pradhikaran, 2012).

Zeminler genellikle katmanlardan oluşur ve zemin kalitesi genellikle bir katmandan diğerine büyük ölçüde değişir. Havuz yapımından önce, geçirgen ve geçirimsiz katmanların göreceli konumlarının belirlenmesi önemlidir ve Bir havuzun tasarımı, sızıntı yoluyla yeraltına aşırı su kaybını önlemek için dipte geçirgen bir tabakaya sahip olmayacak şekilde planlanmalıdır.

Bireysel zemin horizonlarının geçirgenliği, zemin bilimciler tarafından geçirgenlik sınıflarıyla yakından ilişkili olduğu gösterilen belirli zemin özelliklerinin görsel olarak incelenmesiyle değerlendirilebilir. Geçirgenliği değerlendirmede en önemli faktör yapıdır: tipi, derecesi ve agregaların yatay ve dikey eksenlerinin uzunluğu ile örtüşme yönü ve miktarı arasındaki ilişki gibi agregasyon özellikleri, ayrıca ne zemin dokusu ne de renk benekleri tek başına güvenilir ipuçları olmasa da bu zemin özellikleri yapısal özelliklerle birlikte düşünüldüğünde geçirgenliğin tahmin edilmesine yardımcı olabilir.

Zemin yapısı, özellikle zemin parçacıkları arasındaki gözeneklerle ilgili olduğu için, geçirgenlik üzerinde belki de en büyük etkiye sahiptir. Daha önce gördüğümüz gibi, bu gözenekler havanın ve suyun toprak içinde hareket etmesine izin verir.

4. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Çalışmada toplam 3 adet iki tür bentonit ve bir tür kum doğal zemin örneği kullanılmış ve bu örnekler Benton santralardan ve izmirden temin etmiştir dolayısıyla Ts-1900 ve ASTM 4318'de belirtilen kuru hazırlama yöntemine Uygun olarak hazırlanan deney örneklerinin No.40 (0.425 mm) elekten geçen kısmı ile deney Yapılmıştır.

Öncelikle, mevcut laboratuvar serisi, çeşitli kum ve bentonit oranlarında elek analizi ile elde edilen tane boyutu dağılımı ile başlamıştır. Atterberg limitleri, laboratuvar serisinde tane boyutunu tanımladıktan sonra ikinci sırada gelmekte ve Laboratuvarda likit limiti Casagrande yöntemle, plastik limiti ve büzülme limitini belirlendi.

Atterberg limit testinin belirlenmesinden sonra özgül ağırlık testi, piknometre yöntemi kullanılarak oluşturulan serinin üçüncüsüdür ve Son olarak, tabakalı ve kompozit zeminler durumunda düşen seviyeli permeabilite yöntemi testi kullanılarak zeminlerin geçirgenliği tartışılacaktır.

4.1 Zeminlerin Deney Amaçları İçin Gruplandırılma:

"Bu standarddaki deney amaçları için zeminler, aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- İnce daneli: İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 2 mm (veya eşdeğer) elekten geçen zeminler.
- Orta daneli: İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 20 mm (veya eşdeğer) elekten geçen zeminler.
- İri daneli: İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 40 mm (veya eşdeğeri) elekten geçen zeminler.

Yukarıdaki tarifler göz önünde tutularak yapılan bir gruplandırmada, herhangi bir zemin, özelliklerini sağladığı en ince daneli gruba sokulmalıdır. Bu standarddaki deneylerden, elek analizi ve plâstisite deneyleri dışındakiler, 40

mm'lik elekte kütlege kalan oranı % 10 ve daha fazla olan zeminlere uygulanmaz. Bu tür zeminler için TS 706 EN 12620 standardı uygulanır. numune, TS 1901'e göre alındıktan sonra zeminin ince daneli, orta daneli ve iri daneli gruptan hangisine girdiğine karar verilmesi gerekir" (Türk standard, Mart 2006).

4.2 Geçirgenlik Deneyi

4.2.1 Geçirgenlik katsayısının belirlenmesi.

Geçirgenlik katsayısı Laboratuvarda sabit ve düşen seviyesiyle alan ise dışarı ve içeri pompalama yöntemleri belirlenebilir. Suyun Zemin numunesine sabit seviyeli altında veya değişken seviyeli altında akmasına izin vererek, laboratuvarda permeametreler yardımıyla direkt ölçüm yapılarak geçirgenlik belirlenebilir. Ancak endirekt yöntemiyle da hesaplanabilir.

Endirekt yöntemler:

- tane boyutundan veya belirli bir yüzeyden hesaplama.
- yatay kılcallık testi.
- konsolidasyon testi verisi.

Geçirgenlik (hidrolik iletkenlik), yerinde testler yapılarak sondaj deliklerinde veya dikey boru piezometrelerinde hesaplanabilir. Test yöntemi, değişken basınç (yükselme veya düşme) veya sabit seviyeli prosedürlerini içerir ve yeraltı suyu seviyesi uzmanlığını içerir. Yapılan testin türü, zeminin türüne bağlıdır ve genellikle orta derecede geçirgen Zeminlerde değişken bir seviye testi ile ve daha az geçirgen Zeminda sabit bir seviye testi ile yapılacaktır. Su doğrudan toprak içinden (veya dışından) akabilir veya gerekirse sondaj deliğinin bütünlüğünü ve su seviyesini sağlamak için çakılla çevrelenmiş delikli bir boru monte edilebilir, su borudan ölçülebilir.

Test, yer altı suyu seviyesinin altındaki, yani doymuş zemindeki toprağın geçirgenliğini (k) ölçer ve yerinde gerçekleştirildiği için laboratuvarda belirlenenden daha güvenilir bir sonuç sağlar. Testin uygulanması ve sonuçların yorumlanması, çeşitli test tekniklerinin deneyimini ve saha zemin koşulları hakkında bilgi sahibi olmayı gerektirir.

Geçirgenlik suyunun şu anda doymuş zeminlere geçirgenlik hakkında daha fazla bilgi atabileceğini iddia edebiliriz. Daha fazla geçirgenlik, suların zemin boşluklarını daha hızlı hareket ettirebildiğini ve geçirgenlik katsayısının (k) geçirgenliğini ifade eden parametredir. Geçirgenlik katsayısı (k), laboratuvarında sabit seviyeli testi veya düşen seviye deneyleri kullanılarak ölçülür. Killi zeminler gibi daha ince taneli zeminlere sahip zeminler tipik olarak en düşük geçirgenliğe sahiptir. Terzagi ve Pak (1976) zeminleri geçirgenliklerine göre şu şekilde sınıflandırır:

Çizelge 4.1:Geçirgenlik sınıflandırması

Yüksek geçirgenlik	$K > 0,1 \text{ cm / s}$
Orta geçirgenlik	$0,1 > K > 0,001 \text{ cm / s}$
Düşük geçirgenlik	$0,001 > K > 10^{-5} \text{ cm / s}$
Çok düşük geçirgenlik	$10^{-5} > K > 10^{-7} \text{ cm / s}$
Pratik olarak geçirgen	$K < 10^{-7} \text{ cm / s}$

$$(K_{eq})_n = \frac{\sum_{i=1}^n L_i k_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{L_i}{k_i}\right)} \quad (1)$$

$$(K_{eq})_p = \frac{\sum_{i=1}^n L_i k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (2)$$

İki basit durum aşağıdaki gibidir:

- Akış, zemin tabakasına normaldir.
- Akış, zemin tabakasına paraleldir.

Her iki durumda da eşdeğer geçirgenlik katsayısı, Darcy yasasının geçerli olduğu varsayılarak hesaplanır. L_1, L_2, \dots, L_n tek tek katmanların kalınlıklarını temsil ediyorsa ve k_1, k_2, \dots, k_n karşılık gelen geçirgenlik katsayıları ise, daha sonra $(K_{eq})_n$ ile tabakalanma düzlemine dik, $(k_{eq})_n$ ve tabaka düzlemine paralel $(k_{eq})_p$ eşdeğer geçirgenlik katsayıları elde edilir.

Homojen zemin birikintilerinin geçirgenlik özelliklerinin boşluk oranı ve zemin tipi fonksiyonları olduğu kabul edilmektedir. Tabakalı çökeltilerin (yani tabakalı sistemler) geçirgenlik özellikleri, özellikle akış yatak düzlemine normal olduğunda, olasılıkla daha da karmaşık hale gelebilir. Farklı katmanlardaki zeminler arasında karşılıklı etkileşim ve bunların tortudaki göreceli konumları.

4.2.2 Katmanlı toprağın etkili geçirgenlik katsayısı.

Yatay yönde akış (katmanlara paralel)

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \dots + q_n \quad (3)$$

Yatay akış için, aynı yol uzunluğu L üzerindeki seviye düşüşü HL, her katman için aynı olacaktır,

Dolayısıyla, $i_1 = i_2 = i_3 = i_4 = i_n$ vs.

$$K = K_1 L_1 B H_1 + K_2 L_2 B H_2 + K_3 L_3 B H_3 + \dots \quad (4)$$

$$K_{eq} = \frac{K_1 H_1 + K_2 H_2 + \dots + K_n H_n}{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)} \quad (5)$$

$$K_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i H_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \quad (6)$$

K_{eq} = eşdeğer geçirgenlik katsayısı

Dikey yönde akış (katmanlara dik)

Dikey akış için, her katmanın 'A' alanı boyunca 'q' akış hızı aynıdır, bu nedenle bir dizi katman boyunca kafa düşüşü aşağıdaki gibidir:

$$iH = i_1 H_1 + i_2 H_2 + \dots + i_n H_n \quad (7)$$

$$\frac{K}{K_v} H = \frac{V}{K_1} H_1 + \frac{V}{K_2} H_2 + \dots + \frac{V}{K_n} H_n \quad (8)$$

$$\frac{K}{K_v} H = \frac{V}{K_1} H_1 + \frac{V}{K_2} H_2 + \dots + \frac{V}{K_n} H_n \quad (9)$$

$$K_{eq} = \frac{H_1 + H_2 + \dots + H_n}{\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots + \frac{H_n}{K_n}} \quad (10)$$

$$K_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^n H_i}{\sum_{i=1}^n \frac{H_i}{K_i}} \quad (11)$$

Tabakalı zeminle ilgili ana noktalar:

$K_h \neq K_v$

Zemin birikintilerinin geçirgenliğinin her yönde aynı olmadığı durumlarda özelliklerin anizotropik olduğunu belirtiyoruz. Özellikler her yönden benzer ise, özelliklerin izotropik olduğunu belirtiyoruz. $K_h > K_v$ ve $\alpha_k < \alpha_v$

4.3 Sabit Seviyeli Permeabilite Deneyi

Bu test yöntemi, (k) taneli zeminlerden laminer su akışı için sabit seviyeli yöntemi vasıtasıyla geçirgenlik katsayısının hesaplanmasını içerir. Tekniğin amacı, doğal birikintilerde dolgulara veya kaldırımların altına kaba temel olarak konulduğunda oluşabilecek taneli zeminlerin geçirgenlik katsayısının (k) temsili değerlerine karar vermektir. Test sırasında konsolidasyon etkilerini sınırlamak için, bu prosedür No. 200 (75 m) elekten geçen%10'dan fazla olmayan zemin içeren bozulmuş taneli zeminlerle sınırlıdır dolayısıyla D 2434-68 ve TS 1900-1'e göre "1996 Yıllık ASTM Standartları Kitabı'ndan izin alınarak özetlenmiştir.

Test sırasında zemin hacminde değişiklik olmadan akışın sabit tutulması gerekiyor ancak su ile doymuş zemin boşlukları ile akış ve zemin boşluklarında hava kabarcığı kalmaz. Akış, hidrolik eğimlerde değişiklik olmaksızın kararlı durumda ancak türbülanslı akış başladığında belirli değerlerin altındaki hidrolik gradyanlarla akış hızı doğru orantılıdır. Zemin boşluklarının kısmi doygunluğunu, türbülanslı akışı ve durağan olmayan akış durumunu içeren diğer tüm akış türleri, karakter olarak geçicidir. Değişken ve zamana bağlı geçirgenlik katsayılarını verir; bu nedenle özel test koşulları ve prosedürleri gerektirirler.

Permeametreler- minimum çapları maksimum partikül boyutunun 8 veya 12 katı olan numune silindirleri. Zemin numuneden daha büyük bir geçirgenliğe sahip, bu yüzden zemin, parçacıkların hareketini engelleyecek kadar küçük açıklıklara sahip gözenekli bir disk ile donatılmalıdır. Permeametre, en az silindir çapına eşit bir uzunluktaki h, seviye kaybını ölçmek için manometre çıkışlarıyla donatılmalıdır.

Prosedür olarak 200 numaralı elekten geçen malzemenin %10'undan daha azını içeren hava ile kurutulmuş taneli toprağın temsili bir örneği, test sıcaklığındaki suyun viskozitesinin 20oC'deki (68oF) viskoziteye oranı ile k'yi çarparak geçirgenliği 20o C (68oF) düzeltin.

İlk test için su tankından giriş değerini stabil bir seviye oluşana kadar biraz açın ve manometre seviyelerinde değişiklik olmayana kadar suyun numuneden akmasına izin verin. Önceden belirlenmiş bir miktar su (Q) için numuneden akmak üzere geçen süreyi (t) ve su seviyesini ölçün ve kaydedin, h (manometre

okumaları arasındaki fark). Testi farklı bir seviye değeriyle tekrarlayın ve testin daha iyi sonuç vermesi için en az beş kez çalıştırılması gerekir.

Geçirgenlik katsayısını, k aşağıdaki gibi hesaplayın:

$$K = QL Ath \quad (12)$$

k = geçirgenlik katsayısı, Q = boşaltılan su miktarı

L = manometre açıklıkları arasındaki mesafe,

A = numunenin kesit alanı,

t = Q miktarını toplamak için toplam süre,

h = manometrelerde seviye farkı.

4.4 Düşen Seviyeli Permeabilite Test Yöntemi

İri taneli zemin için, sabit seviye geçirgenlik testi yalnızca belirli bir zamanda uygun bir deşarj toplanabildiğinde kullanılır. Bununla birlikte, tahliyenin küçük olduğu yerlerde, düşme yüksekliği testi nispeten daha az geçirgen zeminler için kullanılır. Şekil 4,3,1 düşen seviyeli test düzenlemesinin şematik temsilini gösterir.

Bu testte su, düşen bir seviye basıncı ile bilinen boyutlardaki bir zemin numunesine itilir ve akış hızı belirlenir. Bu deney, nispeten ince taneli zeminlerin drenaj özelliklerini değerlendirmek için kullanılır ve tipik olarak bozulmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilir.

Bu testte su, düşen bir seviye basıncı ile bilinen boyutlardaki bir zemin numunesi içinden geçmeye zorlanır ve akış hızı belirlenir. Bu deney, nispeten ince taneli zeminlerin drenaj özelliklerini belirlemek için kullanılır ve genellikle bozulmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilir. Bu test, küçük değişikliklerle daha önceki bir konsolidasyon testiyle aynı aparatı kullanır.

4.4.1 Ekipman kalibrasyonu

Testten önce, gözenekli taşlar ve boru sistemi dahil tüm sistem doyurulmalıdır. Bu, sisteme su itilerek ve aparatın sadece numune yerleştirilmeden önce bir süre su ile dolu kalmasına izin verilerek elde edilebilir. Dikey borunun kesit alanı bilinmiyorsa ölçülmelidir. Bu, bilinen bir tüp hacminde bulunan damıtılmış su

miktarı tartılarak elde edilir. Suyun gram cinsinden kütlesi mL cinsinden hacme eşittir. Alan ve çap bu tahminlerden kolaylıkla belirlenebilir.

4.4.2 Numunenin hazırlanması:

Zemin numuneleri laboratuvarında 10cm çapında 14,13 cm uzunluğunda pirinç borularda veya numunelerin kırılacağı daha büyük kaplarda elde edilir. Nispeten ince duvarlı ve esnek tüpleri olması sebebiyle içindeki zeminin deforme olmaması için onlara dikkatli davranın.

3000 gr temsili zemin alın ve gerekirse OMC elde etmek için suyla karıştırın ancak hem karışık hem de normal numune için numune 24 saat içinde fırına atılmalıdır. Dinamik sıkıştırma için permeametreyi kurun, kalıbın içini gresleyin ve baş aşağı dinamik sıkıştırma tabanına yerleştirin, Düzeneği bir gm (w) olarak doğru tartın ve yakayı diğer uca koyun.

Şimdi, ıslak toprağı 2,6 kg dinamik bir aletle, katman başına 25 vuruşla üç katman halinde sıkıştırıp daha sonra yakayı çıkarın ve fazlalığı kesin, kalıbın ve toprağın montajını tartın. Zemin numunesinin üstüne, filtre kağıdını veya ince tel ağı yerleştirin ve delikli taban plakasını bunun üzerine sabitleyin, numuneyi teste hazırlamak için düzeneği ters çevirip sıkıştırma plakasını çıkarın. Sızdırmazlık contasını yerleştirin ve üstteki delikli plakayı zemin numunesinin üstüne yerleştirin ve üst kapağı sabitleyin.

4.4.3 Test prosedüre

Yukarıda belirlenen zemin numuneyi hazırladıktan sonra numuneyi tercihen Deaired su kullanarak doyurun. Permeametreyi (Permeametre 1000 ml kapasiteli, 0,1 mm'lik paslanmaz malzemededen imal edilmiştir) alt tanka monte edin ve tankı suyla doldurun. Kalıbın giriş nozulunu, stand borusuna bağlayın ve sabit akış elde edilene kadar suyun akmasına izin verin. Dikey boru "h" de düşme için zaman aralığını "t" not ederek aynı seviye için "t" yi belirlemek için 5. adımı üç kez tekrarlayın.

4.4.4 Hesaplamalar

Aşağıdaki formülden geçirgenlik katsayısını hesaplayın:

$$K = 2.3 (aL / At) \log_{10} (h_1 / h_2) \text{ Burada:} \quad (13)$$

K = geçirgenlik katsayısı.

a = dikey borunun enine kesit alanı.

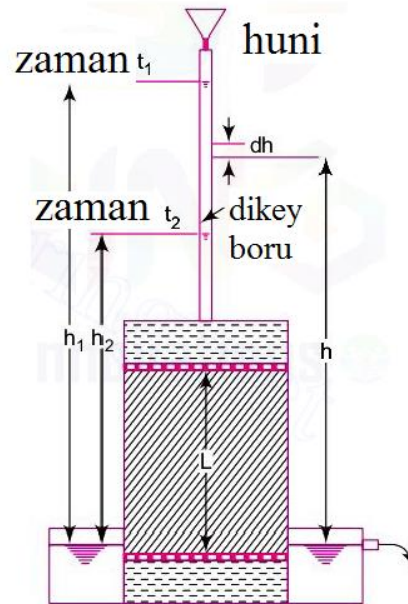
L = yük artışı için numunenin ortalama yüksekliği.

A = numunenin kesit alanı. t = geçen zaman artışı.

h_1 = milimetre cinsinden zaman artışının başlangıcındaki su yüksekliği.

h_2 = milimetre cinsinden zaman artışının sonunda su yüksekliği.

Gerekli eşlik eden veriler (1) sondaj, numune ve tüp numaralarını, (2) zemin tanımını, (3) başlangıç ve son su içeriğini ve (4) kuru zemin kütlesini içermelidir. Test sırasında zeminde hacim kayması olmamalı, zemin boşluklarında sıkıştırılabilir hava bulunmamalıdır, yani zemin tamamen doymuş olmalıdır. Akış, kararlı bir durumda laminer ve koşullu olmalı ve Geçirgenlik katsayısı (k), Geçirgenlik katsayısı, toprağın drenaj niteliklerini değerlendirmek ve zemin yatağındaki oturma oranını tahmin etmek için kullanılır.



Şekil 4.1: Düşen seviyeli permeabilite cihazı

Kaynak: (Pradhikaran,2012)

Düşen Seviyeli Permeabilite Deney Seti, killi veya siltli ince taneli toprakların, su akışına maruz kalmaları halinde, gösterecekleri davranış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılır. Ahşap Stand üzerinde, her biri 1500 mm

uzunluğunda iç çapları sırayla yaklaşık 21 mm,12 mm, 5 mm, 3.5 mm olan 4 adet Cam Manometre Tüpü bulunmaktadır. Her bir tüp bağlantı valfidir.

- Geçirgenlik büyüklükleri:
 - Yüksek geçirgenlik: $k > 10^{-1}$ cm / sn
 - Orta geçirgenlik: $k \approx 10^{-1}$ cm / saniye
 - Düşük geçirgenlik: $k < 10^{-1}$ cm / sn
- Farklı zemin türleri için genel geçirgenlik değerleri aşağıda verilmiştir:
 - Çakıl: 10-2 ila 1 cm / sn
 - Kum: 1 ila 10-3 cm / sn
 - Silt: 10-3 ila 10-6 cm / sn
 - Kil: 10-6 cm / saniyeden az
 - Uçucu Kül: 1×10^{-4} ila 5×10^{-4} cm / sn

Yüksek geçirgenlik değeri 0.1'den büyük olan topraklar çakıllı topraklara aittir, orta geçirgenlik değeri 0.1'e eşittir ve son olarak düşük geçirgenlik değeri 0.1'den küçük olan topraklar silt, kum ve kile aittir.

5. ZEMİNİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ:

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kullanılan zemin numunelerinin bazı fiziksel özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin sonuçları verilecektir. Tez kapsamında farklı büyüklükte 2 farklı zemin numuneyi kullanılmıştır. Her bir zemin numunesi için yapılan tüm deneyler ayrı ayrı ve sırayla sunulmuştur. Bentonit kili, ince, yumuşak bir dokuya sahip doğal bir kildir. Su ile karıştırıldığında bir macun oluşturur.



Şekil 5.1: Bentonit numune örneği



Şekil 5.2: Kum numune örneği

5.1 Tane Büyüklüğü Dağılımı

Zemin örneklerinin tane boyutu dağılım testleri, Zeminlerin Birleşik Toprak Sınıflandırma Sistemine (MIT) göre sınıflandırmak ve her bir zemin için tane boyutu dağılım indekslerini belirlemek için kullanılmıştır.

Çizelge 5.1:İri ve ince tane boyutlar (Va, 2014)

Zemin		Dane çapı, D (mm)	Dane Boyut sınıfı
KİL		<0.002	
SİLT	İnce	0.002-0.006	İNCE DANELER
	Orta	0.006-0.02	
	Kaba	0.02-0.06	
KUM	İnce	0.06-0.2	İRİ DANELER
	Orta	0.2-0.6	
	Kaba	0.6-2.0	
ÇAKIL	İnce	2.0	
	Orta	6.0-20	
	Kaba	20—60	
	TAŞ	>60	

5.1.1 Elek analizine göre tane büyüklüğü dağılımı.

Eleme, en büyük açıklığın en üstte, en küçük açıklığın ise en altta olması için farklı eleklerin birbiri üzerine yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir ve Tüm kurulumun alt kısmında bir tutucu ve üstüne bir kapak konur.

Numuneyi hazırlamadan önce 24 saate kadar fırında tamamen suyunu bırakır, tüm elekler teste başlamadan yıkanır. Bu numune, elek üzerinde artık bentonit kil ve kum parçacıkları kalmayacak şekilde 200 No'lu Elek'te yıkanmıştır. Bir kapta, kurutulmuş iri toprağın eleklerle konulmasından sonra elekte üzerinde kalan bentonite veya kum toplanır kurmak için 24 saat kadar fırına konularak dolayısıyla Kurutulan iri toprak eleklerle konularak elekler Türk Standart koduna göre dizilmiştir.

Ağırlıklı zemin numunesi:

%100 kum için 200 g

(%20 bentonit +%80 kum)250g

(%30 bentonit +%70kum)250 g

(%40 bentonit +%60kum)250 g

Zemin üst elekten geçirilir ve zemin parçacıklarının farklı eleklerden geçmesine izin vermek için yeterli sallama yapılır. Elekleri 10 dakika salladık, ardından her bir elekte kalan ağırlık zeminden çıkarıldı ve Alternatif olarak elekleri elle de bir dakika sallayabiliriz.

Eleme yapmak için 4.75mm, 2mm, 1.19mm, 0.6mm, 0.425mm, 0.3mm, 0.15, 0.075mm elekler kullanılmıştır. Elek analizinin sonuçları, elek boyutuna karşı geçen yüzde grafiğine yerleştirilir. Grafikteki elek boyutu ölçeği logaritmiktir. Her bir elekten geçen toplam geçiş yüzdesini bulmak için her bir elekte tutulan yüzde bulunur.

Bundan sonra, bir elekte tutulan kümülatif agrega yüzdesi bulunur ancak bunu yapmak için, her bir elekte tutulan toplam agrega miktarı ile bir önceki elekte kalan miktar toplanır. Toplamın kümülatif geçiş yüzdesi, tutulan yüzdeyi %100'den çıkararak bulunur. Daha sonra değerler, y ekseninden geçen kümülatif yüzde ve x ekseninde logaritmik elek boyutu ile bir grafik üzerine çizilir.

Her bir elekte depolanan zemin kütlelerini elde edin ve bu kütleleri, tutulan ağırlık olarak veri sayfasına bildirin. Korunan tüm kütlelerin toplamı, toprağın orijinal numune kütlelerine tam olarak eşit olmalıdır ve Her elekte kalan ağırlığı orijinal numune kütlelerine bölerek her bir elekte kalan yüzdeyi belirleyin, %2'den fazla kayıp tatmin edici değildir.

Yüzde 100 ile başlayıp çıkarılarak geçen yüzdeyi hesaplayıp her bir elekte tutulan ağırlığı orijinal numune kütlelerine bölerek, her bir elekte tutulan yüzdeyi belirleyin. Kümülatif prosedür olarak her bir elekte tutulan yüzde. Yüzde 100 ile başlayarak ve kümülatif bir prosedür olarak her elekte kalan yüzdeyi çıkararak geçen yüzdeyi hesaplayın.

Örneğin: Toplam kütle = 60,5 g 16 numaralı elekte tutulan kütle = 1 g

30 numaralı elekte tutulan kütle = 10,2 g 16 numaralı elek için

Elde kalan yüzde şu şekilde hesaplanır; % tutulan = Tutulan kütle / Toplam kütle

$$= (1 / 60,5) \times 100 = \%1,65$$

Bundan, geçen% = 100- 1,9 = %98,35

30 numaralı elek için:

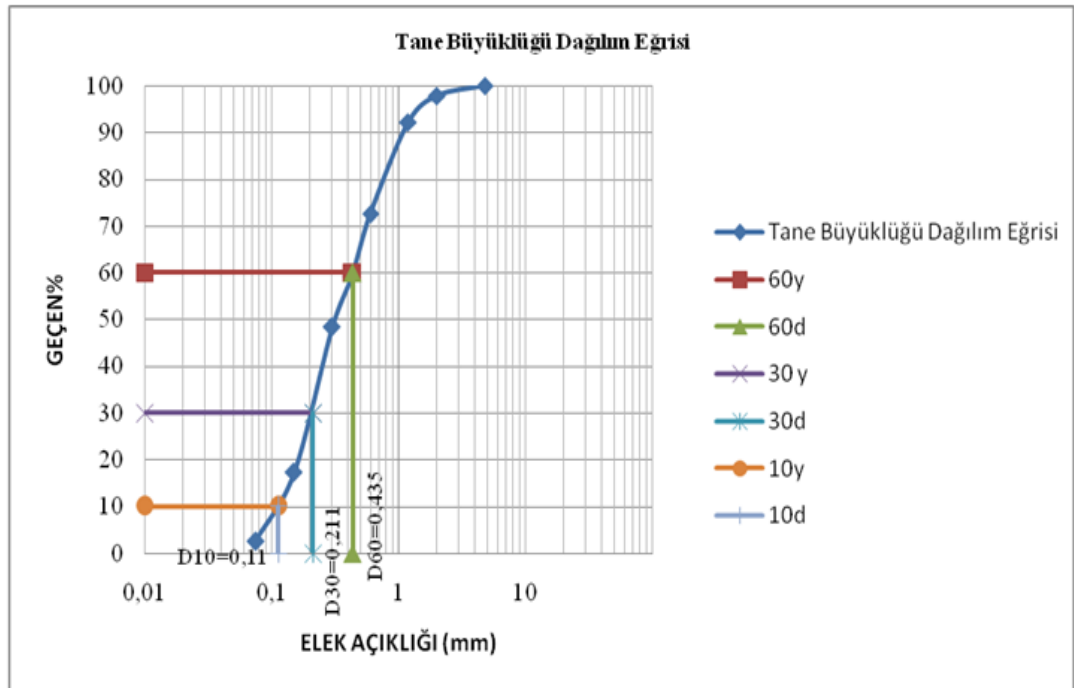
$$\% \text{ Tutulan} = (10,2 / 60,5) \times 100 = \%16,86 \quad \% \text{ Geçen} = 96,75- 16,86 = 79,89\%$$

Zemin için Cc ve Cu hesaplayın.

Elek analizinin grafiksel logaritmik grafiğini çizdikten sonra, tane boyutu dağılımında%10 daha ince olan D10 = Çap, D30 = Tanede%30 daha inceye karşılık gelen çap, D60 = Tane boyutu dağılımında%60 daha inceye karşılık gelen çap bulunmalıdır., Cu = Tekdüzelik Katsayısı (ASTM D2487, Ts-1900) = D60 / D10 =...

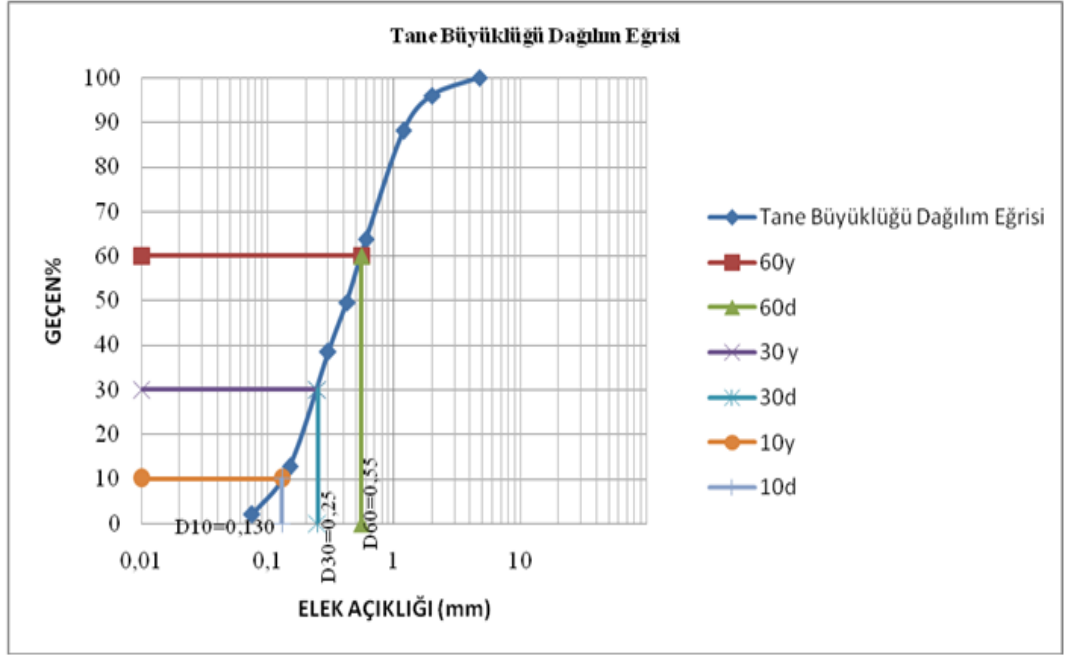
Cc = Gradasyon Katsayısı = Eğrilik Katsayısı (ASTM D2487) = (D30) 2 / (D60xD10), Son olarak grafikten, yükselen grafiklerde gösterildiği gibi bahsedin.

Kalan her bir elek üzerinde ağırlık toplandıktan sonra ilk ağırlıktan tam bir ağırlık kaybı olmuştur. Bunun nedeni, bu kayba neden olan eleklerde sıkışıp kalan parçaların hayatta kalmasıdır. İşe başlamadan önce, tüm elekler boşken tartılır ve üzerinde kalanlar zeminle beraber tartılır ve hata oranını en aza indirmek için ağırlık farkından kalan toprağın ağırlığını bulunur.



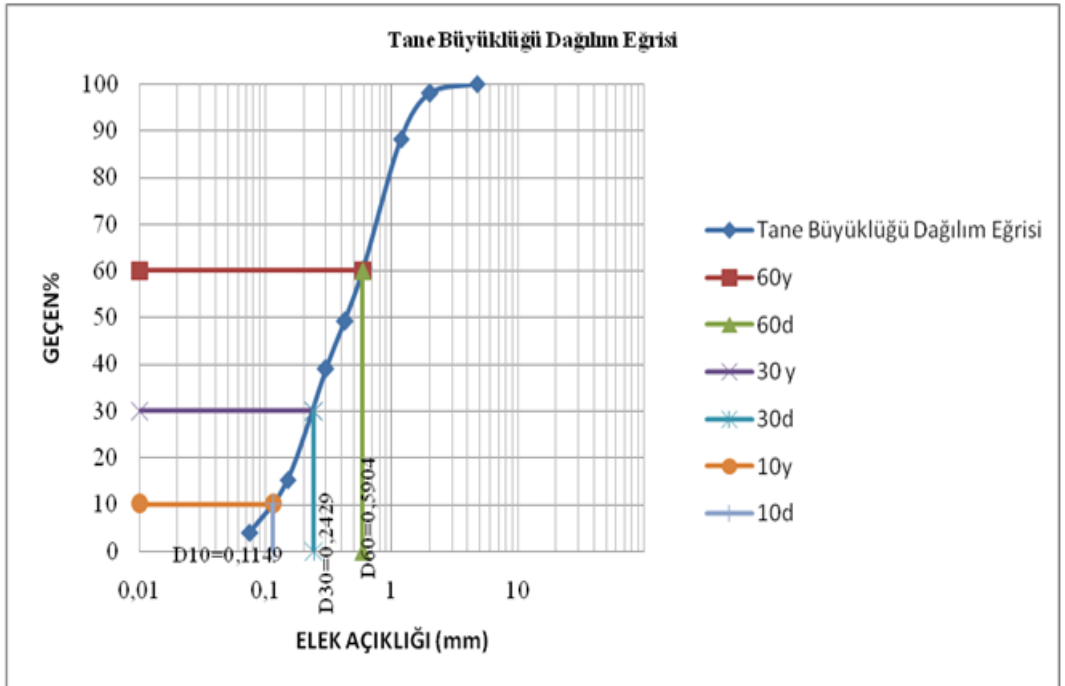
Şekil 5.3: Tane büyüklüğü dağılım %100 kum için

D10 = 0,113007 D60= 0,43545 D30 = 0,21125 Cu= 3,22 CC=0,825



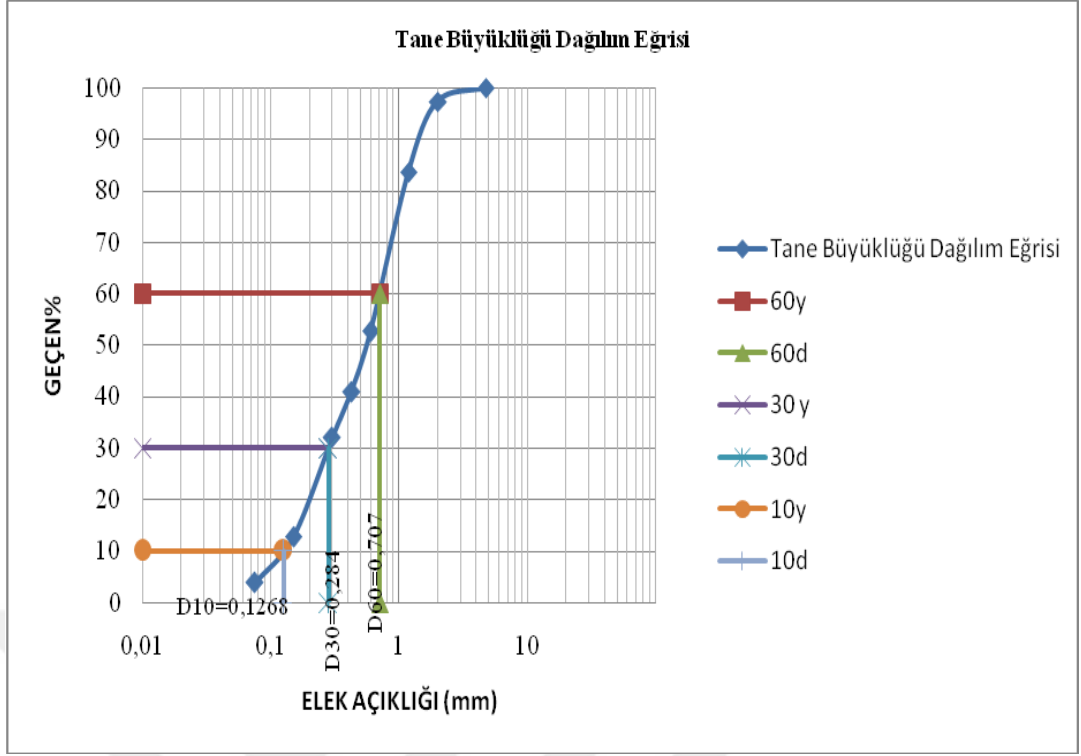
Şekil 5.4: Tane büyüklüğü dağılım %80 kum ve %20 bentonite

D10 = 0,13056 D60= 0,555 D30 = 0,25078 Cu= 3,928 CC=0,982



Şekil 5.5: Tane büyüklüğü dağılım %70kum ve %30bentonite

D10 = 0,11495 D60= 0,59048 D30 = 0,24294 Cu= 4,545 CC= 1,223



Şekil 5.6: Tane büyüklüğü dağılım %60 kum ve%40 bentonite

D10 = 0,12681 D60 = 0,7072 D30 = 0,28404 Cu = 4,85 CC = 0,94

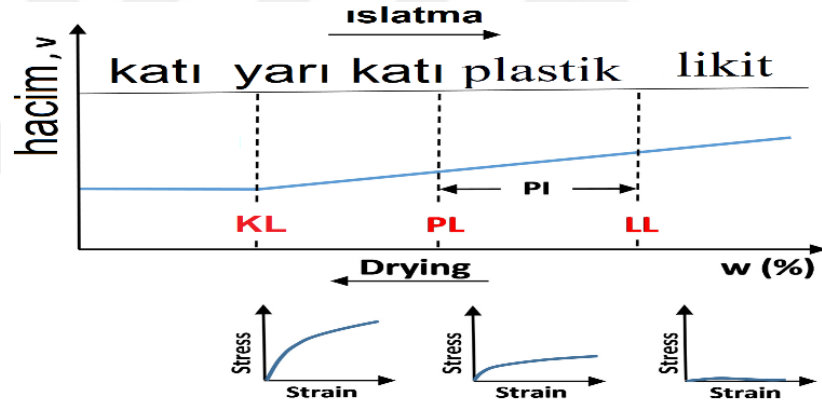
Çizelge 5.2: Elek analizi test sonuçları.

ORANLAR	D60	D30	D10	CU	CC
% 100 kum	0,43545	0,21125	0,113007	3,22	, 825
% 80 kum +% 20 bentonit	0,555	0,25078	0,13056	3,928	, 982
% 70 kum +% 30 bentonit	0,59048	0,24294	0,11495	4,545	1,223
% 60 kum +% 40 bentonit	0,7072	0,28404	0,12681	4,85	0,945

5.2 Likit limit

Likit limit deneyi zeminler hakkında sınıflama üzerinde yorum yapılabilen bir yöntemdir. Killi bir toprağın kıvamı ve davranışı, değişen derecelerde nem içeriğindeki mühendislik özellikleri gibi farklıdır. Böylece kilin davranışındaki değişime bağlı olarak her bir durum arasındaki sınırı belirlemek mümkündür. İnce taneli toprakların sınıflandırılması için toprak kıvamının sınırlarını ilk tanımlayan kişi İsveçli bilim adamı Albert Atterberg'di ve daha sonra Arthur Casagrande bunları mükemmelleştirdi. Zeminlerin farklı su içeriklerinde gösterdikleri bu davranışlar “kıvam” olarak adlandırılır. Kıvam limitleri ilk kez

Ziraatçı bilim adamı İsveç'li A. "Atterberg tarafından 5 farklı sınır su muhtevası olarak tanımlanmıştır. Bu beş yöntemi sıralamak gerekirse: kohezyon limiti, yapışma limiti, büzülme limiti, plastik limit ve likit limit olarak belirtilebilir. Günümüzde bunlardan sadece büzülme limiti, plastik limit ve likit limit olmak üzere üç tanesi zemin mekaniği uygulamalarında yer alarak çeşitli ulusal standartlara dahil edilmiştir. Bu kıvam limitlerini hacim (V) – su içeriği (w) ilişkisi ile açıklamak mümkündür. Belli bir kap içerisinde likit durumda bulunan bir zemin tedricen kurutulursa doğal olarak su içeriği azalacaktır. Zemini kurutmaya devam ettikçe belli bir noktaya kadar su içeriğinin azalması ile birlikte hacminde de azalma olacaktır. Ancak bir noktadan sonra su içeriği azalmasına rağmen hacminin sabit kaldığı görülecektir (TABEY, 2019). Zemin, toprağın su içeriğine bağlı olarak dört koşuldan birinde olabilir: katı, yarı katı, plastik ve sıvı. Bu yöntemler, zeminlerin likit Limitini, Plastik Limitini ve Büzülme Limitini belirlemek için halen kullanılmaktadır. (Şekil 5.2.1)



Şekil 5.7: Atterberg Limitleri

Kaynak: (Va, 2014)

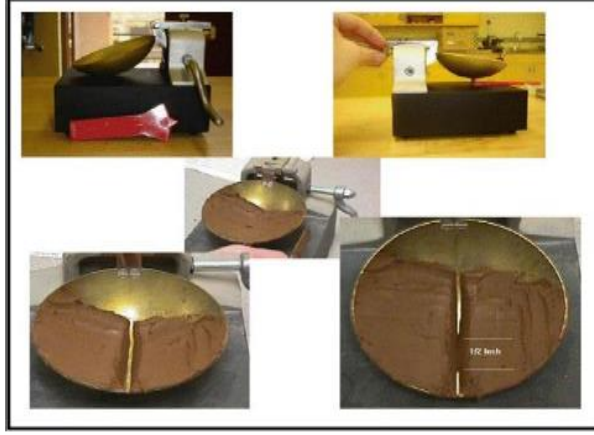
Casagrande cihazı uzun yıllar likit limitin belirlenmesi için kullanılan tek araç olmuştur. Günümüzde de halen birçok ülkede standart yöntem olarak uygulanmaktadır. Sonraki yıllarda ise İngilizler tarafından likit limitin belirlenmesi için tamamen farklı prensiplere sahip olan "koni batma cihazı" geliştirilmiştir. Koni batma yöntemi İngiliz standartlarına (BS 1377) geçerek, İngiltere'nin yanı sıra bazı Avrupa ülkelerinin standartlarında da 1. yöntem olarak yer almaktadır. BS 1377'de Casagrande yöntemi "yedek yöntem" olarak geçmektedir. Ülkemizin zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile ilgili standardı TS 1900'de İngiliz standardında (BS 1377) olduğu gibi koni batma

yöntemi “1.yöntem – önerilen yöntem”, Casagrande yöntemi ise “yedek yöntem” olarak yer almaktadır. Ancak ülkemizde çeşitli özel laboratuvarlarda ve DSİ, karayolları ve demiryolları gibi devlet kurumlarına ait laboratuvarların bazılarında Casagrande yöntemi uygulanırken, bazılarında da koni batma yöntemi uygulanmaktadır. Zeminlerin sıvılaşmasının ampirik olarak değerlendirilmesinde kullanılan parametrelerden birisi de likit limitidir. Zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde en önemli aşamalardan birisini numunenin hazırlanması oluşturmaktadır. Likit limit deneyi yapılacak olan numunenin içerisinde 0.425 mm’den daha büyük zemin tanelerinin olmaması gerekmektedir. Bunun için deneyden önce zemin numunesinin 0.425 mm (No.40) elekten elenmesi gerekmektedir (TABEY, 2019).

Büzülme limiti, daha fazla nem kaybının hacimde daha fazla azalmaya neden olmayacağı bir toprağın su içeriğini ölçen bir testtir. ASTM Standardı D4318veTS 1900 büzülme limitini değerlendirme testidir. Büzülme limitini kullanmak likit ve plastik sınırlarından çok daha az yaygındır.

Atterberg limitleri, ince taneli toprağın büzülme limiti, plastik limiti ve likit limiti gibi temel su kalitesinin temel ölçüsüdür. Grup, Zemin numunesinin sıvı limiti, plastik limiti ve plastisite indeksinin belirlenmesinde ASTM Standardı D4318veTS 1900 'e göre standart uygulama gerçekleştirdi

Bu testin zemin numunesinin likit limitini, plastik limitini ve plastisite indeksini aşağıda belirtilen şekilde belirlemek için TS 1900 ve ASTM D4318: Standart Test Yöntemleri kullanark, kabul edilebilir hata aralığı dahilinde laboratuvar eğitmeninin gerektirdiği bilgileri üretmek, deney sonuçlarını kullanarak numuneyi analiz etmek ve hemde Zemin Sınıflandırma Sistemine göre türünü değerlendirmek amacilidir.



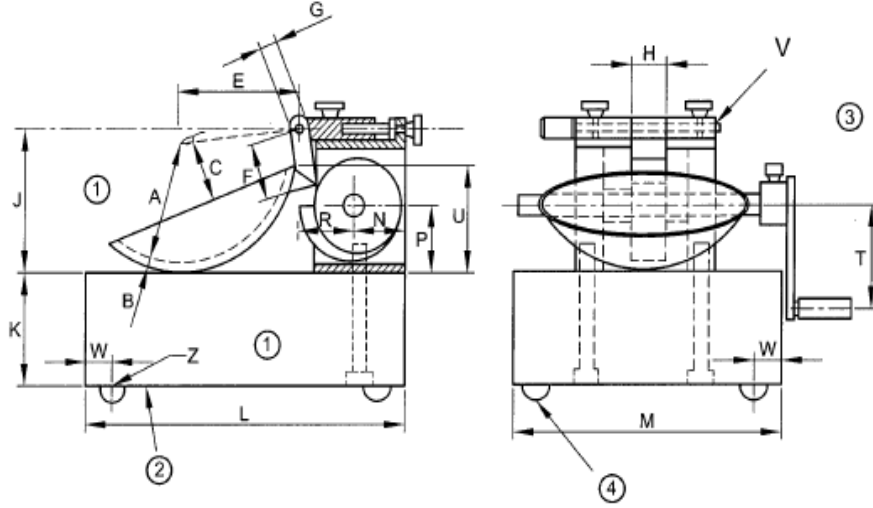
Şekil 5.8: Atterberg Limitleri

Kaynak: (Va, 2014)

Testte nem içeriğinin belirlenmesi için ekipman (0,01 g ağırlığında), zemin karıştırma ekipmanı (cam tabak, spatula, damıtılmış su), zamanlayıcı saati, Casagrande likit limit cihazı, Kanal açma aleti ve yükseklik ölçer ekipmanları kullanılır.

Tamamen kaldırıldığında, kabın alt tarafının yüksekliği, 10 mm'lik ölçü yalnızca bununla taban arasından geçebilecek şekilde olmalıdır. Bazı kanal açma ekipmanlarına doğru kalınlıkta bir blok entegre edilmiştir. Doğru düşme yüksekliğini korumak için kilitleme somunlarını değiştirmek gerekir.

Bardağın serbestçe düştüğünden, kaptan yan boşluk olmadığından, vidaların sıkı olduğundan, kap ve tabanın aşınmadığından ve üfleme sayacının doğru çalıştığından ve sıfıra ayarlandığından emin olmak için cihaz kontrol edilmelidir. Likit limit cihazının detayları ve fincan düşüşünün nasıl ayarlandığı Şekil 5.9'te gösterilmektedir. Kullanılan alete göre doğrulamak için, kanal açma aletinin boyutları önemlidir ve bir referans (kullanılmamış) alet mevcut olmalıdır. Kullanılmakta olan aletin ucu 3 mm genişliğe kadar aşındığında uygun boyutlarda yeniden zeminlenmelidir, tam olarak yükseltilmiş fincan, belirtilen yüksekliğe ayarlanmıştır.



Harf Gösterimi	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>E</u>	<u>F</u>	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>J</u>	<u>K</u>	<u>L</u>
Ölçü (mm)	$54 \pm 0,5$	$2 \pm 0,25$	$27 \pm 0,5$	56 ± 2	32	10	16	60 ± 1	50 ± 2	150 ± 2
Harf Gösterimi	<u>M</u>	<u>N</u>	<u>P</u>	<u>R</u>	<u>T</u>	<u>U</u>	<u>V</u>	<u>W</u>	<u>Z</u>	
Ölçü (mm)	125 ± 3	24	28	24	45	47 ± 1	3,8	13	6,5	

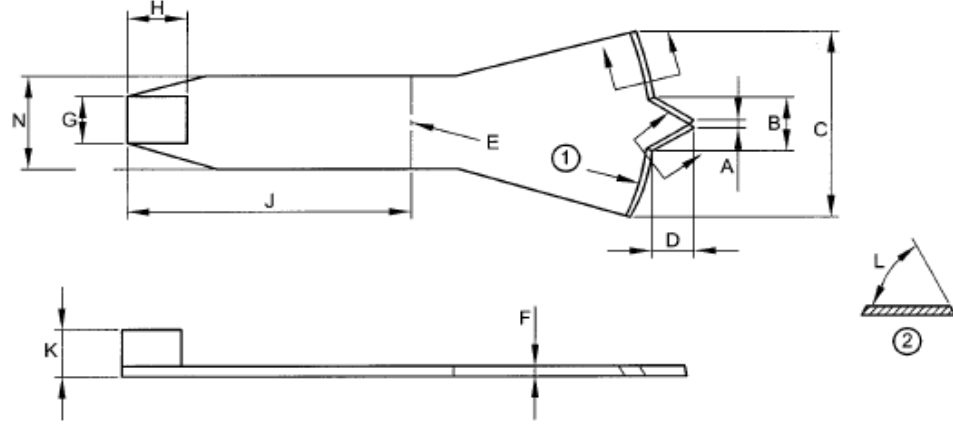
Şekil 5.9: Likit limitin kullanılan çarpmalı cihaz

Kaynak: (Türk Standardı, Mart 2006).

Açıklamalar

- Küresel yarıçap
- Sert lâstik taban
- Paslanmaz çelik veya pirinç pim
- Yumuşak lâstik ayak

Not - Zorunlu boyutların altı çizilmiştir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir.



Harf Gösterimi	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>	<u>F</u>
Ölçü (mm)	2 ± 0,15	11 ± 0,25	40 ± 0,5	8 ± 0,1	50 ± 0,5	1,6 ilâ 2,0
Harf Gösterimi	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>J</u>	<u>K</u>	<u>L</u>	<u>N</u>
Ölçü (mm)	> 10	13	60	10 ± 0,1	45° ilâ 60°	20

Şekil 5.10: Pirinç veya paslanmaz çelikten imal edilmiş oluk açma bacağı

Kaynak: (Türk Standardı, Mart 2006).

Açıklamalar

- Yarıçap
- Kesit

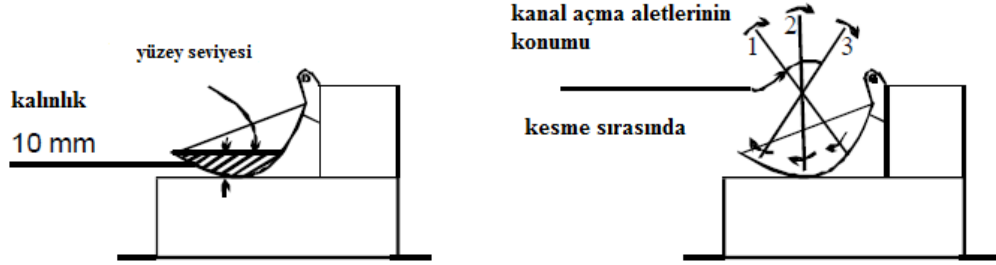
Not - Zorunlu boyutların altı çizilmiştir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir.

İki spatula kullanarak, yaklaşık 500 g hazırlanmış zemin (24 saatlik olgunlaşmadan sonra) gerekirse biraz damıtılmış suyla en az 10 dakika karıştırın. 500 gr'lık numune, numunenin karıştırılması için belirlenen çeşitli kum ve bentonit yüzdelerine bölünecektir. Bu aşamada ilk vuruş sayısı yaklaşık 50 vuruş ya da 50'den fazla olabilir hemde Plastik limiti testi gerekliyse, bu amaçla toprağın bir kısmını ayırmak uygundur.

Havanın hapsolmesini önlemeye dikkat ederek, fincan tabanda duracak şekilde toprağı fincana bastırın. Maksimum 10 mm kalınlık veren tabana paralel düz bir yüzey oluşturun (bkz. Şekil 5.10).

Menteşeden başlayarak ve aletin yivli kenarı hareket yönüne bakacak şekilde, oluk aracının sert bir darbesiyle numuneyi iki eşit parçaya bölerek pürüzsüz bir oluk oluşturun. Yiv açma aletinin ucu haznenin içini hafifçe kazımalı, ancak

sert bastırmayın ve Aleti kullanırken, daima yüzeyine normal olması için dairesel bir hareket uygulayın.



Şekil 5.11: (a) Casagrande pruvasına yerleştirilen (b): Oluk açma aletinin Zemin

Kaynak: (Türk Standardı, Mart 2006).

Kullanımı (Türk Standardı, Mart 2006).

Kolu saniyede iki tur hızla döndürmek için ikinci bir zamanlayıcı kullanın ve Yivin tabanı 13 mm'lik sürekli bir uzunluk boyunca kapandığında dönmeyi bırakın (yivaçma aletinin arkasını ölçü olarak kullanın). Darbe sayısını kaydedin.

Cam tabakta, karışımdan fincana biraz daha Zemin ekleyip fincanda karıştırın. İki ardışık çalışma aynı sayıda daha yakın vuruş verene kadar yukarıdaki (b) ile (d) aşamalarını tekrarlayın. Darbe sayısını kaydedin.

Temiz bir spatula ile kapalı boşluğa bitişik olarak yaklaşık 10 g Zeminden bir kısım çıkarın, tartılan kaba aktarın ve hemen kapağı kapatın. Kabın miktarını kaydedin ve nem içeriğini değerlendirin.

Yukarıda belirtilen (b) ile (f) adımlarını, suyu iyice karıştırarak, damıtılmış su ekledikten sonra tekrarlayın. Yaklaşık 10 ila 50 üfleme aralığında, en az iki tespit 25'ten fazla ve iki kez daha az 25'ten fazla dolayısıyla Zemin hamuruna kuru Zemin eklemeyin. Her zaman cam plaka üzerindeki toprağın kurummasını önleyin. Fincan ve oluk açma aleti yıkanır ve su ilavesi için fincandaki Zemin her çıkarıldığında kurutulur.

Nem içeriği belirlendikten sonra, her nem içeriği basılı test sayfası üzerindeki darbe miktarına göre grafiğe dökülür. Çizilen noktalardan en uygun çizgi çizilir ve Buna 'akış eğrisi' denir. 25 darbedeki ordinatın akış eğrisiyle kesiştiği yerden

hesaplandığı üzere, likit sınırı, 25 darbeye karşılık gelen yüzde nem içeriği olarak tanımlanır ve bu nem içeriği değerini en yakın yüzde 0,1'e kaydedin.

5.3 Plastik Limit Deneyi

Plastik limit, bir toprağın ince kısmının bir ipliğini düz, gözeneksiz bir yüzey üzerinde açmayı içeren bir testtir dolayısıyla ASTM Standardı D4318 ve TS 1900 prosedürü tanımlanmıştır. Zemin, davranışının plastik olduğu bir nem içeriğindeyse, bu iplik şeklini çok dar bir çapa kadar koruyacaktır. Daha sonra numune yeniden kalıplanabilir ve prosedür tekrarlanabilir. Buharlaşma nedeniyle nem içeriği düştüğü için iplik daha büyük çaplarda parçalanmaya başlayacaktır. Plastik limit, ipliğin 3,2 mm (yaklaşık 1/8 inç) çapında kırıldığı nem içeriği olarak tanımlanır. İplik mümkün olan herhangi bir nemde 3,2 mm'ye kadar açılmazsa, Zemin plastik olmayan kabul edilir.

Nem içeriğinin belirlenmesi için ekipman: (0,01 g ağırlığında) Zemin karıştırma ekipmanı (cam tabak, spatula, damıtılmış su), dişleri yuvarlamak için çiziksiz düz cam plaka ve 3 mm çapında ve yaklaşık 100 mm uzunluğunda bir çubuk uzunluğu teçhizatları olması gerekir.

Test numunesini hazırlamak ve olgunlaştırmak için ıslak veya kuru hazırlama prosedürünü kullanın veya önceden likit limit testinden ayrı olarak ayrılan numuneyi

Yaklaşık 20 gr Zemin alın ve parmaklarınıza yapışmadan bir top oluşturmak için yeterince plastik olana kadar nemini kaybetmesine izin verin. Parmaklar arasında bir top haline getirin ve yüzeyde hafif çatlaklar görünene kadar ellerin avuç içleri arasında yuvarlayın. Tutarlı bir nem dağılımını sağlamak ve yalnızca yüzeyin aşırı kurumasını önlemek için, test sırasında kalıplama ve yoğurma gereklidir.

Numuneyi yaklaşık olarak eşit iki parçaya bölün ve her bölüm için ayrı bir test yaparak İlk kısmı dört parçaya bölün.

Silindiri bir elinizin parmaklarının altında düz bir cam yüzey üzerinde yuvarlayın ve çapı yaklaşık 5 ila 10 arasında tam ileri ve geri hareketlerle yaklaşık 3 mm'ye indirmek için yeterli basınç uygulayın. 3 mm çapa

ulaştığınızda basıncı düşürmeyin ve Diş çapını değerlendirmek için 3 mm çapında metal bir çubuk kullanın.

Zemin ipliğini alın, daha fazla kalıplayın ve yukarıdakileri tekrarlayın. İplik 3 mm çapında hem uzunlamasına hem de enine kesilene kadar tekrarlayın ve Ufalama, zeminin yapısına bağlı olarak Şekil 5.12'da gösterilen formlardan birinden oluşabilir.

Ufalanma genellikle parmaklarla hissedilebilir, Çapı 3 mm'den büyük olsa bile ufalanma durumuna ulaşılmalıdır. 3 mm çapında düz iplikler (erişte gibi) oluşturulursa, zemin yeterince kuru değildir Şekil 5.12. İlk ufalanan nokta plastik sınırdır, bu noktanın ötesine reform yapmaya ve yuvarlanmaya devam etmeye çalışmayın.

Her ikisini de kesmek ve kırmak (Boyuna ve enine.)

Küçük parçalara ayırmak.

Dış boru şeklinde bir tabaka oluşturmak.

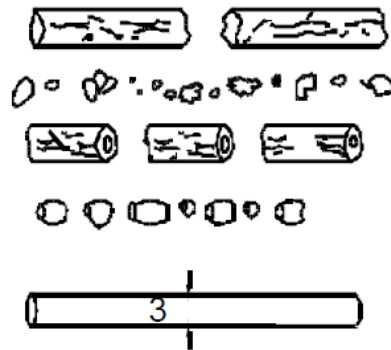
Her iki ucunda da bölünür.

Varil şeklindeki kırılma

Ağır kilin çapı 3 mm'ye ulaşana kadar

Önemli bir baskı gerekir.

Ufalanma yok- Zemin çok ıslak (erişte gibi).



Şekil 5.12: Plastik limitin ufalanma biçimleri

Kaynak: (Türk Standardı, Mart 2006).

Ufalanan zemini çabucak toplayın, küçük tartılmış bir kaba koyun ve kapağı hemen kapatın ve Yukarıdaki işlemi ikinci, üçüncü ve dört parça zemin üzerinde tekrarlayıp tüm parçaları aynı kaba koyun. Mümkün olan en kısa sürede tartın. İkinci kısımdan itibaren dört parça üzerinde aynı işlemleri yapmak, Parçaları ikinci bir kaba koyun ve tartın.

Numuneleri 1050C-1100C'de kurutun, nem içeriğini en yakın%0,1'e tartın ve miktarını belirleyin. Zemini başka bir bölümünde, iki değer için nem içeriği yüzde 0,5'ten fazla farklılık gösteriyorsa, tüm testi tekrarlayın, Aksi takdirde, plastik sınır iki değer ortalamasıdır ve Plastik limit hesaplanamıyorsa bu gerçek rapor edilmelidir.

Plastik limit, en yakın tam sayıya göre bildirilip, Numune ayrıntılarını, hazırlama yöntemini ve 425 mm elekten geçen malzeme yüzdesini vermek için test sayfası eksiksiz doldurulmalıdır dolayısıyla Test sayfası, test operatörü tarafından imzalanmalı ve tarih atılmalıdır.

5.4 Plastisite İndeksinin Belirlenmesi

Yöntem basit bir hesaplama ve zeminin likit ve plastik limitlerle hesaplanmasını gerektirir ancak Likit limitini değerlendirmek için Casagrande yöntemi kullanılmalıdır.

Bir zeminin plastisite indeksi, likit limit ile plastik limit arasındaki sayısal farktır:

$$PI = LL - PL$$

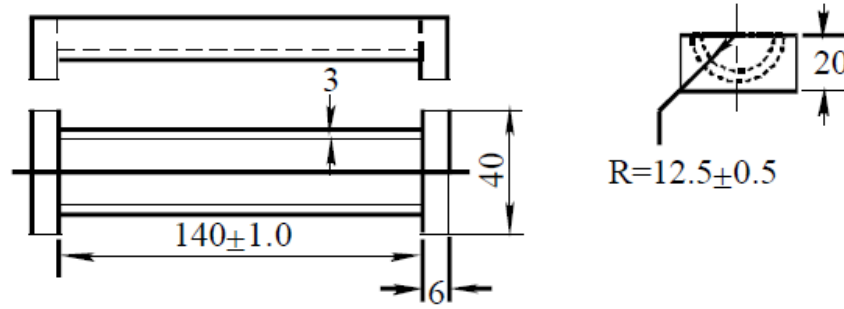
Plastisite indeksi, en yakın tam sayıya göre rapor edilir ancak İki özel durumu fark edebilirsiniz hem likit hem de plastik limitler belirlenemiyorsa (NP) zemin plastik olmayan olarak tanımlanır. Plastik limit hesaplanamadığı halde likit limiti hesaplanabildiğinde, zemin plastik dışı olarak rapor edilir ve Plastik limitin likit limitine eşit veya daha büyük olduğu tespit edilirse (bazı yüksek mikali zeminlerde olduğu gibi) numune plastik olmayan olarak da rapor edilir.

5.5 Doğrusal Büzülme Tayini

Bu testte 600C- 650C ve 1050C- 1100C'de çalışabilen bir kurutma fırını, zeminin karıştırma ekipmanı (cam tabak, spatula, damıtılmış su) ve c) 150 mm'ye kadar ölçüm yapan ve 0,1 mm'ye kadar okuma yapan sürmeli kumpaslar gerekli ekipmanlardır.

Alternatif olarak, 0,5 mm'ye kadar derecelendirilmiş bir çelik cetvel, Silikon gres veya petrol jeli, Buharlaştırma kabı (yaklaşık 150 mm \square) olması gerekiyor.

Pirinç veya diğer aşınmayan malzemelerden yapılmış kalıplar, İç yarıçapı $12,5 \pm 0,5$ mm ve 140 mm uzunluğunda yarım daire şeklinde olacak ve ayrıca zemin sınırlandırmaya hizmet eden destekler olarak kare uç parçalar eklenmiş olacaktır. (Şekil 5.14).



Şekil 5.13: Doğrusal büzülme testi için kalıp

Kaynak: (Türk Standardı, Mart 2006)

Kalıbı iyice temizleyin ve toprağın kalıba yapışmasını önlemek için iç yüzlerine ince bir silikon gres veya vazelin tabakası uygulayın daha sonra Islak veya kuru hazırlama yöntemini kullanarak test numunesini hazırlayın ve olgunlaştırın. Yassı cam tabağa veya buharlaştırma kabına yaklaşık 150 g'lık bir numune koyun.

Gerekirse damıtılmış su ilave edin ve kütle, zeminin likit limitleri civarında nem içeriği olan pürüzsüz, homojen bir macun haline gelene kadar palet bıçaklarıyla iyice karıştırın. Gerekli tutarlılık, Casagrande aparatının yaklaşık 25 darbesini gerektirecektir ama bu nem içeriği, birkaç yüzde içinde kritik değildir.

Zemin / su karışımını kalıbın kenarlarından hafifçe kalıba yerleştirip Kalıbı karışımdaki herhangi bir hava ceplerine yavaşça sallayın, Palet bıçağı ile kalıbın

üst kısmındaki kiri düzleştirin ve kalıbın kenarına yapışan tüm kiri nemli bir bezle silerek temizleyin.

Kalıbı, zemin kalıbın duvarlarından uzaklaşmaya kadar, cereyandan uzak bir konumda zeminin / suyun yavaşça kurumasını sağlayabilecek bir yere yerleştirin ve Daha sonra kurutmayı, ilk olarak büzülme büyük ölçüde kesilene kadar 65 ° C'yi aşmayan bir sıcaklıkta ve ardından kurutmayı tamamlamak için 1050 ° C ile 1100 ° C arasında tamamlayın.

Kalıbı ve zemini soğutun ve zemin çubuğunun ortalama uzunluğunu ölçün ayrıca numune kurutma sırasında kırılırsa, dikkatlice kalıptan çıkarın, üst ve alt yüzeylerin uzunluklarını ölçün. Bu iki uzunluğun ortalaması, fırında kurutulan numunenin uzunluğu olarak alınacaktır ancak bir numune, ölçümün zor olacağı kötü bir şekilde çatlarsa veya kırılırsa, test daha yavaş bir kuruma hızında tekrarlanmalıdır.

Zeminin doğrusal büzülmesini orijinal uzunluğunun yüzdesi olarak hesaplayın.

Denklemden örnek, LO (mm cinsinden):

$$\text{Doğrusal büzülme yüzdesi} = \{1 - L_d/L_o\} * 100 \quad (14)$$

LD, fırında kuruyan numunenin uzunluğudur (mm cinsinden).

Çizelge 5.3: 100% Bentonite İçin Hazırlanmış Likit Limit, Plastik Limit Ve Büzülme Limit Test Sonuçları Şekil Halinde Gösterildi.

LİKİT LİMİT						PLASTİK LİMİT				
Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Su	Vuruş	Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Plastik
Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Muhtevası (%)	Sayısı	Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Sınırı
A8	21,15	38,96	28,09	156,63	33	A7	23,49	29,97	27,76	51,76
B12	31,71	42,40	35,85	158,29	32	A4	22,75	31,77	28,80	49,09
L6	57,81	75,40	64,10	179,68	20	B4	29,98	36,78	34,49	50,75
B11	29,66	43,17	34,54	176,74	18					
B10	28,05	44,63	34,08	174,89	16					
Tek N.										

LİKİT LİMİT
y = -1,277x + 199,6

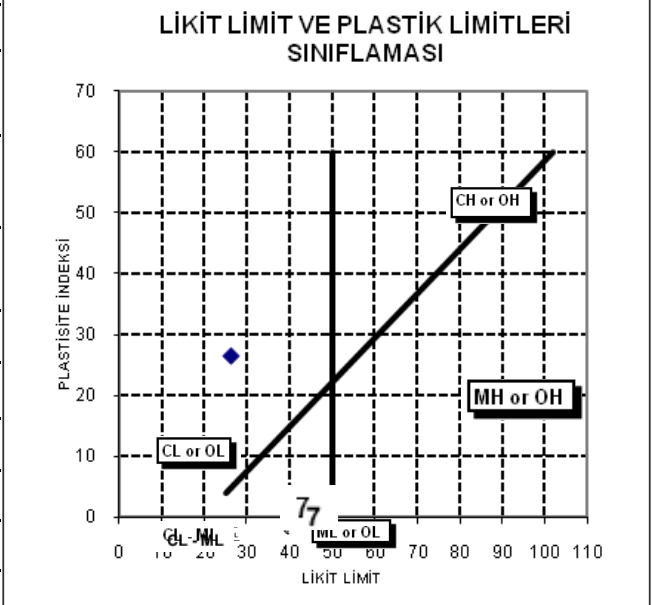
LİKİT LİMİT VE PLASTİK LİMİTLERİ SINIFLAMASI

BÜZÜLME (EKSENEL) LİMİTİ	Hacimsel		Tek Eksenli (%)
	L	Etüv sonrası numune uzunluğu (mm)	: 120,46
L0	Numunenin başlangıç uzunluğu (mm)	: 140,34	14,17

SONUÇLAR			
LİKİT LİMİT:	167,71		
PLAS. LİMİT:	50,53		
IP:	117,18		
ZEM.GRUBU	Mİ		

Çizelge 5.4: %20 BENTONITE +%80 KUM

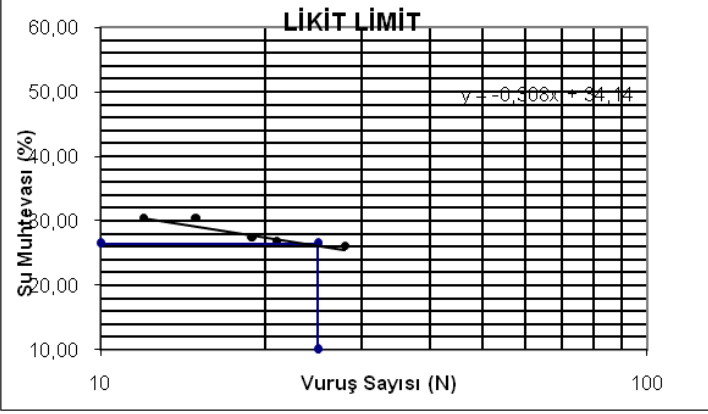
LİKİT LİMİT						PLASTİK LİMİT				
Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Su	Vuruş	Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Plastik
Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Muhtevası (%)	Sayısı	Ha	(gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Sınırı
B8	32,26	71,35	63,25	26,15	28					
B13	29,13	76,26	66,27	26,90	21					
B9	29,07	60,52	53,75	27,43	19					
B10	28,03	60,09	52,61	30,43	15					
B7	27,97	48,63	43,80	30,52	12					
Tek N.										



LİKİT LİMİT VE PLASTİK LİMİTLERİ SINIFLAMASI

PLASTİSTE İNDEKSİ

LİKİT LİMİT



LİKİT LİMİT

Su Muhtevası (%)

Vuruş Sayısı (N)

$y = -0,308x + 34,14$

BÜZÜLME (EKSENEL) LİMİTİ	Hacimsel		Tek Eksenli (%)
	L	Etüv sonrası numune uzunluğu (mm)	Ls
	L0	Numunenin başlangıç uzunluğu (mm)	3,63

SONUÇLAR	
LİKİT LİMİT:	26,44
PLAS. LİMİT:	0,00
IP:	26,44
ZEM.GRUBU	Mİ

Çizelge 5.5: %30 BENTONITE +%70 KUM

LİKİT LİMİT						PLASTİK LİMİT				
Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Su	Vuruş	Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Plastik
Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Muhtevası (%)	Sayısı	Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Sınırı
B1	23,98	52,96	44,78	39,33	34					
B11	29,64	71,68	59,52	40,69	32					
B9	31,89	65,25	55,25	42,81	30					
A5	23,73	61,63	50,08	43,81	24					
B5	31,01	74,80	61,41	44,05	22					
Tek N.										

LİKİT LİMİT

$y = -0,368x + 52,6$

LİKİT LİMİT VE PLASTİK LİMİTLERİ SINIFLAMASI

BÜZÜLME (EKSENEL) LİMİTİ	Hacimsel		Tek Eksenli (%)
	L	Etiv sonrası numune uzunluğu (mm)	Ls
	L0	Numunenin başlangıç uzunluğu (mm)	3.665

SONUÇLAR	
LİKİT LİMİT:	43,39
PLAS. LİMİT:	0,00
IP:	43,39
ZEM.GRUBU	Mİ

Çizelge 5.6: %40 BENTONITE +%60 KUM

LİKİT LİMİT						PLASTİK LİMİT				
Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Su	Vuruş	Kap	Kap	K + Islak	Kap + Kuru	Plastik
Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Muhtevası (%)	Sayısı	Hayır	Ağırlığı (gr)	Zemin (gr)	Zemin (gr)	Sınırı
B1	23,98	43,96	37,00	53,46	32					
B13	29,13	60,16	49,03	55,93	28					
B11	29,64	61,14	49,82	56,09	25					
B8	32,26	59,81	49,81	56,97	19					
B5	31,01	54,94	46,64	53,11	16					
Tek N.										

LİKİT LİMİT
y = -0,013x + 55,43

LİKİT LİMİT VE PLASTİK LİMİTLERİ SINIFLAMASI

BÜZÜLME (EKSENEL) LİMİTİ	Hacimsel		Tek Eksenli (%)
	L	Etüv sonrası numune uzunluğu (mm)	Ls
	L0	Numunenin başlangıç uzunluğu (mm)	5,01

SONUÇLAR	
LİKİT LİMİT:	55,10
PLAS. LİMİT:	0,00
IP:	55,10
ZEM.GRUBU	Mİ

Çizelge 5.7: Karışık numne cc ve cu tayini.

ORANLAR	D60	D30	D10	CU	CC
% 100 kum	0,43545	0,21125	0,113007	3,22	, 825
% 80 kum bentonit	+%20 0,555	0,25078	0,13056	3,928	, 982
% 70 kum bentonit	+%30 0,59048	0,24294	0,11495	4,545	1,223
% 60 kum bentonit	+%40 0,7072	0,28404	0,12681	4,85	0,945

Çizelge 5.8: Atterberg limiti karışık numune test sonuçları

ORANLAR	%100 bentonit	%80 kum +%20 bentonit	%70 kum bentonit	+%30 +%40 bentonit	%60 kum
Likit limit	167,71	26,44	43,39	55,01	
Plastik limit	50,53	0,00	0,00	0,00	
Plastisite indisi	117,18	26,44	43,39	55,01	
Büzülme limit	14,17	3,63	3,665	5,01	

Tabloda gösterildiği gibi %100Bentonit atterberg testlerinde maksimum değere sahiptir, Bentonit yüzdesi azalacağından likit limiti, bentonit killi Zeminleri özelliklerine bağlı olarak azalmaktadır ve tam tersi bentonite oranları arttıkça likit limit de artar. Bentonit numunenin daneleri ve özellikleri daha az boşluğa sahip olduğunu gösterir. Daha az boşluğa sahip olan bu numunenin fazla miktarda suya doyurulması gerekir ancak bu sebeple likit limitinin yüksek olduğunu belirtir. Diğer yandan bentonitınle karışan kum numunesının danesi büyük olduğunda ve boşlukları fazla olduğunda bentonitin daneleri kumun içinde yer alıyor. Dolayısıyla boşlukları arttıkça likit limit azalması sağlanır. Plastik limitin sadece yüzde bentonite ait göstermiş olduğunu belirtir ancak Bentoniti kumla karıştırınca numunenin deneyi esnasında 3mm çapa düşürülmediğinde numunenin plastik limiti sıfır oluyor.

Büzülme limitinin 100%ü bentonite aittir bu da bentonitın özelliklerine bağlı olduğunu gösterir. 25 darbe denk gelen numuneyi 24 saat etuvde bırakıp sıcaklık üzerinde ne kadar numunenin azaldığı görünür ne kadar kum eklersek o kadar büzülme limiti azalır.

5.6 Özgül Ağırlık

Belirli bir sıcaklıkta belirli bir hacimdeki bir malzemenin havadaki kütesinin, belirtilen sıcaklıktaki aynı hacimdeki gazsız damıtılmış suyun havadaki

kütlesine oranı. Bir zeminin özgül ağırlığı, belirli bir malzeme hacmindeki hava, su ve Zeminlerin faz ilişkisini ifade eden hemen hemen her denklemde kullanılır. Geoteknikte kullanıldığı şekliyle katı partikül terimi tipik olarak suda çok fazla çözünmeyen mineral partiküllerdir. Bu nedenle yabancı madde (çimento, kireç vb.), suda çözünür madde (sodyum klorür gibi) içeren malzemelerin özgül ağırlığı ve özgül ağırlığı birden az olan madde içeren zeminler, tipik olarak özel muamele veya nitelikli bir özgül ağırlık tanımı gerektirir.

PİKNOMETRE- a en az 100 ml kapasiteli bir balon joje veya en az 50 ml kapasiteli tıpalı bir şişede olması gerekiyor ancak 110 ± 5 C'lik bir sıcaklığı koruyabilen termostatik kontrollü kurutma fırını ve testin gerçekleştirildiği sıcaklık aralığını ölçebilen bir termometre ve özgül ağırlık tayininde balon joje kullanıldığında, tüm kütlelerin en yakın 0,01 g'a kadar belirlenecek bir balance olması gerekir.

Hacimsel şişe özgül ağırlık tayininde kullanıldığında, tüm kütleler en yakın 0,01 g'ye kadar tayin edilmelidir. Tıpalı bottel özgül ağırlık tespitinde kullanıldığında, tüm kütleler en taşıyıcı 0,01 g olarak belirlenecektir. Piknometre temizlenmeli, kurutulmalı, tartılmalı ve kütle kaydedilmeli, daha sonra Piknometre, esas olarak oda sıcaklığında damıtılmış su ile doldurulacaktır.

Özgül ağırlık testine tabi tutulacak zemin, doğal nemini içerebilir veya fırında kurutulacaksa, volümetrik şişe kullanılacağı zaman en az 25g olmalıdır. Piknometre ve suyun kütlesi W_a belirlenecek ve kaydedilecektir.

Numune doğal nemini içerdiğinde, Zemin kütlesi W_a , etüv kurusu bazında, 110 ± 5 C'de tutulan bir fırında su buharlaştırılarak testin sonunda belirlenir. AASHTO T88'de belirtilen dağıtma ekipmanı kullanılarak 500 ml'lik bir şişeye yerleştirilmeden önce doğal nem içerikleri damıtılmış su içinde dağıtılmalıdır.

Numune kullanılacağı zaman, numune en az 12 saat boyunca veya sabit kütleyle kadar kurutulmalı, 110 ± 5 C'de tutulan bir fırında, oda sıcaklığına soğutulmalı, ardından tartılmalı ve piknometreye aktarılmalı veya tartıldığında piknometreye aktarılmalıdır. Piknometreye numune kapsamı sağlayacak miktarda damıtılmış su ilave edilecektir. Numune daha sonra en az 12 saat ıslatılacaktır. Piknometre sıcaklığı $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$ olan etüvde kurutulur, desikatörde soğutulur ve

ardından tartılır daha sonra 10 nolu elekten geçen 50g numune 5-10g malzeme elde edilene kadar yarıma yöntemi ile azaltılır. Ancak elde edilen numune önce 105°C -110°C olan etüvde kurutulur çıkarılıp desikatörde soğutulduktan sonra piknometreye aktarılır ve tartılır.

Piknometre içindeki numunenin üstüne öretecek şekilde havası alınmış saf su eklenir belirlenen Suda eriyen mineraller içeren zeminler için su yerine gazyağı veya alkol de kullanılabilir. İçinde numune bulunan piknometre vakumlu desikatöre yerleştirilir ve vakum uygulanır (Bu işlem sırasında hava kabarcıklarının şiddetli köpürmemesi için özen gösterilmelidir) dolayısıyla Piknometre numunenin içinden hava çıkması durana kadar desikatörde bekletilir.

Desikatörden çıkarıldıktan sonra numune bir çubuk ile karıştırılır ve iyice çalkalanır, Çubuk piknometreden çıkarılmadan önce havası alınmış damıtık su ile yıkanır ve bu sayede üzerine yapışmış numune varsa piknometreye aktarılmış olur daha sonra yeniden desikatöre konulan numuneye tekrar vakum uygulanır. Piknometre desikatörden çıkarılır üzerine damıtık su eklenerek 50 ml ye kadar doldurulur ve Kapağı kapalı durumdaki piknometre tartılır. Piknometre içindeki numune boşaltılır, şişe temizlenir ve havası alınmış damıtık su ile 50 ml ye kadar doldurulur ve tartılır bu işlemler birden fazla numune için yapılır ve bulunan özgül ağırlık değerlerinin ortalaması alınır

- Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr) $P+K = m_0$
- Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr) $K+P+S=m_1$
- Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr) $N+K+P= M_2$
- Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr) $K+P+N+S=m_3$
- Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr) $N=m_4$
- Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1
- Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1
- Zemin danelerin yoğ.
- $(Mg/m^3) P_s = ((m_4)) / ((m_1-m_0) / PL_1 - (m_3-m_2) / PL_3) * 10^9$ (15)

Çizelge 5.9: %100 kum numunesi için özgül ağırlık test sonuçları.

1. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	184,72
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,72
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	713,99
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = ($m_2 - m_0$) (gr)	50,28
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1 - m_0) / PL1 - (m_3 - m_2) / PL3) * 10^9$	2,66*10 ⁹
2. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,45
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,86
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	236,17
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	713,43
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = ($m_2 - m_0$) (gr)	50,71
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1 - m_0) / PL1 - (m_3 - m_2) / PL3) * 10^9$	2,516*10 ⁹
Ortalama	
Katı danelerin ortalama yoğunluğu (Mg/m^3)	2,588*10 ⁹

Çizelge 5.10: %100 Bentonit numunesi için özgül ağırlık test sonuçları

1. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,03
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,78
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,78
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	711,54
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = ($m_2 - m_0$) (gr)	50,54
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1 - m_0) / PL1 - (m_3 - m_2) / PL3) * 10^9$	2,32*10 ⁹
2. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,31
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	683,14
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,31
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	711,55
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = ($m_2 - m_0$) (gr)	50
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1 - m_0) / PL1 - (m_3 - m_2) / PL3) * 10^9$	2,315*10 ⁹
Ortalama	
Katı danelerin ortalama yoğunluğu (Mg/m^3)	2,318*10 ⁹

Çizelge 5.11: % 80 kum +% 20 Bentonit

1. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,58
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	681,97
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,53
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,6
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	49,95
Kontrol sıvısının m_1 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1-m_0) / PL1 - (m_3-m_2) / PL3)$	$2,585 \cdot 10^9$
$*10^9$	
2. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,56
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,39
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	236,02
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,84
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	50,46
Kontrol sıvısının m_1 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1-m_0) / PL1 - (m_3-m_2) / PL3)$	$2,521 \cdot 10^9$
$*10^9$	
Ortalama	
Katu danelerin ortalama yoğunluğu (Mg/m^3)	$2,553 \cdot 10^9$

Çizelge 5.12: % 70 kum +% 30 Bntonit

1. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,51
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,41
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,49
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,68
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	49,98
Kontrol sıvısının m_1 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1-m_0) / PL1 - (m_3-m_2) / PL3)$	$2,53 \cdot 10^9$
$*10^9$	
2. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	185,59
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,38
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,58
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,81
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	49,99
Kontrol sıvısının m_1 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) / ((m_1-m_0) / PL1 - (m_3-m_2) / PL3)$	$2,55 \cdot 10^9$
$*10^9$	
Ortalama	
Katu danelerin ortalama yoğunluğu (Mg/m^3)	$2,548 \cdot 10^9$

Çizelge 5.13: % 60 kum +%40 Bentonit

1. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	186,19
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,77
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	235,77
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,56
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	49,87
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) /((m_1-m_0) /PL1-(m_3-m_2) /PL3)$	$2,483*10^9$
$*10^9$	
2. Numune	
Piknometrenin kütlesi = m_0 (gr)	186,79
Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi = m_1 (gr)	682,36
Kuru numune ile birlikte piknometrenin kütlesi, m_2 (gr)	236
Kuru numune ve Kontrol sıvısı ile dolu piknometrenin kütlesi, m_3 (gr)	712,49
Deney Numunesinin kuru kütlesi (m_4) = (m_2-m_0) (gr)	49,21
Kontrol sıvısının m_1 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL1) =1	1
Kontrol sıvısının m_3 kütlesinin belirlendiği sıcak. Yoğunluğu (PL3) =1	1
Zemin danelerin yoğ. (Mg/m^3) $P_s = ((m_4)) /((m_1-m_0) /PL1-(m_3-m_2) /PL3)$	$2,57*10^9$
$*10^9$	
Ortalama	
Katı danelerin ortalama yoğunluğu (Mg/m^3)	$2,521*10^9$

Bir bentonit bulamacının yoğunluğu kil içeriğinden hesaplanacaksa kilin tane özgül ağırlığının bilinmesi gerekir. Tipik olarak, bu, fırın kuru toz ancak bentonitler için 2,5 ila 2,8 aralığında olabilir, ancak tedarik edildiği gibi bentonitler bir miktar nem içerecektir, bu nedenle tozun etkin tane özgül ağırlığı, fırında kuru tozdan daha az olacaktır. Test sonuçları aşağıda gibi hazırlanmaktadır:

% 60 kum +%40 Bentonit $2.521 * 10^9$

% 70 kum +%30 Bentonit $2.548 * 10^9$

% 80 kum +%20 Bentonit $2.553 * 10^9$

% 100 Bentonit $2.318 * 10^9$

% 100 kum $2.588 * 10^9$

Özgül ağırlık testi sonuçları belirtildiği gibi Yüzde yüz kumun özgül ağırlığı testin en yüksek özgüllüğüdür ve yüzde yüz bentonit kil numunesi, test numunesinin en düşük özgül ağırlığıdır. Karışım numunesinde, numunenin özgül ağırlığı arttıkça kum yüzdesinin de artması, numunenin özgül ağırlığını

düşürdüğünde de azalması sonucunu göstermektedir. Diğer yandan numunede bentonit kili artarsa özgül ağırlık azalır ve bunun tersi de geçerlidir.

Akgün et al. [8], bentonit-kum karışımlarının özgül ağırlığındaki artışın, bentonitin karıştırılmasından ve bentonitin kumdan daha yüksek özgül ağırlığından kaynaklandığını açıkladı. Komine ve Ogata [10] da benzer tipte bir eğilim gözlemlemişlerdir.



6. DÜŞEN SEVİYELİ GEÇİRGENLİK TESTİ

Düşen seviye testi, akıntının küçük olduğu görece daha az geçirgen Zeminler için kullanılır. Bu test iki farklı şekilde değerlendirilir, önce numune karıştırılır ve numunelerin geçirgenliğini bulmak için deneye tabi tutulur ve ardından 2 katman halinde yapılır.

3000 gr temsili Zemin alın ve gerekirse OMC elde etmek için suyla karıştırın daha sonra 2,6 kg dinamik bir aletle ıslak toprağı her katmana 25 vuruşla 3 kat halinde sıkıştırın. Yakayı çıkarın ve ardından fazlalığı kesin. Kalıp tertibatını Zeminle tartın, Filtre kağıdını veya ince tel örgüyü Zemin numunesinin üstüne yerleştirin ve bunun üzerine delikli taban plakasını sabitleyin. Numune teste hazırlamak için düzeneği ters çevirin ve sıkıştırma plakasını çıkarın. Sızdırmazlık contasını yerleştirin ve üstteki delikli plakayı zemin numunesinin üstüne yerleştirin Ve üst kapağı sabitleyin.

Tercihen Deaired su kullanarak numuneyi doyurun....

- %100 kum için ----- kum numunesinin ağırlıkça%17'si su ilave edilmelidir.
- %100 bentonit kili için ----- bentonit kil numunesinin ağırlıkça%45'i kadar su ilave edilmelidir.
- %20 bentonit kili +%80 kum için ----- numunenin ağırlıkça%20'si su ilave edilmelidir.
- %30 bentonit kili +%70 kum için ----- numunenin ağırlıkça%27'si su ilave edilmelidir.
- %40 bentonit kili +%60 kum için ----- numunenin ağırlıkça%35'i su ilave edilmelidir.

Kalıbın giriş nozulu, stand borusuna bağlıdır. Sabitlemeden önce su akışını etkinleştirin Akış sağlandı ve stand borusunda düşme için zaman aralığını not edin 'h'.

Darcy yasasına kullanarak düşen seviyle permeabilite katsayısını hesaplamak için aşadaki formulu kullanılır.

$K = 2,3 (aL / At) \log_{10} (H_0 / (H_0 - \Delta H))$ Burada:

- K = geçirgenlik katsayısı.
- a = su düşüşü gözlenen borunun alanı (cm²)
 - L = Numune yüksekliği.cm.
 - A = Kalıp alanı (cm²)
 - H = ilk su seviyesi, cm
 - d = su düşüşü gözlenen borunun çapı, cm
 - D = kalıp çap, cm
- ΔH = ilk okuma ile son okuma arasındaki su seviyesi farkı, cm

Laboratuvarda aşağıdaki gibi kaydedilen veriler.

Çizelge 6.6: Karışık 1.numune permeabilite test sonuçları

Geçirgenlik	%100 S	%100 B	%90	%80 S	%70 S	%60 S
			S+%10 B	+%20 B	+%30 B	+%40 B
	2.881* 10 ⁻⁴	Doymamış	2.64x10 ⁻⁴	4.25x10 ⁻⁶	1.9x10 ⁻⁷	5.7x10 ⁻⁸

Deneyde en yüksek izin verilebilirlik, yüzde 100 kumun geçirgenliği ve karıştırma numunesinin en düşük izin verilebilirliği yüzde 40 bentonitte sahiptir.

Tabloda görüldüğü gibi deneyde bentonit miktarı azaldığında, kum boşluğu bentonit ile dolacağından doğrudan kum miktarı artacaktır. Ayrıca testte daha az permabilin daha çok bentonit olduğunu ve daha az bentonitin daha fazla geçirgenlik olduğunu varsayabiliriz. Bunların her ikisi de bentonit Zeminlerinin mülkiyetindedir, sonuçta gördüğümüz gibi, %100 bentonit suyun içinden geçebilecek bir boşluk olmadığında 3 ay geçtikten sonra henüz doymadı. Karışım numunesinin geçirgenliğini hesapladıktan sonra aynı numunenin prozite ve boşluk oranını bulmaya çalışmaktayız.

Zeminde belli boşluklar vardır ve zemindeki boşlukluluk durumunu yansıtan kavrama da boşluk oranı adı verilir. Boşluk hacminin, tane hacmine oranı olarak tanımlanır. Boşluk oranı da tıpkı porozite gibi birimsiz bir terimdir. Zeminde yer alan tanelerin dizilişine bağlı olarak; az boşluklu yani sıkı durumda küçük, çok boşluklu yani gevşek durumda yüksek değer alır. Çoğu zaman 1'den küçük olsa da bazen 1'den büyük de olabilir.

Porozitenin kelime anlamına bakıldığında gözeneklilik olduğu görülür. İnşaat mühendisliğindeki karşılığı da aslında budur. Bir zeminin boşluk hacminin, tüm hacmine oranına porozite denir ve Sembolü n harfidir, zeminin boşluk oranını yansıtır. Bir zemindeki boşluk hacmi, tüm hacimden daha büyük olamayacağı için porozite daima 1'den küçüktür. Yer altı suyunun oluşmasında da porozite oldukça etkilidir. Zemini oluşturan kayaçların üzerinde yer alan gözeneklerden yağmur suyu yer altına süzülür ve bu gözeneklerden geçen sular birikerek yer altı suyunu meydana getirir.

Porozitenin birçok formülü vardır ve Porozite hesabı yapılırken eldeki verilere göre hangi formülün kullanılacağına seçilmesi gerekir. Yani bir zeminin boşluk

hacmi bilinmeden $V_{boşluk} / V_{toplam}$ formülü kullanılamaz. Bu yazımda bütün porozite formüllerini maddeler halinde sizlerle paylaşmak istiyorum.

- $n = V_{boşluk} / V_{toplam} \Rightarrow$ Zeminin boşluk hacminin, tüm hacmine oranı.
- $n = e/(e+1) \Rightarrow$ Burada e boşluk oranıdır. Bu formül ile de porozite hesabı yapılabilir. Boşluk oranı ve porozite birbiriyle direkt olarak ilişkili kavramlardır.

En çok kullanılan porozite formülleri bunlardır.

Çizelge 6.7: karışık numune optimum su miktarı belirlemesi

Numune ağırlık(net)	Numune oranları	Wopt	Özgül ağırlık
2110	100% Bent	0.45	2.31
1805	100% kum	0.17	2.58
1805	80% k+%20 B	0.2	2.55
1961	70% k+%30 B	0.3	2.54
2079	60% k+%40 B	0.35	2.52

7. BİRİM HACİM AĞIRLIK:

Cihazın çapısı $D = 10\text{cm}$

$$A=3.14X (10)^2 /4$$

Hacim $V = AxL = 1115\text{cm}^3$
yoğunluğu $\text{g/cm}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$

Cihazın uzunluğu $L = 14.2\text{cm}$ suyun

7.1 Yaş Birim Hacim Ağırlık

$YBHA = YBHA (\text{net})/\text{hacim}$

$$YBHA (100\% \text{ BENTONITE}) = 2110/1115 = 1,892$$

$$YBHA (100\% \text{ KUM}) = 1805/1115 = 1,618$$

$$YBHA (80\% \text{ k}+\%20 \text{ B}) = 1805/1115 = 1,618$$

$$YBHA (70\% \text{ k}+\%30 \text{ B}) = 1961/1115 = 1,752$$

$$YBHA (60\% \text{ k}+\%40 \text{ B}) = 2079/1115 = 1,864$$

7.2 Kuru Birim Hacim Ağırlık

$KBHA = YBHA/1+w$

$$KBHA (100\% \text{ BENTONITE}) = 1,892/1+0,45 = 1,304$$

$$KBHA (100\% \text{ KUM}) = 1,618/1+0,17 = 1,383$$

$$KBHA (80\% \text{ k}+\%20 \text{ B}) = 1,618/1+0,2 = 1,348$$

$$KBHA (70\% \text{ k}+\%30 \text{ B}) = 1,752/1+0,3 = 1,346$$

$$KBHA (60\% \text{ k}+\%40 \text{ B}) = 1,864/1+0,35 = 1,338$$

7.3 Boşluk Oranı

$$e = (Gs * \gamma_d / \gamma_w) - 1$$

$$\text{Bentonite } \%100 \text{ } e = (2,31 * 1 / 1,304) - 1 = 0,771$$

$$\text{Kum \% 100} \quad e = (2,58 * 1/1,383) - 1 = 0,865$$

$$\% 80 \text{ k} + \% 20 \text{ B} \quad e = (2,55 * 1/1,348) - 1 = 0,891$$

$$\% 70 \text{ k} + \% 30 \text{ B} \quad e = (2,54 * 1/1,346) - 1 = 0,887$$

$$\% 60 \text{ k} + \% 40 \text{ B} \quad e = (2,57 * 1/1,380) - 1 = 0,862$$

7.4 Prozite (N)

$$n = e/1 + e$$

$$\text{Bentonite \% 100} \quad e = (2,31 * 1/1,304) - 1 = 0,771$$

$$\text{Kum \% 100} \quad e = (2,58 * 1/1,383) - 1 = 0,865$$

$$\% 80 \text{ k} + \% 20 \text{ b} \quad e = (2,55 * 1/1,348) - 1 = 0,891$$

$$\% 70 \text{ k} + \% 30 \text{ b} \quad e = (2,54 * 1/1,346) - 1 = 0,887$$

$$\% 60 \text{ k} + \% 40 \text{ b} \quad e = (2,57 * 1/1,380) - 1 = 0,862$$

Çizelge 7.1: karışık numune Boşluk oranı(e) belirlenmesi

Numune ağırlık(net)	Numune oranları	Wopt	Özgül ağırlık	YBHA	KBHA	Boşluk oranı(e)	Porozite(n)
2110	100% Bent	0,45	2,31	1,892	1,304	0,771	0,435
1805	100% kum	0,17	2,58	1,618	1,383	0,86	0,462
1805	80% k+%20 B	0,2	2,55	1,618	1,348	0,892	0,471
1961	70% k+%30 B	0,3	2,54	1,752	1,344	0,888	0,470
2079	60% k+%40 B	0,35	2,57	1,864	1,338	0,862	0,462

%100 bentonit kili, test numunesine göre en düşük boşluk oranına ve %20 b en yüksek boşluk oranına sahiptir. Bentonitin oranı arttıkça boşluk oranı azalması gerekir, tam tersi kum arttıkça boşluk oranı da artırması gerekir. Bentonitin daha yapışkan ve dane boyutları daha küçük olduğundan kumun boşluklarında bentonit yer alıyor.

Ardından, 2 katmanda olduğu gibi aynı numune yüzdesini test etmeyi dört gözle bekleyin. Bu test için yöntem aynıdır, numuneyi kalıp temelinde bulunan bentonit kili olarak 3 farklı katmana koyarak, üstte bentonit kili ve altta kum varsa, kum numunesi bentonit kilinin sıkıştırılması sırasında atılır. Kalıp, alt ve orta katlar arasında ve orta ve üst katmanlar arasında olmak üzere 3 farklı katmana bölünerek, karışık katman oluşumunu önlemek için filtre kağıtları sağlanmıştır. Her durumda, uygulanan maksimum hidrolik gradyan altında

Numunelerin arasında farklılığı görmek için yeni bir numune temin edilmiştir. Geçirgenlik testinden önce bentonit kil satın aldıktan sonra eski numunenin bentonit numunesi ile karşılaştırmak için atterberg testi, su içeriği ve yeni numunenin özgül ağırlığının teyin edilmesi gerekiyor. Deney numunesinin sağlıklı hazırlanabilmesi için rutin laboratuvar deneyleri öncelikle yapılmış olup numune standart proktor testinde maksimum kuru birim hacim ağırlık değerini verecek şekilde hazırlanmıştır. Proktor deneyi (Kompaksiyon testi) mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılan yapay dolguların su içeriklerine göre yeterli sıkışmayı sağlayıp sağlamadığımızı tespit etmemize imkân sağlar. Proktor deneyi laboratuvar ortamında standart ve modifiye proktor testleri olarak yapılmaktadır. Laboratuvarda yapılan proktor deneyi tek başına bir anlam ifade etmez. Elde edilen optimum su muhtevası ve max. Kuru birim hacim değerleri daha da sıkışmış dolguda yapılan nükleer sıkışma testinde cihaza girilir ya da kum konisi yönteminde hesaplamalarda kullanılır.

8. YENİ BENTONİTİN ÜRÜN ÖZELLİKLERİ:

Ürün adı: Elito Bentonite Kili

Ürün Açıklaması: Mükemmel adsorbe etme ve arıtma kapasitesine sahip Elito Bentonite Kili, seçilmiş saf hammaddelerden üretilmiştir.

İşlev ve Özellikler: Elito Bentonite Kili, tortu hacmi küçük ve kompakt iken yüksek bir adsorbe etme kapasitesine neden olan mükemmel bir şişme kapasitesi ortaya çıkarır. Bu tortu bertaraf edilebilir hatta kompost olarak kullanılabilir.

Proteinlerin yanı sıra, tabaklama maddelerinin, ağır metallerin, biyogenik aminlerin ve aspersiyon kalıntılarının miktarları da azaltılabilir. Elito Bentonite Kili, yüksek aktivitesi ve mükemmel arıtma kapasitesi sayesinde, proteinler ve kolloidlerin neden olduğu bulanıklığa karşı stabilizasyon için mükemmeldir.

Tam protein stabilizasyonu için saf formunda veya yardımcı arındırıcı ajan olarak bir jelatin / silika jel karışımı ile kombinasyon halinde uygulanabilir. Kolayca askıya alınabilir ve doğrudan içeceğe eklenebilir. Daha iyi sonuçlar, bir önceden şişmiş süspansiyon. Prosedür için gerekli bentonit miktarı ilave edilecek ve homojen bir süspansiyon elde edilene kadar 10-15 kat daha fazla miktarda su içinde kuvvetli bir şekilde karıştırılacaktır. tedavi için gerekli Elito Bentonite Kili miktarı önceki testlerle belirlenebilir veya özel bir laboratuvar tarafından sağlanabilir. Yalnızca önleme amacıyla önerilen doz yaklaşık 50- 150 g / hl'dir. Elito Bentonite Kili hafif higroskopiktir ve yüksek oranda emicidir, bu nedenle nemden ve özellikle garip kokulardan korunmalıdır.

Açık kaplar hemen tekrar kapatılmalıdır.

Çizelge 8.1: Ürün Bilgisi (ECCC,222)

Genel Özellikler	
Renk:	bej
Tane büyüklüğü:	0,5-5,0 mm
Duyusal:	Zeminli, temiz
Nem:	maksimum% 15

Çizelge 8.2: Analitik veriler :(ECCC,222) (% 1 tartarik asit solüsyonunda)

bentonit	Değerleri sınırlama	Tipik değerler
Sodyum	0,50%	0,30-0,40 %
Kalsiyum	0,80%	0,52 %
Magnezyum	0,50%	0,14 %
Demir	0,20%	0,11 %
Öncülük etmek	20ppm	5,00 ppm
Arsenik	2ppm	1,5 ppm

Ürünlerin kullanım amacına uygunluğunu kullanmadan önce kontrol etmek kullanıcının sorumluluğundadır. Kullanıcılar ayrıca ürünlerin kullanımıyla ilgili tüm yasal gerekliliklere uyulmasını sağlamakla yükümlüdür, bu aynı zamanda ürünün kullanımının yasallığını da içerir.

8.1 Proktor Testi Nerede Kullanılır?

Bu testlerden standart proktor ve modifiye proktor testleri laboratuvar ortamında yapılmaktadır. "Buradaki amaç sıkıştırılmış dolgu olarak kullanılacak yapay dolgu malzemesinin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını tespit etmektir. Teorik olarak zeminler hava, su ve tanelerden oluşurlar. Arazide serilmiş dolgu malzeme sıkıştırılırken kompaksiyonun gerçekleşmesi için statik veya dinamik yüklere ihtiyaç vardır. Malzemedeki hava bu yükler altında serbest kalıp dışarı çıkacak ve taneler birbirine yaklaşacaktır. Bu şekilde serilmiş malzemede bir hacim daralması olacak ve zemin sıkışacaktır. Fakat burada en önemli kavram zeminin su muhtevasıdır. Çünkü sıkışma işlemi sırasında zemin içerisindeki su muhtevası az ise taneler arası sürtünme artacağından sıkışma zorlaşacaktır. Su muhtevası yüksek seviyelerde ise zemin içerisindeki hava hapsolür ve dışarı çıkamaz. Bu durumda da sıkışma zorlaşacaktır. Eğer zemin içerisinde uygun miktarda su muhtevası var ise zeminin uygulanan yükler altında sıkışması kolaylaşacaktır. Bu şekilde malzemenin en fazla sıkışmasını sağlayacak olan su içeriğine optimum su muhtevası adı verilmektedir. Laboratuvarda gerçekleştirilen proktor testlerinde optimum su muhtevası ve bu su içeriğinde zeminin alabileceği maksimum kuru birim hacim ağırlığı bulunur" (insapedia, 2019).

8.2 Standart Proctor Deneyi-Proktor Deneyi

Standart Proctor Deneyinde 2,5 kg ağırlığındaki tokmak 30,5 cm yükseklikten serbestçe düşürülür, 25 vuruşla 3 tabaka halinde sıkıştırılarak sıkıştırma enerjisi uygulanır.

Standart Proctor Deneyinde Gerekli Aletleri, Metal Sıkıştırma kalıbı (11,55 cm yükseklik ve 10,5 cm çapında, plakası ve 5 cm yüksekliğinde yakası ile birlikte), 2,5 kg ağırlık ve 30.5 cm'den serbestçe düşebilen 5 cm çaplı metal tokmak, spatula ve bıçak, damıtık su, büyük karıştırma kabı, numune kapları (su muhtevası için), terazi, hassas terazi, etüvedir.

8.3 Standart Proctor Deneyinin Yapılışı

Açıkta kurutulan ve 20 mm'lik elekten geçen zeminden yaklaşık 5 kg kadar alınır." Geniş bir kaptaki su ilave edilerek karıştırılır.

Sıkıştırma kalıbı 1g hassasiyetle tartılır. Kalıp sert bir yere oturtulur ve nemli zemin mümkün olduğu kadar eşit ağırlıkta üç tabaka halinde, her birine 30,5 cm'lik düşüş yapan tokmakla 25 darbe vurularak sıkıştırılır. Darbeler tabaka yüzeyine eşit dağıtılmalıdır. Kullanılan zemin kalıbı doldurmaya yetmeli, fazla geldiği durumda ise kalıp üst seviyesini 6 mm'den fazla aşmamalıdır.

Kalıbın üst seviyesine düzeltme ile fazla zemin alınarak numune ve kalıp birlikte tartılır daha sonra kalıptan çıkarılan zeminden su muhtevasını belirlemek için yeterli miktar ve sayıda numune alınır.

Geiye kalan zemin karıştırma kabına alınıp ufalanır. Üzerine uygun artışlarla su ilave edilerek b, c ve şıklarındaki işlemler aynen tekrarlanır. Tekrarlama işlemi en az beş değer verecek biçimde yapılmalıdır" (insapedia, 2019).

Modifiye Proctor Deneyinin yapılışı standart proctor deneyi ile aynıdır ancak Aradaki fark, tokmak ağırlığı ve düşüş yüksekliği ile sıkıştırılan tabaka sayısından ibarettir.4,5 kg ağırlığındaki tokmak 45,8 cm yükseklikten serbestçe düşürülür, 25 vuruşla 5 tabaka halinde sıkıştırılarak sıkıştırma enerjisi uygulanır.

8.4 Hesaplama

Yapılan her sıkıştırma işlemi için su muhtevası ve kuru birim ağırlık değerleri hesaplanır.

Birim ağırlık: $\gamma=(W2-W1)/V$ Kuru birim ağırlık: $\gamma_d=\gamma/1+w$

W1: Kalıp ağırlığı W2: Kalıp+sıkıştırılmış zemin ağırlığı V: Kalıbın hacmi

Su muhtevası kuru birim ağırlık grafiği çizilir, grafikten en büyük kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası belirlenir.

Modifiye Proctor Deneyi-Proktor Deneyi:

Çizelge 8.3: Kuru Birim Hacim Ağırlık

Numune No / Sample No	1	2
Numune Boyu (mm) L Length of Sample	116.00	116.00
Numune Çapı (mm) d Diameter of Sample	100.00	100.00
Numune Hacmi (m ³) V Volume of Sample	0.00091060	0.00091060
Numune Ağırlığı (g) Weight of Sample	2840.00	3020.00
Su İçeriği (%) w Water Content of Sample	62	68
Birim Hacim Kütle ρ Bulk Density Mg/m ³	3.119	3.316
Kuru Birim Hacim Kütle ρ_d Dry Density Mg/ m ³	1.925	1.974

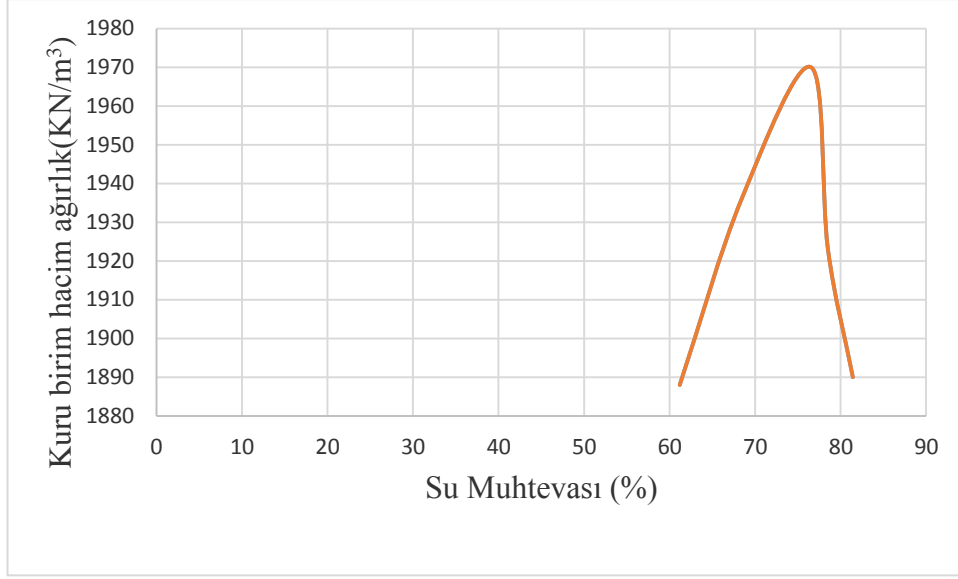
Çizelge 8.4: Kuru Birim Hacim ağırlık

Numune No / Sample No	3	4	3
Numune Boyu (mm) L Length of Sample	116.00	116.00	116.00
Numune Çapı (mm) d Diameter of Sample	100.00	100.00	100.00
Numune Hacmi (m ³) V Volume of Sample	0.00091060	0.00091060	0.00091060
Numune Ağırlığı (g) Weight of Sample	3228.00	3188.00	3090.00
Su İçeriği (%) w Water Content of Sample	77	79	81
Birim Hacim Kütle ρ Bulk Density Mg/m ³	3.545	3.501	3.393
Kuru Birim Hacim Kütle ρ_d Dry Density Mg/m ³	2.008	1.961	1.870

Ortalama Birim Hacim Kütle: Average Bulk Density	3.449	Mg/m ³
Ortalama Kuru Birim Hacim Kütle: Average Dry Density	2.1014	Mg/m ³

Çizelge 8.5: Su muhtevası /Water content (%) (Wn)

	40%	50%	60%	70%	80%
Kap No/Cup No	L5	L6	L9	L10	L1
Yaş numune + Kap (g) Wet Sample + Kap	115,9	98,2	108,94	96,31	97,8
Kuru numune + kap Dry sample + cup (g)	84,4	73,8	86,28	69,22	66,44
Su ağırlığı Weight of water (g)	31,5	24,4	22,66	27,09	31,36
Kap ağırlığı Weight of Cup (g)	33,75	36,68	56,68	34,72	27,93
Su Muhtevası (%)Water content	62,191	68,426	76,554	78,52	81,433



Şekil 8.1: Kuru birim hacim ağırlık su muhtevası karşı

Grafik doğrudan $1970 \text{ kN} / \text{m}^3$ 'e yükseleceği ve $1970 \text{ kN} / \text{m}^3$ 'ten sonra düşeceği için %60 bentonit bölgesinde gerçekleşen proctor testinin maksimum optimumunu gösterdiği için testin optimum değeri %60'tır. Bu nedenle bu bentonit kil numunesine eklenen suyun bentonit numunesinin ağırlığının yüzde 60'ı olduğuna karar veriyoruz. Dolayısıyla önceki bentonit kil numunesi bu tipten farklıdır, çünkü eski numuneye eklenen su miktarının yüzde 45 olduğu tespit edildi. Ancak bu numunenin danelerinin

9. YENİ BENTONİTİN PERMEABİLİTE DENEYİ (KATMANLI VE KOMPOSİTE)

Proktor testi bittikten sonra atterberg testi bir sonraki adımda olacak. İki deneme sonucu 430LL.450 LL likit limiti ve 170.169 plastik limiti belirlenir. Ortalama sonuç olarak önceki numune ile neredeyse farklı çıkarmış, önceki numunenin ortalama sonucunun 167LL and 50 Pl olduğunu tespit edildi. Yeni numunenin danelerinin eski numuneden daha küçük olması ve fazla su aldığında likit limit ve plastic limitin fazla olması gerekir. Yeni numune için büzülme sınırı hariç bentonit optimum ve atterberg limiti bulduktan sonra bentonit ve kumun geçirgenliğini iki farklı şekilde bulmaya çalışıyoruz. Daha önce yapılan testler gibi bu seferde hem tabakalı hemde karışık halde permeabitelemi sonuçlandırmaya çalışıyoruz.

Bentonit ve kum oranı öncekinden farklı olacaktır, bu nedenle%5, %10 ve%15 bentonit yüzdeleri ve%95, %90 ve%85 kum numunesi miktarlarıdır. Öncelikle kalıpta altta bentonit ve üstte kum olmak üzere iki farklı katman oluşturulacaktır. Bentonit oranı az olduğunda tabakanın alt kısmına koyun, Bentonit değiştiren tabakaların yerleri kum numunesini geçerse bu da test sırasındaki hatalardan biridir.

9.1 Yeni Bentonitin Numune Hazırlanması.

Bu deneysel çalışmada, tabakalı bir Zemin oluşturmak için kum ve bentonite tabakaları kullanılır. (Biz toz bentoniti izmirden alırdık ancak kumu, beton santrallerden ve üniversite kampüsüne yakın bir alandan temin ettik.) Bu iki malzeme geçirgenlik açısından iki uç nokta olarak seçilir. Gereksiz büyük tortuları veya çökeltileri gidermek için tortuların uygun şekilde elenmesi yapılır. Eleme sonrası tüm numuneler nemi uzaklaştırmak için 105°C sıcaklıkta 24 saat fırında bekletilir.

Malzemenin geçirgenlik hacmi ve özgül ağırlığı bilinerek kalınlıkları zımparalanarak %40 gözenekliliğe karşılık gelen gerekli malzeme belirlenir. Numuneler, her numunenin kalınlığı değiştirilerek hazırlanır ve gerekli sıkıştırma yapıldıktan sonra üç katmana doldurulur. Test numunesi herhangi bir gözlem yapılmadan önce tamamen doyurulup daha sonra geçirgenlikli stand borusunda su yüzeyinde bilinen bir düşüş için gözlemler yapılır. Su seviyesinin düşmesi için geçen süreyi kaydetmek için bir kronometre kullanılır. Deneysel çalışma sırasında oda sıcaklığı da kaydedilir ve tüm numuneler düşen seviye geçirgenlik testine tabi tutulur ve geçirgenlik hesaplanır. Teste iki katmanlı Zeminla başlanır ve numune farklı üç kat halinde hazırlanır, her bir katman 25 adet çekiçe sıkıştırılır. İlk bentonit kalınlığı 0,7 cm ve sıkıştırılama yacak kadar ince olduğundan, birinci bentonit tabakalı Zeminleri sıkıştırmak için alternatif tokmak kullanılır.

Zemin numuneleri laboratuvarında 4.86mm, 1.084mm ve 10.84 mm çapında 151.5mm uzunluğunda pirinç borularda veya numunelerin kırılacağı daha büyük kaplarda elde edilir, nispeten ince duvarlı ve esnek 4,86 mm'ye 151.5 mm'lik tüplerdir; bu nedenle, tüp içindeki toprağın deforme olmaması için onlara dikkatli davranın. Hem karışık hem de normal numune için numune 24 saat içinde fırına atılmalı ve 2200 gr kum artı 250 gr bentonite temsili Zemin alın ve gerekirse elde etmek için suyla karıştırın.

Dinamik sıkıştırma için geçirgenliği kalıbını içini gresleyin ve Düzeneği bir gm (w) olarak doğru tartın, Yakayı diğer uca koyun daha sonrada ıslak toprağı 2,6 kg dinamik bir aletle, katman başına 25 vuruşla üç katman halinde sıkıştırın. Yakayı çıkarın ve fazlalığı kesin. Kalıbın ve toprağın montajını tartın.

Zemin numunesinin üstüne, filtre kağıdını veya ince tel ağı yerleştirin ve delikli taban plakasını bunun üzerine sabitleyarak düzeneği ters çevirin ve sıkıştırma plakasını çıkarın. Sızdırmazlık contasını yerleştirin ve üstteki delikli plakayı Zemin numunesinin üstüne yerleştirin. Ve üst kapağı sabitleyin.

9.1.1 Yeni bentonitin test prosedür:

Zemin örneği, permeabilite kalıbına yerleştirildikten sonra %100 suya doymuş hale gelinceye kadar doyurulma işlemine devam edilmelidir. Zemin içerisinden geçirilecek su ince bir tüp vasıtasıyla permeabilite kalıbının alt kısmından

Çizelge 9.4: Tabaklı yeni numune permeabilite test sonuçları

NUMUNE ORANI	TABAKA KALINLIĞI	PERMEABILITE
(%95 kum +%5 Bentonit)	Bentonit = 0,7cm Kum = 13,4 cm	Ortalama Sonuç 1,75E-04
(%90 kum +%10 Bentonit)	Bentonit = 1,4 cm Kum = 12,7 cm	Average Result 1,68E-04
(%85 kum +%15 Bentonit)	Bentonit = 2,12 cm Kum = 12 cm	Ortalama Sonuç 1,10E-04

9.1.2 Yeni bentonitin Ölçülen ve Teorik permeabilite hesaplaması:

En basit iki katmanlı sistemler, tek tek katmanların malzemeleri olarak kum ve bentonite Zemin ile geçirgenlik yöntemi izlenerek elde edilir. Bu iki Zeminle, doğrudan ölçümden ve Darcy denkleminin kullanımından elde edilen iki katmanlı sistemlerin eşdeğer geçirgenlik katsayıları arasındaki karşılaştırmayı gösteren farklı malzeme oranlarına sahip altı adet iki katmanlı sistem elde edilir. İki miktar arasında gözlemlenen fark yaklaşık%20 civarındadır. Keq değeri Kinlet ve Kexit arasında olduğundan ve tabakalı yatağın tüm kalınlığı boyunca akışın sürekliliğinin sağlanması gerektiğinden, tabakalı birikintiyi oluşturan her iki tabakanın geçirgenlik katsayılarının, ayrı ayrı ele alındığında kendi bireysel değerlerinden farklı olması gerekir. Bir zemin profilinde her katman, altındaki veya üstündeki katmanla aynı veya farklı şekilde özelliklere sahip olabilir. Tabakalı bir zemin sisteminin bir zemin tabakasının nisbi konumu ve kalınlığı.

9.1.3 Hesaplamalar:

Darcy yasasının geçerliliği belirlendiğinde çok düşük hidrolik eğimlerde iki toprağın yumuşak çökeltileri için, bu iki çökeltinin ayrı ayrı geçirgenlikleri, doğrudan düşen seviyeli geçirgenliği testi prosedür formülünden hesaplanır.

$$k = 2.303 \frac{a_{in} a_{out} L}{A t (a_{in} + a_{out})} \log_{10} \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \quad (16)$$

A_{in} = giriş sıvısını içeren rezervuarın enine kesit alanı.

A_{out} = atık sıvıyı içeren rezervuarın kesit alanı

A = numunenin kesit alanı

t = h₁ ve h₂'Nin belirlenmesi arasında geçen süre

h₁ = t₁ zamanında numune boyunca seviye kaybı

$h_2 = t_2$ zamanında numune boyunca seviye kaybı

Sızıntının neden olduğu farklı konsolidasyon gerilmeleri uygulayarak ve sızıntı kaynaklı konsolidasyon gerilmelerinin her biri altında sabit durumda düşen seviye geçirgenlik testleri yaparak, her bir ayrı zemin sediman için e-log k ilişkileri oluşturulur.

Kompozit zemin tabakasının geçirgenliğini etkileyen önemli parametrelerden bazılarıdır. Birleştirilmiş katmanın geçirgenliği, Zemin katmanlarının çeşitli farklı kombinasyonları için ölçülür. Karşılık gelen Zemin tabakası setlerinin geçirgenliğinin teorik değerleri, denklem kullanılarak tahmin edilir.

$$(K_{th}) = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (17)$$

k_{th} = tabakalı zeminin teorik geçirgenliği;

Z_i = i. Katmanın kalınlığı k_i = i. katmanın geçirgenliği

Çizelge 9.5 te Ölçülen ve teorik permeabilite formül 16 kullanılarak karşılaştırılmıştır dolayısıyla bu tablo, çoğu durumda ölçülen geçirgenlik değerlerinin teorik değerlerinden daha fazla olduğunu göstermektedir. Bu durum bentonite ve kumun bireysel geçirgenliğindeki farklılığa bağlanabilir. Ayrıca, kompozit tabakanın ölçülen geçirgenliğinin çıkış tabakasının doğasına bağlı olduğu da gözlemlenebilir. Çıkışta bentonite tabakalı kompozit tabakanın eşdeğer geçirgenliği, çıkıştaki kumlu kompozit tabakanınkinden daha düşüktür. Üst tabaka kalınlığının iki tabakalı zemin sistemlerinin geçirgenliğine etkisi bentonite üstte ve kum altta kaldığında anlaşılmıştır. Bentonite üstte ve kum altta iken, ölçülen geçirgenlik, üst tabakanın kalınlığının artmasıyla azalmaktadır. Bu düşüş eğiliminin nedeni, killi toprağın içinden geçen su miktarını azalttığı için birbirine bağlanan boşluklardan akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Öte yandan bentonite kum üstte ve kil altta iken ölçülen geçirgenlik, üst katmanın kalınlığı arttıkça artmaktadır.

Kumun geçirgenliğinin bentonitten çok daha fazla olması kumun kil üzerinde sağladığı yük artışı nedeniyledir.

Çizelge 9.5: Ölçülen permeabilite ve Teorik permeabilite hesaplaması(T).

Numune	Ölçülen permeabilite	Teorik permeabilite
kum (%95) (üst) Bentonite (%5)	8,75E-05	8,72 E-05
kum (%90) (üst) Bentonite (%10)	8,53E-05	8,50 E-05
kum (%85) (üst) Bentonite (%)	5,59E-05	5,50 E-05

9.2 Yeni Bentonitin Permeabilite Deneyi (komposite)

Kompozit numune için prosedür daha önce olduğu gibidir, ancak bazı ayrıntılarla biraz farklılaştırılmıştır. Covid-19 sürecinde yeni bentonit temin edilemediği için sıradaki yeni bentonit miktarlarını değiştirmeye karar verdik. Önceki kullandığımız yeni bentonitin özellikleri yukarıda bilgi olarak verilmişti. Test prosedürünün yeni miktarları % 5B+%95k, % 10B +%90 k ve%15B+%85k şeklindedir. Proctor test sonuçları, tabakalı zeminlerin geçirgenliği için daha önce olduğu gibi yeni numunenin optimumunu gösterir. Bentonitin optimumu önceki numuneden daha büyük olduğunda yüzde 45'den yüzde 60'a çıkmıştır. Halbuki kumun optimum suyu eskisi gibi ağırlığının yüzde 17'sidir.

9.2.1 Yeni numunenin optimum su miktarı (komposite)

- %100 kum için ----- kum numunesinin ağırlığının %17'si kadar su ilave edilmelidir.
- %100 bentonit kili için ----- bentonit kil numunesinin ağırlığının %60'i kadar su ilave edilmelidir.
- %5 bentonit kili +%95 kum için ----- numunenin ağırlığının 66gr +374gr su ilave edilmelidir.
- %10 bentonit kili +%90 kum için ----- numunenin ağırlığının 132gr +374gr su ilave edilmelidir.
- %15 bentonit kili +%85 kum için ----- numunenin ağırlığının 198gr +374gr su ilave edilmelidir.

9.2.2 Yeni numunenin test procedure (komposite)

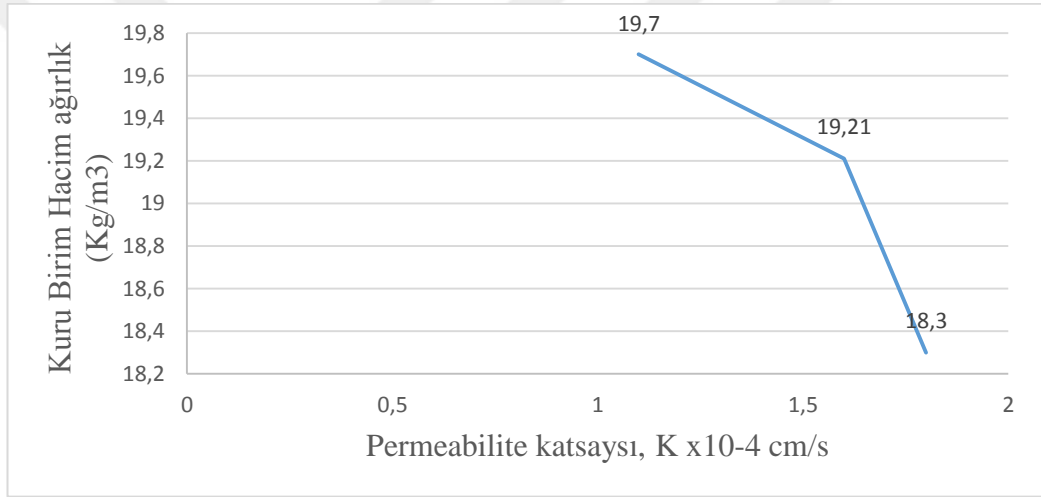
- 2200 gr kum,110gr,220gr,330gr bentonite temsili Zemin alın ve gerekirse OMC elde etmek için suyla karıştırın.

Sonuç, kompozit numunenin geçirgenliğinin doğrudan bentonit değerine ait olduğunu göstermektedir. Çünkü bentonit miktarı artarsa geçirgenlik değeri azalacak ve kum miktarı artan da geçirgenlik katsayısı da artacaktır. birinci ve ikinci numunenin geçirgenliğini karşılaştırmanın başka bir yolu, kompozit numune durumunda birinci numunenin geçirgenliği, ikinci numunenin geçirgenliğinden daha büyüktür ayrıca Bunun nedeni, ilk bentonit partikül numunesi ikinci numuneden daha büyük olduğu için her bir toprak numunesinin partikül boyutudur.

ayrıca katmanlı toprak geçirgenliğini kompozit toprak geçirgenliği ile karşılaştırırsak, sonuçlar katmanlı toprakların geçirgenliğinin kompozitten daha büyük olduğunu göstermiştir. Bunun nedeni, üstte bulunan kum ve altta bulunan bentonit, geçen su atma kumunun kalıbın altındaki bentonitten daha yüksek hızda geçer diğer yanda composite halinde kumun boşlukları tamamen bentonitle kapatılmış durumunda su çok yavaş hareketle başlar ve suyun tamamen bentonitle ve var olduğu boşluklarda kapatılmaktadır.

10. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı kum-bentonite oranlardan oluşan numuneler hazırlanmıştır. Daha sonra, bu oranların geçirgenlik, Atterberg limit ve diğer fiziksel ve mekaniksel parametreler üzerinde etkisi araştırılmıştır. Laboratuvarda bentonit ve değişen oranları kumlu zemin kullanılarak farklı tipte geçirimsizlik testleri yapılmış ve iki tür katmanlı Zemi için eşdeğer geçirgenlik katsayısı belirlenmiştir.



Şekil 10.1: Kuru birim hacim ağırlığa karşı geçirgenlik katsayısının (2. numune)

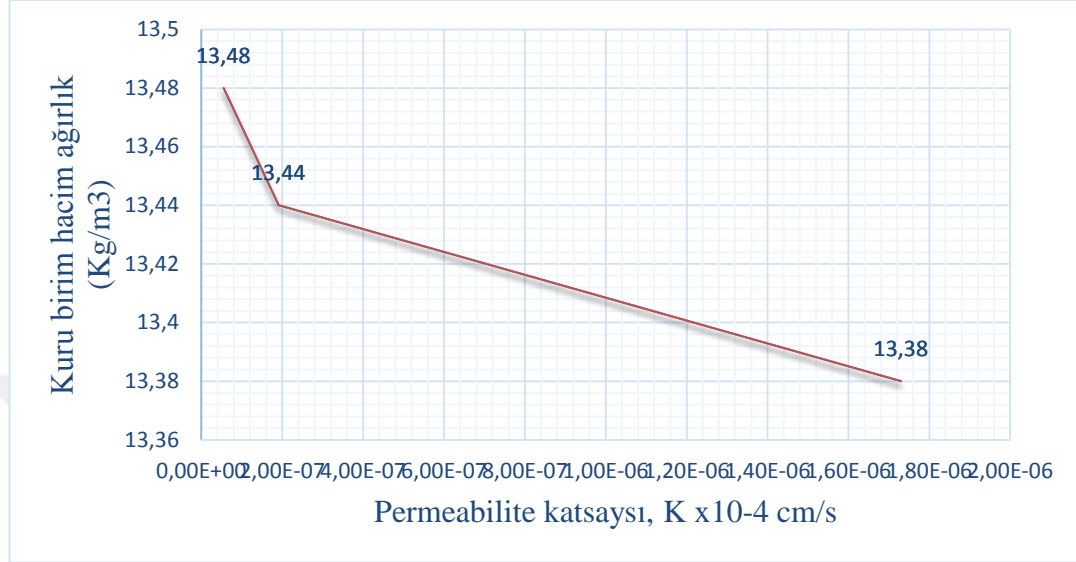
Çizelge 10.1: İkinci bentonite için k ve γ_d .

Oranlar	kuru yoğunluk (kg/cm ³)	K (cm/s)
(95%S +5% B)	19,7	1,1
(%90S+10%B)	19,21	1,68
(85%S+15%B)	18,3	1,75

Şekil 10.1 %5, %10 ve %15 den oluşan numunlerin kuru yoğunluk ve kuru birim hacim ağırlığı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi, bentonite artışı ile geçirgenlik düşmektedir. Bu düşüşün sebebi bentonitin plastisite özelliğinden kaynaklanıyor, ayrıca benzer şekilde, kuru birim hacim ağırlık (veya yoğunluk)düşüş göstermektedir.

Toprağın kuru yoğunluğunun 18,3 kgr/ m³'ten 19,21 kg / m³'e yükseldiği, geçirgenliğin $1,8 \times 10^{-4}$ 'ten $1,6 \times 10^{-4}$ cm / sn'ye düştüğü görülmektedir.

Yoğunluk 18,3 kg/ m³'ten 19,21 kg / m³'e değişirken geçirgenlik katsayısının hızla düştüğü ve 19,21 kg / m³'ten 19,7 kg / m³'e daha yavaş düştüğü görülmektedir. Bu, doğal halindeki toprağın gevşek ve oldukça geçirgen olduğunu gösterir.



Şekil 10.2: 1.numune kuru yoğunluğa karşı geçirgenlik katsayısının

Şekil 10.2 geçirgenlik katsayısı ile kuru birim hacim ağırlık arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 10.2: Farklı oranlar için k ve γ_d

Oranlar	K (cm/s)	γ_d (kg/cm ³)
% 80 k+% 20 B	1,73E-06	13,38
% 70 k+% 30 B	1,91E-07	13,44
% 60 k+% 40 B	5,48E-08	13,48

1.numunde grafik kuru birim hacim ağırlık arttığında, geçirgenlik katsayısının azalmasını göstermektedir.

Çizelge 10.3: Birinci numune için e and K.

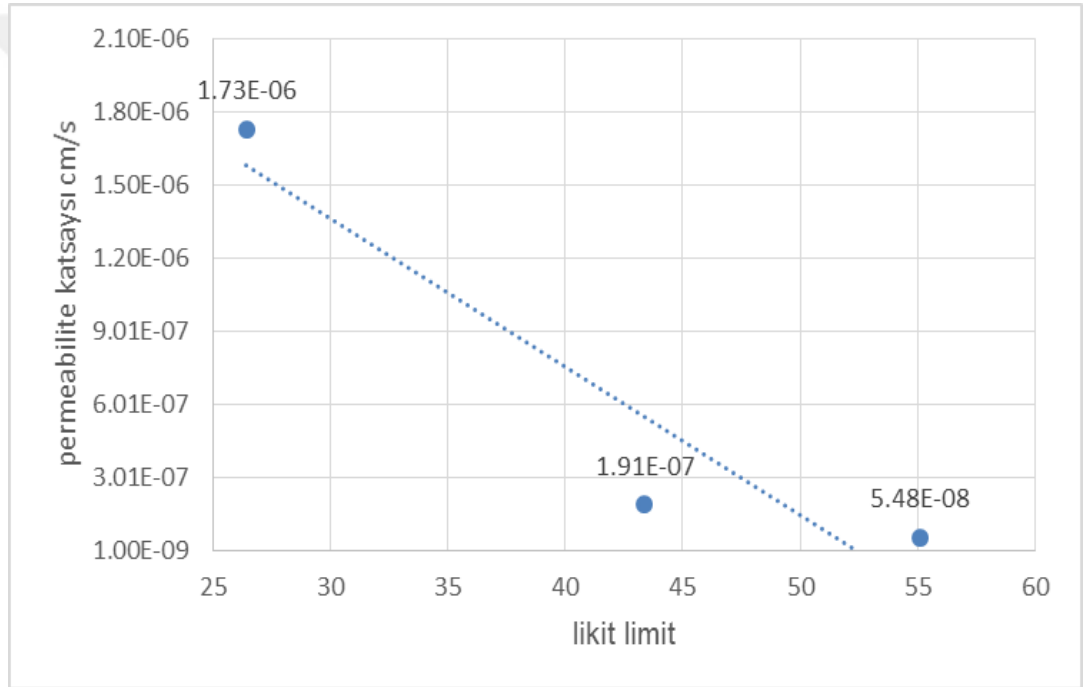
Oranlar	geçirgenlik katsayısı (cm/s)	e
80% k+% 20 B	1,73E-06	0,891
70% k+% 30 B	1,91E-07	0,887
60% k+% 40 B	5,48E-08	0,862

Boşluk oranına göre geçirgenliğin değişimi kuma eklenen bentonit çizelge 10.3'Te gösterilmektedir. Geçirgenlik katsayısı boşluk oranının bir fonksiyonudur ve genellikle geçirgenliğe karşı boşluk oranı üzerinde doğrusal

eğilim biçimini alır, Dolayısıyla boşluk oranının artışı ile birlikte geçirgenlik artışıdır.

Bir Zemin kütlesinden akabilen su hacmi, boşlukların sayısı veya toplam sayısından çok, boşluk açıklıklarının boyutuyla ilgilidir ancak Boşluk oranları genellikle ince taneli Zeminden daha büyük olsa da ince taneli Zeminler için, boşluklar çok küçük olduğunda, tüm akış hatları fiziksel olarak kanal duvarına yakındır ve bu nedenle sadece düşük hızda akış meydana gelir.

Bentonitte zaten küçük kanallardaki akış daha da engellenir çünkü boşluklardaki suyun bir kısmı kil partiküllerine tutunur veya adsorbe edilir, akış alanını azaltır ve akışı daha da kısıtlar. Bu nedenle $K_{bentonite} \lll K_{kum}$



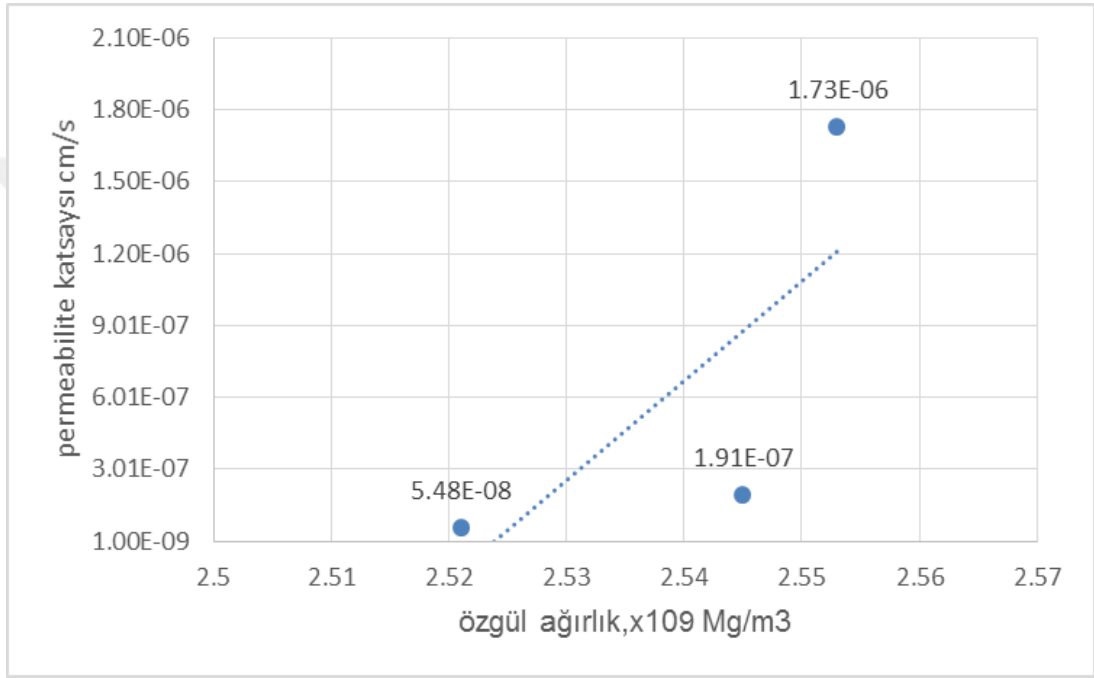
Şekil 10.3: Geçirgenlik katsayısı ile likit limit arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

Çizelge 10.4: Örnekler için k ve değerleri.

Oranlar	geçirgenlik (cm/s)	katsayısı	LL
% 80 k+%20 B	1,73E-06		26,44
% 70 k+%30 B	1,91E-07		43,39
% 60 k+%40 B	5,48E-08		55,01

Şekil 10.3 geçirgenlik katsayısı ile likit limit arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Likit limit arttıkça geçirgenlik katsayısı azalır. Aynı şekilde plastisite indeksi arttıkça geçirgenlik katsayısının azalması sağlanır. Bu durumun nedeni numunenin içinde kum oranı fazla olduğunda plastik limiti takriben sıfıra

yaklaşır. Bu davranışın açıklaması, zemin numunesinin plastisitesi arttıkça, zemin parçacıklarının suyu boşluklar arasında tutmayı tercih etmesi ve suyun boşluklardan geçme olasılığını azaltmasıdır. Bu nedenle plastik killi topraklar, belediye çöp sahaları ve barajların çekirdeği gibi çeşitli jeoteknik projelerde sızmayı engellemek için toprak bariyeri olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle plastik killi topraklar, belediye çöp sahaları ve barajların çekirdeği gibi çeşitli jeoteknik projelerde sızmayı engellemek için toprak bariyeri olarak kullanılmaktadır.



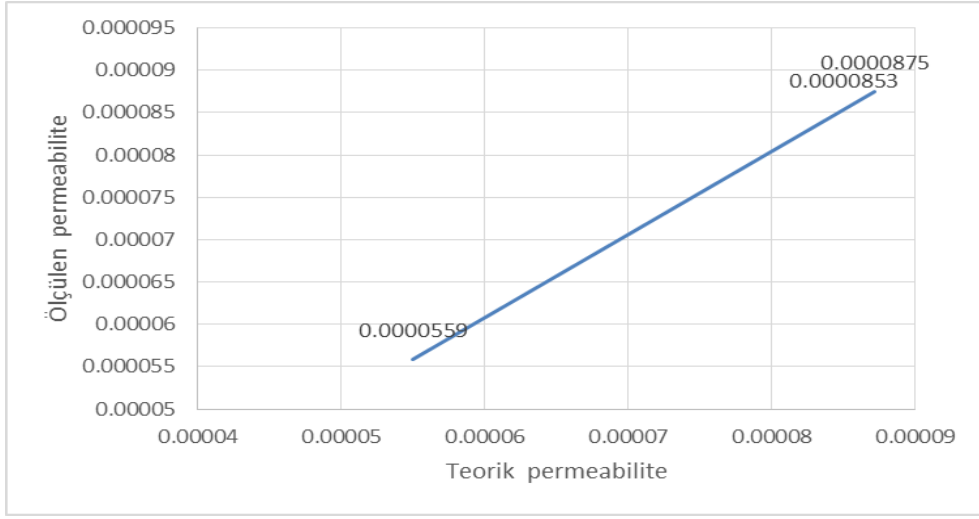
Şekil 10.4: Geçirgenlik katsayısı ve özgül ağırlık.

Çizelge 10.5: Farklı numuneler için G_s ve k değerleri.

Oranlar	Geçirgenlik katsayısı (cm/s)	Özgül ağırlık (Mg/m ³)
% 80 S+%20B	1,73E-06	2.55
% 70 S+%30B	1,91E-07	2.54
% 60 S+%40B	5,48E-08	2.52

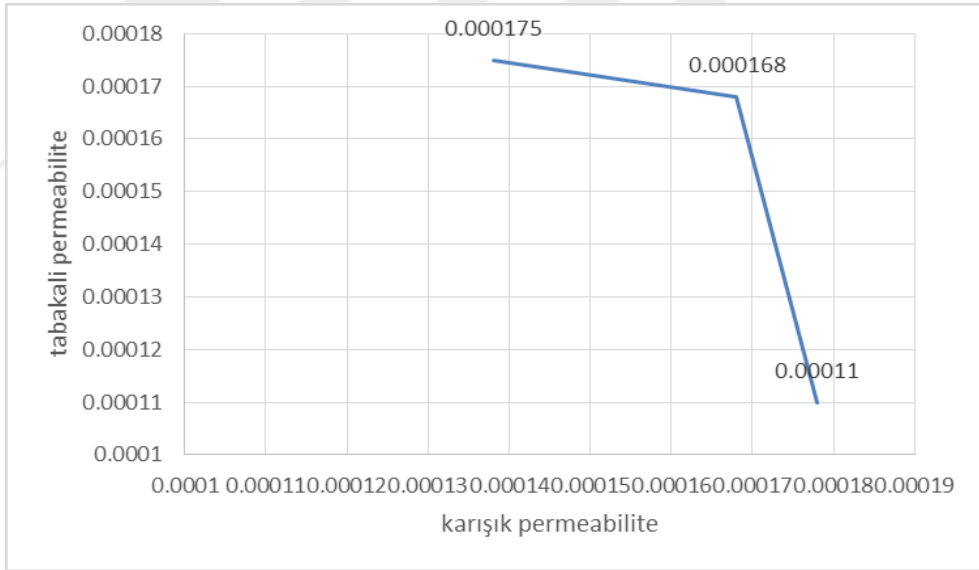
Şekil 10.4 geçirgenlik katsayısı ile özgül ağırlık arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Özgül ağırlık testi sonuçları belirtildiği gibi Yüzde yüz kumun özgül ağırlığı testin en yüksek özgüllüğüdür ve yüzde yüz bentonit kil numunesi, test numunesinin en düşük özgül ağırlığıdır. Karışım numunesinde, numunenin özgül ağırlığı arttıkça kum yüzdesinin de artması, numunenin özgül ağırlığını düşürdüğünde de azalması sonucunu göstermektedir. Diğer yandan numunede bentonit kili artarsa özgül ağırlık azalır ve bunun tersi de geçerlidir.

Özgül ağırlık arttıkça geçirgenlik katsayısı artar.



Şekil 10.5: 2.numune için ölçülen permealite ve teorik permealite

Grafiğe bakıldığında, ölçülen geçirgenlik çoğu durumda teorik geçirgenlikten daha büyüktür.



Şekil 10.6: tabakalı ve karışık permealite.

Çizelge 10.6: Karışık ve tabaklı numuneler için K

Oranlar	Karışık (K)	Tabakalı (K)
% 95k+% 5B	0.000138	0.000175
% 90k+% 10B	0.000132	0.000168
% 85k+% 15B	0.000113	0.000119

Tabakalı zeminler için grafiğe ve laboratuvaradan alınan sonuçlara bakıldığında, bentonit arttıkça geçirgenlik azalmakta ve kompozit geçirgenliği ise bentonit arttıkça azalmaktadır.

10.1 Sonuç

Bentonit ve kumlu zemin için Atterberg limiti, özgül ağırlık, elek analizi, proctor testi ve farklı zemin tiplerine, katman tipine, değişen oranlara ve pozisyona sahip iki katman ve sistem için laboratuvar çalışması yapılmıştır ve eşdeğer geçirgenlik katsayısının Darcy yasasından hesaplanan değerden farklı olduğu bulunmuştur. Çıkış tabakasının geçirgenliği, ölçülen geçirgenliğin tabakalı bir biriktirme için teorik değerlerden daha büyük veya daha az olup olmadığını kontrol eder. Bu çalışmada ölçülen geçirgenlik teorik geçirgenliğe göre daha büyüktür. Katmanlı sistem durumunda, bir toprağın geçirgenlik katsayısı, aynı zamanda zemin ve çevresindeki zemin (ler) arasındaki etkileşimin bir fonksiyonu gibi, boşluk oranı, kalınlığı ve zemin tipine ek olarak temas halinde olduğu yer görünmektedir ve bu nedenle, katmanlı bir sistemdeki bir toprağın geçirgenlik katsayısının, akış yönüne, nispi konumuna ve tabakanın kalınlığına da bağlı olduğu düşünülmelidir. Bu çalışma tamamen deneyseldir ve daha fazla çalışma ve dolayısıyla katmanlı zeminler için matematiksel bir denklem elde etme alanı açar ayrıca bu çalışmanın diğer bulgular aşağıdaki gibidir:

- Tabakalı katmanlarda çıkış tabakasının geçirgenliği, ölçülen geçirgenliğin teorik geçirgenlikten farklı olması gözlemlenmiştir.
- Birinci numune ve ikinci numuneye göre kuru birim hacim ağırlık arttığında, geçirgenlik katsayısının arttığı görülmektedir.
- Numunede iri dnelerin yüzdesinde artış ile birlikte boşluk oranını da yükselip geçirgenliği artırır.
- Likit limit arttıkça geçirgenlik katsayısı azalır.
- Plastisite indeksi ve plastik limit arttıkça geçirgenlik katsayısı azalır.
- Özgül ağırlık arttıkça geçirgenlik katsayısı artar.
- Ölçülen geçirgenlik çoğu durumda teorik geçirgenlikten daha büyüktür.

- Tabakalı zeminler için bentonit arttıkça geçirgenlik azalmakta ve kompozit geçirgenliği ise bentonit arttıkça artmaktadır.



KAYNAKLAR

- Alyamani, M.** (1993). Determination of hydraulic conductivity from grain size distribution curves. *Ground Water*, 551-555.
- Chegenizadeh, A., & Nikraz, H.** (2011). Permeability test on reinforced clayey sand. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 130-133.
- Cheng, C.** (2007). Evaluation of methods for determination of hydraulic properties in an aquifer-aquitard system hydrologically connected to river. *Hydrogeology Journal*, 669-678.
- Das, B.** (2008). *Advanced soil mechanics*. Taylor & Francis, New York, 567.
- DeGroot, D.** (2012). In situ measurement of hydraulic conductivity of saturated soils. *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 63-72.
- Gupta, P., & Singha, H.** (2015). Permeability of stratified soils for flow normal to bedding plane. *ScienceDirect*, 660 – 667.
- Gustavo, F. S., & Elsharief, A.** (July 15, 2004). Effects of Lime on Permeability and Compressibility of Two Tropical Residual Soils. *Journal of Environmental Engineering*.
- Haug, m.** ((February 1990)). Evaluation of In Situ Permeability Testing Methods. *Journal of Geotechnical Engineering*, 116-297.
- Hazan, A.** (1892). Some physical properties of sands and gravels. *Mass. State Board of Health, Ann*, 539-556.
- Holtz, R.** (2011). *An introduction to Geotechnical Engineering*. Prentice-Hall, Upper Saddle River, 853.
- İnsapedia.** (2019, Mart 9). Proctor Deneyleeri-Zeminlerin Sıkışma Özellikleri. Zeminlerin Sıkışma Özellikleri (Kompaksiyon): <https://insapedia.com/proctor-deneyleeri-zeminlerin-sikisma-ozellikleri/> adresinden alındı
- Jabro, J.** (1992). Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle size distribution. *American Society of Agricultural Engineers Journal*, 557-560.
- Jamshidi, C. R., & Behfar, B.** (December 2017). Stochastic Analysis of Seepage through Natural Alluvial Deposits Considering Mechanical Anisotropy. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 50(2): 233 – 253.
- Kenney, T.** (1984). Permeability of compacted granular materials. *Canadian Geotechnical Journal*, 726-729.
- Kozeny, J.** (1927). Uber kapillare leitung des wassers im boden. *Sitzungsber. Acad. Wiss. Wien*, 271-306.
- Kozłowski, T., & Ludynia, A.** (27 November 2019). MDPI.
- Mitchell, J.** (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*. John Wiley & Sons Inc, 592.
- Onur, E. M.** (May, 2014). Preidicting the permeability of sand soils form. *B.S., Middle East Technical University*, 4-7.

- Prakash, K., & Sridharan, A.** (2002). Permeability of two-layer soils. *Geotechnical Testing Journal*, 443-448.
- Prakash, K., & Sridharan, A.** (October 2013). Permeability of Layered Soils: An Extended Study. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(5):1639-1644.
- Stephenson, R.** (january 1989). Permeability of Clays Under Organic Permeants. *Journal of Geotechnical Engineering*, 120-131.
- Tabey, V.** (2019, NİSAN 20). Likit limit deneyi yapılırken tercih edilen yöntemler. VOLKAN ATABEY: <https://volkanatabey.com.tr/> adresinden alındı
- Terzaghi, K.** (1964). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Son, New York.
- Türk Standardı, Ts-1900. (Mart 2006 İnşaat mühendisliğinde zemin laboratuvar. Türk standartları enstitüsü. <https://www.geoengineer.org/education/laboratory-testing>.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mohammad Haroon Saeedi

Öğrenim Durumu

Yüksek Lisans: : İstanbul Aydın Üniversitesi
: inşaat mühendisliği 2019-2021

Lisans: : Herat University Afganistan
İnşaat mühendisliği bölümü 2011-2015

Lise: : Ostad Reyaz Lisesi
2007-2010

Mesleki Deneyim

CEO/Kurucusu : Hiper Etkinlik Yönetimi ve Çeviri Hizmetleri Şirketi
CEO/Kurucusu
Ocak 2015-2016

EVAW : (Kadına Şiddetin Ortadan Kaldırılması) kanunu (Simultane
Çeviri)
Nisan 2016-Ağustos 2017

JHCRC : JHCRC (Jaweed Haidery İnşaat ve Yol İnşaat Şirketi)
Ocak 2015 – Ocak 2016

Performans :

USAID : USAID'den mühendislik yönetimi üzerine bir kursu başarıyla
bitirdi