İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DALGAKIRAN ETRAFINDA DALGA ETKİSİ İLE OLUŞAN SIVILAŞMANIN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Volkan ÖZTUĞ
(517071012)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şevket ÇOKGÖR (İTÜ)
Eş Danışman : Y. Doç. Dr. Berrak TEYMUR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)
Prof. Dr. M. Emin SAVCI (İTÜ)
Doç. Dr. Hakan AKYILDIZ (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocalarım Doç. Dr. Şevket Çokgör ve Y. Doç. Dr. Berrak Teymur'a, çalışmalarımda ilgi ve yardımları dolayısıyla sayın hocam Prof. Dr. Sedat Kabdaşlı' ya, Araş. Gör. Veysel Şadan Özgür Kırca ve Araş. Gör. Adil Akgül'e, deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları dolayısı ile Aslı Yazıcı ve Esen Mikronize Maden San. Ve Tic. A.Ş., İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Laboratuarı ve İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuarı çalışanları ile çalışmalarım süresince her anımda yanımda olan arkadaşlarım Gökçen Kesgin ve Murat Aksel' e ve gösterdikleri sevgi, destek ve üstün sabır için aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2009 Volkan ÖZTUĞ

(İnşaat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ... **ix**
SEMBOL LİSTESİ ... **xi**
KISALTMALAR ... **xiii**
ÖZET ... **xv**
SUMMARY ... **xvii**
1. GİRİŞ ... **1**
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER ... **3**
2.1 Yapı Tiplerine Göre Dalgakıran Türleri ... 3
2.1.1 Dökme taş dalgakıranlar ... 3
2.1.2 Monolitik dalgakıranlar ... 4
2.1.3 Yüzen dalgakıranlar ... 4
2.1.4 Özel tip dalgakıranlar ... 5
2.2 Şevli Dalgakıranların Boyutlandırma Esasları ... 5
2.2.1 Dalga tırmanması ve kret kotu ... 5
2.2.2 Beton üst yapı veya dalga perdesi ... 6
2.2.3 Koruma tabakası ... 6
2.2.4 Çekirdek tabakası ... 6
2.2.5 Dalgakıran tipinin ve yerinin seçimi ... 7
2.2.6 Berm ... 7
2.3 Şevli dalgakıranların stabilitesi ... 7
2.4 Deniz Geotekniği ... 8
2.4.1 Deniz dibi zeminlerinin cinsleri ve özellikleri ... 9
2.4.2 Deniz dibi zeminlerinin sınıflandırılması ... 10
2.4.3 Geoteknik deney yöntemleri ... 12
2.4.3.1 Hidrometre analizi ... 13
2.4.3.2 Piknometre deneyi ... 14
2.4.3.3 Kompaksiyon deneyi ... 14
2.4.3.4. Serbest basınç deneyi ... 17
2.4.3.5 Kesme kutusu deneyi ... 19
2.4.3.6 Konsolidasyon deneyi ... 22
2.4.3.7 Siltte geoteknik deney sonuçları ... 25
2.5 Sıvılaşma ... 25
2.5.1 Kalıcı sıvılaşma ... 26
2.5.2 Anlık sıvılaşma ... 27
2.5.3 Kıyı yapılarında sıvılaşma ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar ... 29
2.6 Zemin İyileştirmesi ... 30
2.6.1 Taş kolonlar ... 30
2.6.2 Geotekstiller ... 30

3. DENEYSEL ÇALIŞMA 33
3.1 Kullanılan Malzemenin Özellikleri 33
3.2 Geoteknik Deneyler ve Sonuçları 36
3.2.1 Piknometre deneyi 36
3.2.2 Kompaksiyon deneyi 37
3.2.3 Serbest basınç deneyi 38
3.2.4 Kesme kutusu deneyi 40
3.2.5 Konsolidasyon deneyi 41
3.3 Dalga Kanalı Deneyleri 41
3.3.1 Deney kanalı 41
3.3.2 Deney düzeneği 41
3.3.3 Deney aletleri 44
3.3.3.1 Dalga ölçerler 44
3.3.3.2 Basınç ölçerler 44
3.3.3.3 Taş kolonlar 45
3.3.3.4 Geotekstil 46
3.3.4 Deney koşulları 46
3.3.4.1 Dalga ölçerlerin yerleşimi 46
3.3.4.2 Basınç ölçerlerin yerleşimi 47
3.3.4.3 Taş kolonların yerleşimi 48
3.3.4.4 Geotekstilin yerleşimi 50
3.3.5 Deney matrisi 51
4. DENEYSEL SONUÇLAR 53
4.1 Basınç Değişimleri 53
4.1.1 Doğal şartlardaki silt zemin 53
4.1.2 Taş kolonlarla ıslah edilmiş silt zemin 56
4.1.3 Geotekstille ıslah edilmiş silt zemin 58
4.2 Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 60
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 63
KAYNAKLAR 65
EKLER 69
ÖZGEÇMİŞ 83

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Zeminlerin dane çapına göre sınıflandırılması 12
Çizelge 3.1 : ESEN KALSİT K-7'nin kimyasal özellikleri 34
Çizelge 3.2 : ESEN KALSİT K-7'nin fiziksel özellikleri 34
Çizelge 3.3 : ESEN KALSİT K-7'nin diğer özellikleri 34
Çizelge 3.4 : ESEN KALSİT K-7'nin piknometre deney sonuçları 37
Çizelge 3.5 : ESEN KALSİT K-7'nin kompaksiyon deneyi sonuçları 37
Çizelge 3.6 : ESEN KALSİT K-7'nin serbest basınç deneyi sonuçları 39
Çizelge 3.7 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu deney sonuçları 40
Çizelge 3.8 : Deney matrisi 51
Çizelge 4.1 : Birinci deney seti sonucu varılan sonuçlar 56
Çizelge 4.2 : İkinci deney seti sonucu varılan sonuçlar 58
Çizelge 4.3 : Üçüncü deney seti sonucu varılan sonuçlar 59
Çizelge A.1 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 1. deney ölçümleri 71
Çizelge A.2 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 2. deney ölçümleri 72
Çizelge A.3 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 3. deney ölçümleri 73
Çizelge A.4 : ESEN KALSİT K-7'nin konsolidasyon deneyi ölçümleri 75
Çizelge B.1 : Birinci deneyde boşluk suyu basınçlarının değerleri 77
Çizelge B.2 : İkinci deneyde boşluk suyu basınçlarının değerleri 79
Çizelge B.3 : Üçüncü deneyde boşluk suyu basınçlarının değerleri 81

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deniz altı zeminlerinin sınıflandırılması 10
Şekil 2.2 : Zemin sınıflandırılmasında plastisite diyagramı 11
Şekil 2.3 : Hidrometre deneyi düzeneği 13
Şekil 2.4 : Kompaksiyon deneyi düzeneği 16
Şekil 2.4 : (devam) Kompaksiyon deneyi düzeneği.....17
Şekil 2.5 : Mohr dairesi ve derbest basınç deney düzeneği.....18
Şekil 2.5 : (devam) Mohr dairesi ve serbest basınç deney düzeneği 19
Şekil 2.6 : Kesme kutusu deney düzeneği 20
Şekil 2.6 : (devam) Kesme kutusu deney düzeneği 21
Şekil 2.7 : Konsolidasyon deney düzeneği.....24
Şekil 3.2 : Deneylerde kullanılan silt numunesinin SEM'de çekilmiş fotoğrafı 36
Şekil 3.3 : ESEN KALSIT K-7'nin optimum su muhtevası grafiği 38
Şekil 3.4 : ESEN KALSİT K-7'nin gerilme-şekil değiştirme grafiği.....39
Şekil 3.5 : ESEN KALSİT K-7'nin çekme gerilmesi-kayma gerilmesi grafiği 40
Şekil 3.6 : Deney düzeneği en kesit görüntüsü.....42
Şekil 3.7 : Kanalın şematik gösterimi 42
Şekil 3.8 : Deney düzeneğinin fotoğrafı.....43
Şekil 3.9 : Deney düzeneğinin en kesit fotoğrafı.....43
Şekil 3.10 : Basınç ölçerlerin hortumla bağlandığı aparatlar.....45
Şekil 3.11 : Taş kolonların görünüşü.....46
Şekil 3.12 : Deneyler esnasında yapılan dalga ölçümleri.....47
Şekil 3.13 : Basınç ölçerlerin yerleşiminin en kesit görünüşü.....48
Şekil 3.14 : Basınç ölçerlerin yerleşiminin plan görünüşü.....48
Şekil 3.15 : Taş kolonların yerleşiminin en kesit görünüşü.....49
Şekil 3.16 : Taş kolonların yerleşiminin plan görüntüsü.....49
Şekil 3.17 : Taş kolonların yerleşiminin fotoğrafı 50
Şekil 3.18 : Geotekstilin yerleşiminin en kesit görünüşü 50
Şekil 3.19 : Geotekstilin yerleşiminin plan görünüşü 51
Şekil 4.1 : Birinci deney setinin boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi.....53
Şekil 4.2 : Birinci deney seti boşluk suyu basınçlarının değişiminin yakından54
görünüşü.....54
Şekil 4.3 : Dalga tepesi geçişinde zeminin durumu 55
Şekil 4.4 : Dalga çukuru geçişi esnasında zeminin durumu 55
Şekil 4.5 : İkinci deney setindeki boşluk suyu basınçlarının değişimi.....57
Şekil 4.6 : Tıkanmış taş kolonun görüntüsü 58
Şekil 4.7 : Üçüncü deney setindeki boşluk suyu basınç değişimi.....59
Şekil 4.8 : Kayma dairesindeki TD103 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü
boşluk suyu basıncı grafiği 60
Şekil 4.9 : Topuk bölgesindeki TD106 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü
boşluk suyu basıncı grafiği 60
Şekil 4.10 : Topuk bölgesindeki TD107 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü
boşluk suyu basıncı grafiği 61

SEMBOL LİSTESİ

W : Ağırlık
I_p : Plastisite İndisi
ω_L : Likit Limit
a : Dalga Genliği
H : Dalga Yüksekliği
h : Sakin Su Seviyesi
L : Dalga Boyu
T : Dalga Periyodu
n : Porozite
e : Boşluk Oranı
S_r : Doygunluk Derecesi
γ : Birim Hacim Ağırlığı
γ_s : Dane Birim Hacim Ağırlığı
G_s : Dane Özgül Ağırlığı
ε_1 : Eksenel Şekil Değiştirme
φ : İçsel Sürtünme Açısı
c : Kohezyon Katsayısı
T : Kesme Kuvveti
N : Normal Kuvvet
A : Alan
σ : Normal Gerilme
τ : Kayma Gerilmesi
k : Permeabilite Katsayısı
c_v : Konsolidasyon Katsayısı
s_p : Nihai Oturma
d_m : Ortalama Drenaj Mesafesi
T_v : Boyutsuz Zaman Faktörü
m_v : Sıkışma Katsayısı
N_1 : Yük Çevrimleri Sayısı
σ' : Efektif Gerilme
D_r : Zeminin Rölatif Sıkılığı
p_1 : Dalga Tarafından Deniz yatağında Oluşturulan Basınç
λ : Dalga Sayısı
ω : Dalgaların Açısal Frekansı
p_b : Deniz Yatağında Oluşan En Büyük Basınç
p : Basınç

KISALTMALAR

LIMAS **:** Liquefaction Around Marine Structures Project
SEM **:** Scanning electron microscobe
AASHTO **:** American Association of State Highway and Transportation Officials

DALGAKIRAN ETRAFINDA DALGA ETKİSİYLE OLUŞAN SIVILAŞMANIN İNCELENMESİ

ÖZET

Son yıllarda yapılan araştırmalar siltli zeminlerin sıvılaşmaya müsait olduğunu, deprem dalgaları, deniz dalgaları, şok dalgaları gibi periyodik yüklemelerin bu tip drenajsız zeminlerde sıvılaşmaya yol açması sonucu zemin üzerindeki yapılarda ciddi hasarlara yol açtığını göstermiştir. Yapının taşıyıcı zeminde meydana gelen sıvılaşma sonucu yapıların zemine batması, lokal oturmalar neticesinde yapının yan yatması veya göçmesi gibi hasarlar gözlenmiştir. Bu hasarlar yapıları kullanılmaz hale getirebildiğinden ciddi can ve mal kaybına sebep olabilmekte, ekonomik faaliyetleri aksatabilmekte, 1999 İzmit depreminde T.S.K. Deniz Kuvvetleri'ne ait donanma tesislerinde olduğu gibi ülkenin stratejik yapılarını kullanılamaz hale getirebilmektedir.

Yukarıda özetlenen risklerden dolayı sıvılaşmanın çok iyi analiz edilmesi gerektiği açıktır. Sıvılaşmanın analizinde sıvılaşmanın hangi durumlarda, hangi zemin türlerinde, nasıl bir mekanizmayla gerçekleştiğini bilmek hayati önem taşır. Analize ek olarak sıvılaşmaya karşı alınabilecek tedbirlerin incelenmesi, deneysel çalışmalarla sınanması ve böylece sıvılaşma riski taşıyan bölgelerdeki yapıların korunması önem arz eden bir konudur.

Bu tez çalışması kapsamında %10 su muhtevasında silt bir zemin üzerinde inşa edilen 50 cm yüksekliğinde, 140 cm genişliğinde bir dökme taş dalgakırana ortalama 8 cm dalga yüksekliğine ve 1 saniye periyoda sahip düzenli dalgalar gönderilmiştir. Bu dalgaların dalgakıranın altındaki 20 cm kalınlığındaki silt zeminde yol açtığı sıvılaşma, açık deniz, kayma dairesi, topuk ve dalgakıranın ağırlık merkezinin izdüşümündeki zemin en kesitlerindeki boşluk suyu basınçlarının değişiminin gözlenmesi yoluyla incelenmiştir. Bu ölçümlerle sıvılaşmanın oluştuğu bölgeler ve bu bölgelerdeki basınç değişimleri gözlenerek sıvılaşma hasarlarına karşı yapıyı koruyacak tedbirler aranmıştır.

Bu çalışma kapsamında üç set deney yapılmıştır. Bu deney setlerinin birincisinde zeminde herhangi bir ıslah çalışması yapılmamış, dalgakıran altındaki silt zemin direk olarak dalga yüklerine maruz bırakılmıştır. Zemine dalga yüklerinin tesir etmesi sonucu zeminin bütün en kesitlerinde boşluk suyu basınçlarının yükseldiği gözlenmiş, bu yükseliş trendinin bir noktadan sonra durduğu ve bu andan sonra zeminin taşıma gücünü kaybederek bir sıvı gibi davrandığı ve dalgakıranı oluşturan taşların zemin içinde batarak ve kayarak dalgakıranı göçmeye sevk ettiği gözlenip kayıt altına alınmıştır.

İkinci set deneyde kayma dairesi ile topuk bölgesi arasına yerleştirilen altı adet taş kolonla drenaj sağlanmaya çalışılmış, böylece zemindeki boşluk suyu basınçlarının artması engellenmeye çalışılmıştır. Yerleştirilen taş kolonlar bir süre çalışmalarına rağmen zaman içinde tıkanarak drenaj işlevini yerine getirememeye başlamış, bunun

neticesinde sıvılaşma olmuş ve dalgakıranda hasar meydana gelmiştir. Bu deney sonucunda taş kolonların zeminin fırtınaya dayanma süresini artırdığı, fakat belli bir süre sonra tıkanarak zemini sıvılaşmaya karşı koruyamadıkları sonucuna varılmıştır.

Üçüncü deney setinde kayma dairesi ile topuk bölgesi arasına yerleştirilen geotekstil, yüzeydeki dalga yüklerinin zeminin iç kısımlarına tesir etmesini engellemiş böylece sıvılaşma süresini ciddi biçimde uzatmıştır. Fakat geotekstil de geçirimli olduğu için yine de dalgakıranda hasar meydana gelmiş fakat meydana gelen hasar, fırtına süresi göz önüne alındığında kabul edilebilir bir düzeyde kalmıştır.

WAVE-INDUCED LIQUEFACTION AROUND BREAKWATERS

SUMMARY

Recent research indicated that silty soils are susceptible to liquefaction, which is induced by cyclic loads such as earthquake waves, sea waves and shock waves in undrained soils like silt, causes serious damage to occur in the structure built on the soil. As a result of liquefaction that occured in the bearing soil, damages like sinking of the structure into the soil, declination and collapse of the structure caused by the local settlements had been observed. These damages can make structures unusable, may cause losses of life and estate, interrupt the economical activities and make the strategic structures of a country unusable as experienced at Izmit Earthquake in the Turkish Navy's Golcuk Base on August, 1999.

It is obvious that liquefaction should be analyzed very well due to the risks summarized above. It is crucial to know the conditions, the soil types and the mechanism of liquefaction during the liquefaction analysis. In addition to this analysis, examination and experimental testing of the precautions, thus protection of the structures in the areas which have the risk of liquefaction, is an important subject.

In this study, regular waves with a height of 8 cm and a period of 1 second were sent to a rubble-bound breakwater 50 cm high and 140 cm wide, which was constructed on a silty soil with a water content of 10%. The liquefaction caused by the waves on the 20 cm thick silty soil under the breakwater, was studied by observing the pore water pressure increase in the soil offshore, failure arc, toe and the projection of center of gravity of the breakwater. In this study, precautions against liquefaction damages were researched for by the observation of pore water pressure increment and the process of liquefaction in the areas which it has occured.

Three sets of experiments were made in this study. In the first set, none of the soil improvement techniques was applied to the soil, and it was exposed to the wave loads directly. It was observed and recorded that pore water pressures in the soil has been increased and this increment was stopped at a level of pressure as a result of exposition of wave loads to the soil. After this moment, bearing capacity of the soil reduced and the stones which made the breakwater sank and this led the breakwater to collapse.

In the second set of experiment, the drainage was maintained by six stone columns which were placed between the failure arc and the toe of the breakwater to prevent the increment of pore water pressures. The stone columns worked for a period of time but then they were clogged and could not function. Thus, liquefaction occured and the breakwater was damaged. As a result of this experiment, the stone columns increase the time of resistance of the soil to the storm but after some time, they clog and the soil can not resist liquefaction.

In the third set of the experiment, geotextile which was placed between the failure arc and the toe of the breakwater prevented the wave loads to reach the inner layer of the soil, so the resistance time of the soil to the liquefaction was lengthened. As a result of the permeability of the geotextile the breakwater was damaged, but considering the storm duration, the damage was tolerable.

1. GİRİŞ

Dalgakıranlar kıyıyı ve başta limanlar olmak üzere kıyı yapılarını dalga etkisinden korumak amacıyla inşa edilen yapılardır. Dalga etkisi de özellikle fırtına durumlarında çok ağır yükleri karşılayan dalgakıranların olası etkenlerden dolayı hasar görmesi, yıkılması veya işlevini yerine getirememesi kıyı şeridinde bozulmalara, kıyı çizgisinde değişmelere, limanların çalışamamasına, mesire yerlerinin insanlar tarafından kullanılamamasına sebep olur. Kıyı şeridindeki bozulmalar ve kıyı çizgisinde ki olası değişiklikler bölgedeki ekolojik dengenin değişmesine ve doğal hayatın düzenine tesir edebilir. Bunun dışında dalgakıranların işlevlerini yerine getirememesi kıyı bölgelerindeki ekonomik faaliyetlere de ciddi hasarlar verebilir. Dalga tesirinin limanlara tesir etmesi limandaki yükleme-boşaltmayı aksatacağı gibi gemilerin rıhtımlara veya birbirine çarpışmalarına sebebiyet verebilir. Kıyılardaki mesire yerlerine veya turistik tesislere büyük yükseklikteki dalgaların etki etmesi bu bölge ve tesislerdeki ekonomik faaliyetleri yoğun biçimde etkileyebilir. Özellikle limanlardaki dalga hasarları ekonomik zararın yanı sıra can kaybına da sebep olabilir.

Yukarıda bahsi geçen önemlerinden dolayı dalgakıranların olası yüklere ve hasarlara karşı çok dikkatli tasarlanması gerekir. Olası hasarların belirlenmesi ve ön görülebilmesinin önemi bu konudaki araştırmacılar ve mühendisler tarafından bilinmekte olup bugüne kadar bu konuda pek çok araştırmalar yapılmıştır.

Sıvılaşma da kıyı yapılarında rastlanan ve ağır sonuçlara sebep olabilecek bir olaydır. Sıvılaşma, gerek dalga etkisiyle gerek deprem etkisiyle oluşabildiğinden göz ardı edilmemesi gerek bir etkendir. Sıvılaşmanın hangi durumlarda meydana geldiği, hangi tip zeminlerde, ne tip yüklemelerde görüldüğü hakkında literatürde pek çok çalışma vardır.

Bu çalışmada da sıvılaşmanın oluştuğu şartlar incelenerek sıvılaşma hasarlarının, oluşma mekanizmasının, alınabilecek tedbirlerin belirlenmesi amaç edinilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER

Dalgakıranlar, kıyıyı, kıyıdaki yapıları ve tekneleri dalga tesirlerinden korumak amacıyla kıyı açığına inşa edilen uzun setlerdir.

Çok uzun yıllardır inşa edilen dalgakıranlar temelde 4 ana gayeyle yapılırlar. Bu amaçlar arasında kıyıdaki dalga etkilerini yok ederek liman veya yaklaşım kanalında gemilerin rahat hareket edebilmesini sağlamak, katı madde yığılmasını önleyerek liman ve kanallarda tarama ihtiyacını en aza indirmek, rıhtım alanları oluşturarak liman kapasitesini artırmak ve kıyıdaki akıntıları yönlendirmektir [1].

Kıyıya bağlı olmayan dalgakıranlar doğru tasarlandığında inşaatın bitmesinden hemen sonra katı madde tutmaya başlarlar. Katı madde hacminin yaklaşık %25 ile %50 si ilk yıl içinde tutulur, 3-4 yıl içinde denge durumuna gelir. Bu süreden sonra küçük veya orta düzeyde mevsimsel değişiklikler dışında dengede kalır [3].

Uzun yıllara yayılan gelişim sürecinin sonucunda, farklı taleplere cevap verebilmek amacıyla değişik dalgakıran tipleri inşa edilmektedir. Dalgakıranlar yapı tiplerine göre dört ana grupta toplanabilir. Bu gruplar, dökme taş dalgakıranlar, monolitik dalgakıranlar, yüzen dalgakıranlar ve özel tip dalgakıranlardır [1].

2.1 Yapı Tiplerine Göre Dalgakıran Türleri

Kıyı mühendisliği literatüründe değişik amaçlar için kullanılan çok sayıda dalgakıran türü vardır. Bu türlerin kullanıldıkları yerler ve tipleri mevcut şartlara göre farklılıklar göstermektedir [1].

2.1.1 Dökme taş dalgakıranlar

Dökme taş dalgakıranlar, sürtünme ve türbülans gibi etkiler sonucu dalganın tamamının yapı üzerinde sönümlenmesi dolayısıyla geriye yansımadığı dalgakıran türüdür. Dalga tesiri ile hareket etmeyecek ağırlığa sahip doğal ve/veya yapay bloklardan inşa edilen dökme taş dalgakıranlar Türkiye'de en çok kullanılan dalgakıran türüdür.

Dökme taş dalgakıranlar pek çok değişik malzemeden inşa edilseler de projelendirilmelerine göre dalganın üzerinden aşamayacağı veya zaman zaman aşacağı şeklinde iki gruba ayrılırlar. Dalgakıranlar inşa malzemelerine göre de sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmada dört ana grup vardır. Bu gruplar dökme tabii blok dalgakıranlar, dökme yapay blok dalgakıranlar, düzenli yerleştirilmiş dökme taş dalgakıranlar ve asfaltla güçlendirilmiş dalgakıranlardır. Oturma, işçilik, ekipman, işçilik gibi konularda her grubun belirli avantaj ve dezavantajları vardır [1].

2.1.2 Monolitik dalgakıranlar

Monolitik dalgakıranlar, dalga etkilerine karşı tek bir blok olarak duran ve yapım kolaylığı açısından genellikle düşey yüzlü olarak inşa edilen dalgakıranlardır.

Bu dalgakıran tipi yapım teknikleri ve kullanılan malzemeye göre sınıflandırılırlar. Bu sınıflandırma yerinde yapım düşey yüzlü dalgakıranlar, kesonlar, eğimli yüzeyli monolitik dalgakıranlar, geçirimli yüzeyli dalgakıranlar, yüzeyi dökme taşlı monolitik dalgakıranlar ve kompozit dalgakıranlardan oluşur. Bu türlerin de gene dayanıklılık, oturma, işçilik, ekipman, ekonomi, zemin vb. gibi konularda muhtelif avantaj ve dezavantajları vardır [1].

2.1.3 Yüzen dalgakıranlar

Yüzen dalgakıranları alternatif bir çözüm olarak öne çıkan etkenler arasında klasik dalgakıranların düşey bir duvar gibi davranarak katı madde taşınımını etkilemesi, yersel oyulma ve marina içerisinde su kalitesinin bozulması sayılabilir.

Yüzen dalgakıranların pek çok değişik tipi bulunmakla beraber bu tipler geometrik ve fonksiyonel benzerliklerine göre kutu tipi, duba tipi, mat tipi ve tethered tipi olmak üzere 4 ana sınıfta toplanabilir.

Dalga, yüzen dalgakıranlarda yapının şekli itibariyle yapının sadece üst kısmıyla etkileşir. Bu yapılarda dalgaların enerjisini viskoz sürtünme ve su parçacıklarının dairesel hareketini bozarak, dalga ile farklı fazda hareket ederek ve dalganın bir kısmını geri yansıtarak azaltırlar. Gelen dalganın bir kısmı geri yansıtılır, bir kısmı yapı tarafından sönümlendirilir ve bir kısmı yapı altından geçerek yoluna devam eder. Teorik olarak derin sularda dalga enerjisinin büyük bir bölümü su yüzeyine yakın bölümle etkileştiği için yüzen dalgakıran iyi bir koruma sağlar [1].

Yüzen dalgakıran tasarımında dikkat edilmesi gereken dört ana unsur vardır. Bunların birincisi batmazlık ve yüzme stabilitesi, ikincisi dalga iletimi, üçüncüsü demirleme kuvvetleri ve dördüncüsü dalgakıran birim yapısal tasarımıdır [4].

2.1.4 Özel tip dalgakıranlar

Özel koşullarda çok sınırlı olarak hava kabarcığı perdesi, plajlar, yağ örtüsü ve hidrolik perde gibi yöntemlerle dalga enerjisinin kırılması sağlanabilir [1].

2.2 Şevli Dalgakıranların Boyutlandırma Esasları

Doğal veya yapay bloklardan inşa edilen şevli dalgakıranlar çok eski bir yapı türü olmasına rağmen bu dalgakıran tipleri için eksiksiz ve her şarta uygun bir boyutlandırma kriteri yoktur. Bunun gerekçeleri incelenirse, bu sebeplerin yapının karşılaması gereken dalga yüklerinin kesin olarak belirlenememesi, dalgakıranın yapısal olarak çok zor ve çok kötü çözümlenebilmesi olduğu görülür. En ideal en kesiti dahi tanımlanamamaktadır.

Yukarıda bahsedilen sıkıntılara rağmen şevli dalgakıranların boyutlandırılmasında bir takım temel esaslar vardır. Uygulamalardan ve araştırmalardan elde edilen boyutlandırmanın ana elemanları kret kotu, şev eğimleri, arka şev ve kret için tabaka kalınlığı ve boyutları, ana koruma tabakasının üst seviyesi, ana koruma tabakasının alt seviyesi, ana koruma tabakasının tipi ve ölçüleri, topuk'un boyutları ve taş ölçüleri, filtre tabakasının üst seviyesi, filtre tabakasının taş boyutları ve çekirdek malzeme ihtiyacıdır. Bu parametreler dalgakıranın fonksiyonel gereksinimleri, hidrolik stabilitesi, malzeme temini, yapılabilirlik ve geoteknik stabilitesi kriterlerine göre değerlendirilir [1].

2.2.1 Dalga tırmanması ve kret kotu

Şevli dalgakıranların maliyetini belirleyen ana etken toplam hacimdir. Toplam hacimde yüksekliğin karesi ile orantılıdır. Dolayısıyla kret kotu çok önemli bir büyüklüktür. Kret kotu, kretin ve arka şev stabilitesinin izin verdiği ölçüde ve işlevini yerine getirmesini engellemeyecek kadar alçak olmalıdır. Dalganın, dalgakıranı aşıp aşmayacağının belirlenebilmesi için dalga tırmanmasının hesaplanması gereklidir çünkü dalganın aşıp aşmayacağı dalga tırmanmasının bir sonucudur. Dalga tırmanma yüksekliği, dalgaların tırmandığı en son noktanın sakin

su seviyesinden yüksekliğidir. Tırmanma yüksekliği dalga yüksekliği ve periyodu, şev eğimi, pürüzlülük, porozite, topuk su derinliği ve yapı önündeki deniz tabanı eğiminin bir fonksiyonudur [1].

2.2.2 Beton üst yapı veya dalga perdesi

Kret kotunu azaltmak veya kretin liman hizmetinde kullanılması için kreten yol geçirilebilmesi gibi amaçlar için dalgakıranların üst kısmına bir beton yol inşa edilir. Dalga tırmanma miktarı ve hızı, su seviyesi, şevlerin eğimi, pürüzlülüğü ve porozitesine bu yapıya etki eden kuvvetlerdir. Üst yapı için genel bir hesap yöntemi olmamakla beraber düşey duvarlara dalga tesirinin hesabına benzer bir yöntem kullanılmaktadır [1].

2.2.3 Koruma tabakası

İlk koruma tabakası şevli dalgakıranların en pahalı katmanıdır. Bunun için koruma tabakasının gereğinden daha büyük olmaması gerekir, aksi takdirde yapı ekonomik olmaktan çıkar. Bu tabaka sakin su seviyesinin dalga yüksekliğinin 1,5 katı kadar altından başlayıp en az krete kadar devam etmelidir. Dalga aşmasına izin verilmemişse bu tabakayı dalgakıranın arkasına kadar devam ettirmek gerekmez. Dalga aşmasının bulunduğu durumlarda ise koruma tabakası arka şevde sakin su seviyesinin altına kadar indirilmelidir.

Koruma tabakasının altında çekirdek tabakası, bu iki tabaka arasında ise bir filtre tabakası bulunmaktadır. Bu tabaka dalga tesiriyle çekirdek tabakadaki ince malzemenin yıkanmasını önlemek amacıyla yapılır. Doğal olarak filtre malzemesi de koruma tabakası arasından yıkanamayacak büyüklükte olmalıdır. Şevli dalgakıranın inşası esnasında koruma tabakası yerleştirilene kadar filtre tabakası deniz etkilerine maruz durumdadır. Bundan dolayı filtre tabakasının en azından kısa dönüş aralığına sahip dalga etkilerine karşı koyabilecek büyüklükte olması yapım kolaylığı açısından gereklidir [1].

2.2.4 Çekirdek tabakası

Şevli dalgakıranın en kesitinin en iç kısmında dalganın dalgakıranın içinden geçmesini engellemek amacıyla ince malzemeden oluşan bir çekirdek tabakası olmalıdır. Bu tabakadaki malzemenin kalınlığı belirlenirken malzemenin su ile hareket etme olasılığı göz ardı edilmemelidir [1].

2.2.5 Dalgakıran tipinin ve yerinin seçimi

Pek çok etken dalgakıran tipinin seçimini etkiler ve bu etkenleri değerlendirip en doğru kararı vermek ciddi bir deneyim gerektirir. Taş blokların sağlanma olanakları, su derinliğini ve belirgin dalga yüksekliği veya proje dalga yüksekliği bu etkenlerin başlıcalarıdır.

Dalgakıranlar, amaçlarını yerine getirebilmeleri için çok çeşitli şekillerde plana oturtulabilir. Bunun yanı sıra maliyeti düşürmek ve inşaatı kolaylaştırmak adına dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Dalgakıranın boyunun mümkün mertebe kısa olması, dalgakıran boyunca su derinliğinin mümkün olduğunca az ve sabit olması, taşların mümkün olduğunca kısa mesafeden sağlanması, taş ocağının yeterince büyük bloklar verebilmesi, dalgakıran boyunca taban malzemesinin çok zayıf olmaması gibi etkenler bunlar arasında sayılabilir [1].

İnşa edilecek olan dalgakıran bir liman içindeyse rıhtım özellikleri, gemi manevra alanları, yükleme boşaltma çalışmaları gibi liman faaliyetleri de göz önüne alınmalı, planda bu ihtiyaçlara göre yerleştirilmelidir [5].

2.2.6 Berm

Stabiliteyi artırmak ve koruma tabakasını tutmak amacıyla şevli dalgakıranların ön yüzünde ve topukta bir berm yapılır. Bunun şev eğimi, dalgakıranın arka yüzünün eğimiyle aynı seçilir [1].

2.3 Şevli dalgakıranların stabilitesi

Dalgakıranlar genelde ufak bir hasarı göz önünde bulundurarak yapılandırılır. Kullanılan blokların yer değiştirmesi veya oynaması hasar olarak tanımlanır. Bu yaklaşım statik stabilite yaklaşımıdır. Yapının daha küçük ve hafif elemanlardan oluşması daha ekonomik bir yaklaşımdır. Bu durumda yapıda dinamik etkiler oluşur. Bu yaklaşım ise dinamik stabilite yaklaşımıdır.

Şevli dalgakıranlar dalgayı geri yansıtmadıklarından, dalga bu yapıların üzerinde tırmanırken sürtünme ve türbülansla enerjisini kaybeder. Bu durum yapının çeşitli su etkilerine maruz kalmasına sebep olur. Gözlemler, daha önce yapılmış olan bloklu dalgakıranlarda beklenenden fazla hasar oluştuğunu göstermiştir. Bundan dolayı şevli dalgakıranların boyutlandırılmasında stabilite hesapları hayati bir önem taşır.

Bu hasarlar genellikle dalga verilerinin eksikliği nedeniyle model deneylerinin yetersiz ve blokların yeterince ağır olmaması, blokların altındaki tabakaların yeterli ölçü ve dağılımda olmaması, dalgakıranın üstünde bulunan yapıların çok ağır olması dolayısıyla dalgakıranın üst kısmının dağılması, topuk kısmının yetersizliği, çekirdek malzemesinin çok kaba olması, toprak erozyonu, taban malzemesinin yetersizliği, malzemenin kötülüğü, kötü işçilik, blokların kendisinin yeterli dirence sahip olmaması gibi nedenlerle oluşur.

Dalgakıranda yukarıda bahsedilen eksikliklerden bir veya birkaçının bulunması durumunda, kırılan dalgalar dolayısıyla tamamen yıkılma, dalganın hareketi nedeniyle blokların kaldırılması, özellikle dik şevlerde şevin tamamen kayması, blokların küçük hareketlere başlaması ve bu hareketlerin zamanla artarak stabiliteyi bozması, dalga perdesinin altının ayrılması, dalganın aşması sonucu iç şevin bozulması, suyun yapı içinde yükselerek yıkanmaya yol açması gibi hasarlar oluşur.

Bütün bu veri, bilgi ve gözlemler sonucunda dalgakıranların dört farklı stabilitesi olduğu görülmektedir. Bunlar tüm yapının stabilitesi, blokların tekil stabilitesi, blokların yapısal direnci ve geoteknik stabilitedir.

Stabilitenin en belirgin faktörü blokların ağırlığıdır. Çünkü dalgakırana tesir eden pek çok etkiye bloklar kendi ağırlıklarıyla karşı koyarlar. Bundan dolayı blok ağırlıklarının hesabı dalgakıranın stabilite hesabında çok önemli bir yere sahiptir.

Dalgakıranı oluşturan blokların hesabı uzun yıllar gözlem ve tecrübeye göre yapılmıştır. 1930'lardan sonra ise bu hesaplarda ampirik formüller kullanılmaya başlanmıştır. Bu deterministik yöntemler günümüzde de kullanılmaktadır. Bu deterministik yöntemlerin yanında yakın geçmişte geliştirilen probabilistik yöntemlerde kullanılmaktadır [1].

2.4 Deniz Geotekniği

Yeryüzünün yaklaşık %71'i denizler, %29'u karalarla kaplıdır. Bununla birlikte, ancak yakın zamanlarda, deniz tabanını teşkil eden çökeller, deniz geotekniğinin ve deniz jeolojisinin inceleme alanına girmiştir [6].

2.4.1 Deniz dibi zeminlerinin cinsleri ve özellikleri

Deniz dibi zeminler altı sınıfta toplanır. Bunlar:

1- Kumlu ve siltli deniz altı alüvyonları (Dane çapı 0,016 mm'den büyük malzeme).
2- Siltli ve killi deniz altı alüvyonları (Dane çapı 0,016 mm'den küçük malzeme).
3- Kırmızı killer (İnorganik deniz killeri için kullanılır).
4- Kalkerli çökeltiler / çamurlar (Değişik plankton ve bitki iskeletlerinden oluşur).
5- Kalkerli kum ve silt (Kum ve silt boyutlarında midye kabuğu ve mercan artığı parçacıklardan oluşur).
6- Silisli çökeller (%30 veya daha fazla silis bulunduran iskeletlerden oluşan birikimlerdir)

Çökeller niceliksel bakımdan yani doku ve kıvam yönünden farklı olabilirler. Nitelik olarak ise porozite, rölatif sıkılık, su muhtevası, hava muhtevası ve kıvam limitleri ile birbirlerinden ayrılabilirler.

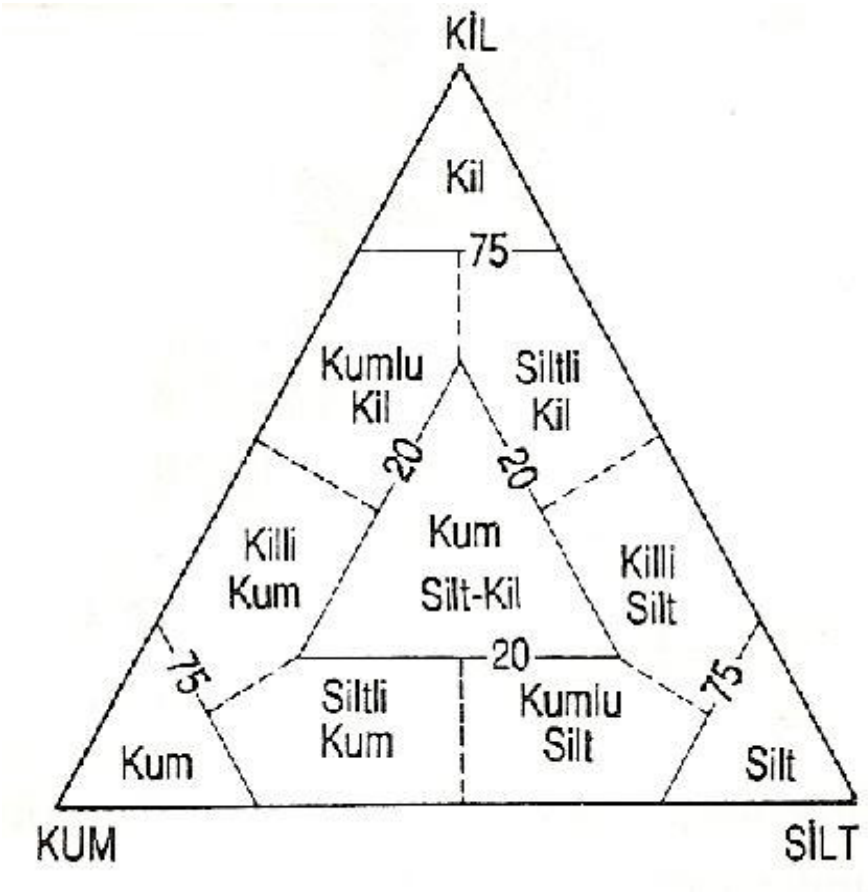
Doku terimi çökelin danecikleriyle ilgili özelliklerini, üniformluğunu, inceliğini ifade etmek için; yapı terimi ise çökelin genel fiziksel görünüşü ile ilgili özellikleri ifade etmek için kullanılır.

Porozite (n), bir zeminin boşluk hacminin toplam hacme oranını, boşluk oranı(e) ise boşluk hacminin danelerin kapladığı hacme oranıdır. Doygunluk derecesi (S_r) boşluklardaki su hacminin boşluk hacmine oranıdır. Birim hacim ağırlığı (γ), birim hacimdeki zeminin ağırlığıdır. Danelerin birim hacim ağırlığı γ_s, zeminin tabi birim hacim ağırlığı γ_n, kuru birim hacim ağırlığı γ_k, zeminin suya doygun ağırlığı γ_d olarak gösterilir.

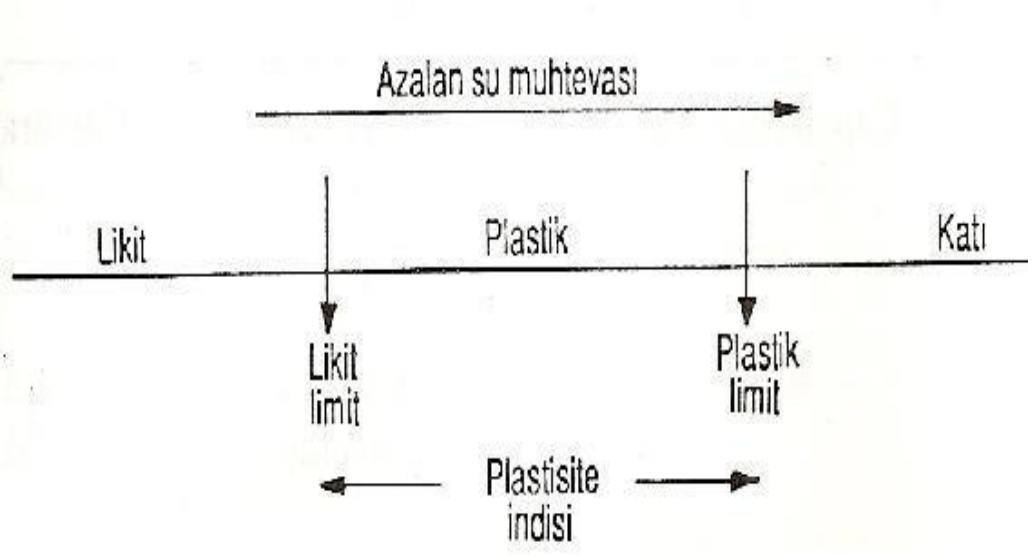
Bir çökelin su muhtevası (ω), içindeki suyun ağırlığının kuru ağırlığına oranıdır. Dane özgül ağırlığı (G_s), çökelin dane birim hacim ağırlığı ile suyun birim hacim ağırlığının arasındaki orandır. Bunlara ek olarak plastik özellik gösteren zeminlerde kıvam (Atterberg) limitleri, plasitisite indisi gibi özelliklerde belirlenebilir [6].

2.4.2 Deniz dibi zeminlerinin sınıflandırılması

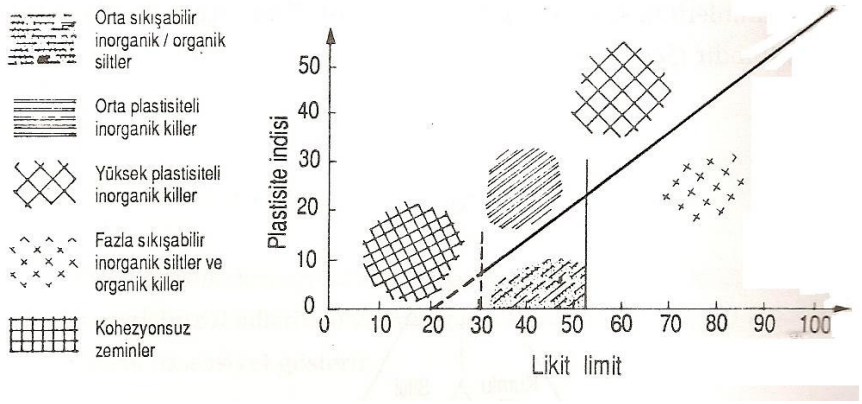
Deniz altı zeminlerinin sınıflandırılmasında değiştirilmiş üçgen sınıflandırma sistemi uygun bir gösterimdir. Bu sınıflandırma sistemi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Ayrıca kohezyonlu zeminlerde gruplar arası farkları ortaya koymak için plastisite diyagramını kullanmak uygun bir yöntemdir. Plastisite diyagramında düşey eksen plastisite indisi I_p'i, yatay eksen likit limit w_L'i göstermektedir. Bu sınıflandırmada kullanılan plastisite diyagramı Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Deniz altı zeminlerinin sınıflandırılması [6]



Şekil 2.1 : (devam) Deniz altı zeminlerinin sınıflandırılması [6]



Şekil 2.2 : Zemin sınıflandırılmasında plastisite diyagramı [6]

Zemin sınıflandırmasında bir başka önemli kriter dane çapına göre sınıflandırmadır. Dane çapı dağılımını belirlemek için yaygın biçimde kullanılan iki yöntem elek ve hidrometre analizleridir. Dane çapının 0,075 mm'den büyük olduğu kaba daneli zeminlerde elek analiziyle, 0,075 mm'den daha küçük olduğu ince daneli zeminlerde hidrometre analiziyle dane çapı dağılımı belirlenir. Çizelge 2.1'de zeminlerin dane çaplarına göre sınıflandırılması gösterilmektedir [6].

Sınıflandırmadan elde edilen bilgilere ek olarak yapının inşa edileceği zemin hakkında yeterli bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu gerekli bilgiler temelde yapının türüne ve büyüklüğüne göre belirgin bütün zemin ve kaya tabakalarının alanları,

derinlikleri ve kalınlıkları, inşaat sahasında ve yapının stabilitesini etkileyebilecek çevredeki zeminlerin özgül ağırlık, kayma mukavemeti, sıkışabilirlik, kohezyon sıvılaşma meyili gibi özellikleri, yer altı suyunun yeri, seviyesi, kimyasal içeriği ve artezyen basınçlarıdır. İhtiyaç duyulacak bilgiler bunlarla sınırlanmamakla birlikte yukarıdaki bilgiler mutlaka olmalıdır [7].

Çizelge 2.1 : Zeminlerin dane çapına göre sınıflandırılması [6]

Grup	**Çap aralığı (mm)**	**Alt Grup**	**Çap Aralığı (mm)**
Blok	> 600	İri blok	>2000
Taş	600 - 60	İri taş	600 – 200
		Ufak taş	200 – 60
Çakıl	60 – 2	İri çakıl	60 – 20
		Orta çakıl	20 – 6
		İnce Çakıl	6 – 2
Kum	2 - 0,06	İri kum	2 - 0,6
		Orta kum	0,6 - 0,2
		İnce kum	0,2 - 0,075
Silt	0,06 - 0,002	Kaba silt	0,075 - 0,02
		Orta silt	0,02 - 0,006
		İnce silt	0,006 - 0,002
Kil	< 0,002		

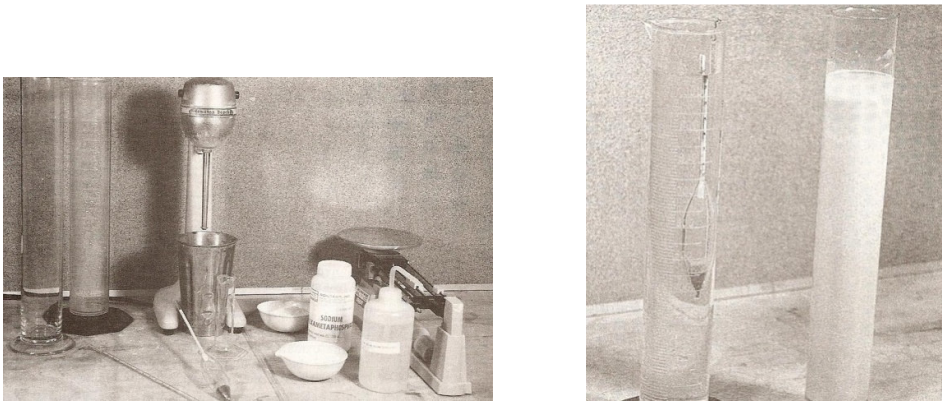
2.4.3 Geoteknik deney yöntemleri

Yapının üzerine inşa edileceği zeminin özelliklerini bilmek boyutlandırma, stabilite gibi etkenlerin belirlenmesi konusunda çok önemlidir. Zeminin taşıma gücü yapının boyutlandırılmasında belirleyici bir etkendir. Zeminin dalgakıran tasarımında bilinmesi gereken temel özellikleri arasında endeks özellikleri, birim hacim ağırlıkları, taşıma gücü ve permeabilitesi sayılabilir. Bu özelliklerinin belirlenmesi için bir takım laboratuar deneylerine ihtiyaç vardır [8]. Aşağıda bu deneyler anlatılacaktır.

2.4.3.1 Hidrometre analizi

Hidrometre analizi, dane çapı 75 μm'den daha küçük olan zemin türlerinin dane çapı dağılımlarının belirlenmesi için yapılan bir analizdir. Hidrometre deneyinin temel mantığı Stokes yasasını esas alır. Farklı boyut ve şekillerdeki zemin danelerinin birbirleriyle etkileşmeden, kendi ağırlıklarıyla çöktüğü varsayımına dayanmaktadır.

Deney düzeneği 2 adet 1 g/cm^3 hassaslığında dereceli silindir, termometre, hidrometre, 2 adet porselen kap ve yeterli miktarda sodyum hexametafosfat ile damıtık sudan oluşur. 50 g zemin numunesi 24 saat etüvde kurutulduktan sonra sodyum hexametafosfat çözeltisinin içerisinde 24 saat bekletilir. Çözeltide bekletilmiş numune damıtık su ile 1 ile 10 dakika arasında karıştırılır. Elde edilen karışım daha sonra dereceli silindire eklenerek içerdeki karışım damıtık su eklenerek 1000 ml'e tamamlanır. Deneye başlamaya yaklaşık 1 dakika kala dereceli silindirin ağzı kauçuk tıpayla dışarıya karışım kaçmayacak şekilde tıkanır ve iyice karıştırılır. Uniform dağılmış bir karışım elde etmek için deney başlayana kadar bu işlem birkaç kez tekrarlanır. Daha sonra hidrometre yavaşça karışımın içine konur. Hidrometrenin salınımı durduktan sonra 15 saniye, 30 saniye, 1 dakika, 2 dakika, 4 dakika, 8 dakika, 15 dakika, 30 dakika, 1 saat, 2 saat, 4 saat, 8 saat ve 24 saat okumaları yapılır. Her okumadan sonra hidrometre yavaşça kaptan çıkarılır ve bir sonraki okumadan yaklaşık bir dakika önce yavaşça tekrar dereceli silindire yerleştirilir. 2 dakika okumasından sonraki her okumada termometre ile su sıcaklığı ölçülür. Elde edilen verilerin standart formülasyona uyularak hesaplanması sonucu zemin numunesinin dane çapı dağılımı hesaplanır. Hidrometre deney düzeneği Şekil 2.3'te gösterilmiştir [8].



Şekil 2.3 : Hidrometre deneyi düzeneği [8]

2.4.3.2 Piknometre deneyi

Zeminlerin özgül ağırlığı, zeminin aynı hacimdeki, 4 C°'deki distile suya göre rölatif ağırlığıdır. Genellikle ağırlık ve hacim arasında ilişki kurmak amacıyla kullanılır. Özgül ağırlık minerallerin sınıflandırılmasında da kullanılır. Fakat zeminlerin özgül ağırlıkları çok dar bir banda düştüğü için zeminlerin sınıflandırılmasında sınırlı değeri vardır.

Zeminlerin özgül ağırlıklarını bilmek, yoğunluğu ve nem oranını bildiğimiz için boşluk oranını, poroziteyi ve doygunluk oranını belirlemeyi kolaylaştırır. Aynı zamanda nemli bir zeminde birim ağırlığı da bu verilerle hesaplayabiliriz. Birim ağırlıklar neredeyse her yük-oturma ve stabilite problemlerinin çözümünde gereklidir. Zeminin özgül ağırlığı aynı zamanda pek çok laboratuar deneylerinin hesabında gereklidir.

Piknometre yöntemi laboratuarda kullanılan standart bir yöntem olmakla beraber başka yöntemlerde kullanılmaktadır. Piknometre deneyinin temel prensibi kütle korunumuna dayanmaktadır. Zemin numunesi içindeki boşlukların su tarafından doldurulması, zeminin özgül ağırlığını verir.

Deney kapsamında ilk olarak piknometre kabı tartılır ve W_1 olarak kaydedilir. Daha sonra piknometre kabına etüvde kurutulmuş zemin numunesinden 15-20 gram kadar konularak tekrar tartılır ve W_2 olarak kaydedilir. Daha sonra hava içermeyen distile su kabın yarısına kadar gelecek şekilde kaba doldurulur. Kabın içindeki havanın boşaltılması için kap vakumlanır ve daha sonra hava içermeyen distile su ile doldurulup tıpa tıkanır. Yüzey kurulandıktan sonra tartılıp değer W_3 olarak kaydedilir. Daha sonra kap boşaltılır ve tekrar distile su ile doldurulur tartılır ve değer W_4 olarak kaydedilir. Ölçülen değerler kullanılarak özgül ağırlığının belirlenmesinde denklem 2.1 kullanılır [9].

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad \textbf{(2.1)}$$

2.4.3.3 Kompaksiyon deneyi

Kompaksiyon; zeminin tabaka tabaka serilerek, silindirleme, vibrasyon, tokmaklama gibi işlemlerle zemin danelerinin birbirine yaklaştırılması ve aralarındaki hava boşluklarının azaltılması sonucu daha sıkı bir yerleşime sahip olmalarını sağlayan

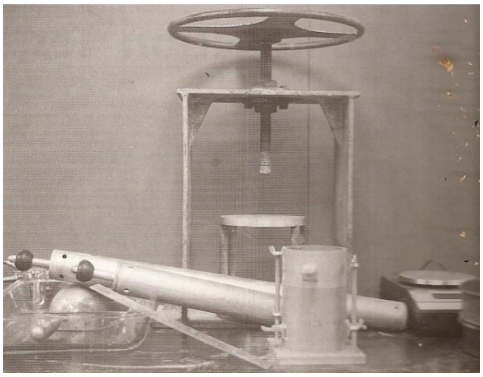
mekanik işlemler olarak tanımlanabilir. Danelerin birbirine yaklaşabilmesi için uygulanan yüklerin yanında zemin içindeki su miktarının da önemi vardır. Zeminin su içeriği yükseldikçe boşluklardaki havanın bir kısmı hapsedileceği için oluşan basınç artışı kompaksiyonu zorlaştırmaktadır. Zemin tamamen suya doygun ise hidrostatik basınçtan dolayı kompaksiyon mümkün olmayacaktır. Zemin içinde yeterli su bulunduğu zaman daneler arasındaki sürtünme azalacaktır. Böylece danelerin birbirine yaklaşması ve hareket etmeleri kolaylaşacaktır. Zemin içindeki su miktarının anlatılan bu iki etkisi de göz önüne alınarak zeminin en iyi ve kolay sıkışabileceği bir su içeriği belirlenmelidir. Bu su içeriğine optimum su muhtevası denir.

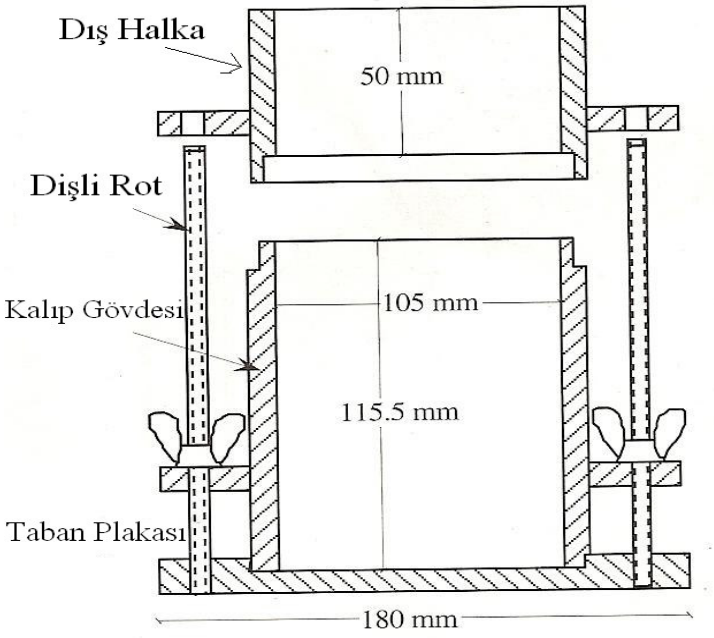
Laboratuvarda yapılan bir deney olan kompaksiyon deneyi, numunenin kuru birim hacim ağırlığıyla su muhtevası arasındaki ilişkiyi belirlemek ve en yüksek kuru birim hacim ağırlığı ile optimum su muhtevasını bulmak için kullanılır. Deneyin temel mantığı zemin numunesinin değişik su muhtevalarında eşit miktarlarda sıkıştırılarak optimum su muhtevasının bulunmasıdır. Değişik su muhtevalarındaki numuneler tartılarak, bilinen hacimde kuru birim hacim ağırlık bulunur. Kuru birim hacim ağırlığı – su muhtevası grafiğinin tepe noktası optimum su muhtevasını verir. Deneyin yapılması için bir adet, iç çapı 105 mm, iç yüksekliği 115,5 mm olan, 1000 cm^3 hacminde, silindir biçiminde metal kalıp, 50 mm çapında dairesel bir tabanı olan, 2,5 kg ağırlığında, (tokmağın, serbest düşüşünü 30,5 cm'e ayarlayabilen bir düzeni olmalıdır) kolayca çıkarılabilen bir taban plakası ile 5 cm yüksekliği olan bir yakası bulunan metal tokmak, 1 g hassasiyetli terazi, palet bıçağı, çelik cetvel, 4 numaralı elek ve tavası ve bir metal tepsidir. İlk olarak yeterli miktarda numune 4 numaralı elekten elenir. Daha sonra bir miktar numune ilk su muhtevası değerinde hazırlanır. Sert bir yüzeyde duran kalıp, yaklaşık yarısına kadar numuneyle doldurulduktan sonra kalıptaki numune tokmakla farklı noktalarına 25 defa kendi ağırlığında serbest bırakılmak suretiyle sıkıştırılır. Daha sonra bir önceki etaptakine yaklaşık olarak eşit miktarda numune eklenerek sıkıştırma işlemi tekrarlanır.

Bu işlem üçüncü kez tekrarlanır. Üçüncü işlem sonucunda kalıp tamamen numuneyle dolacak şekilde ayarlanmalıdır. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra kalıbın üst ve taban kısmı sökülür ve kalıp ve numune beraber tartılıp veriler kaydedilir. Daha sonra zemin numunesi kalıptan dikkatlice çıkarılır ve çıkarıldığı anda su

muhtevasının belirlenmesi için üç numune alınır. Bu numunelerin su muhtevası belirlenir.

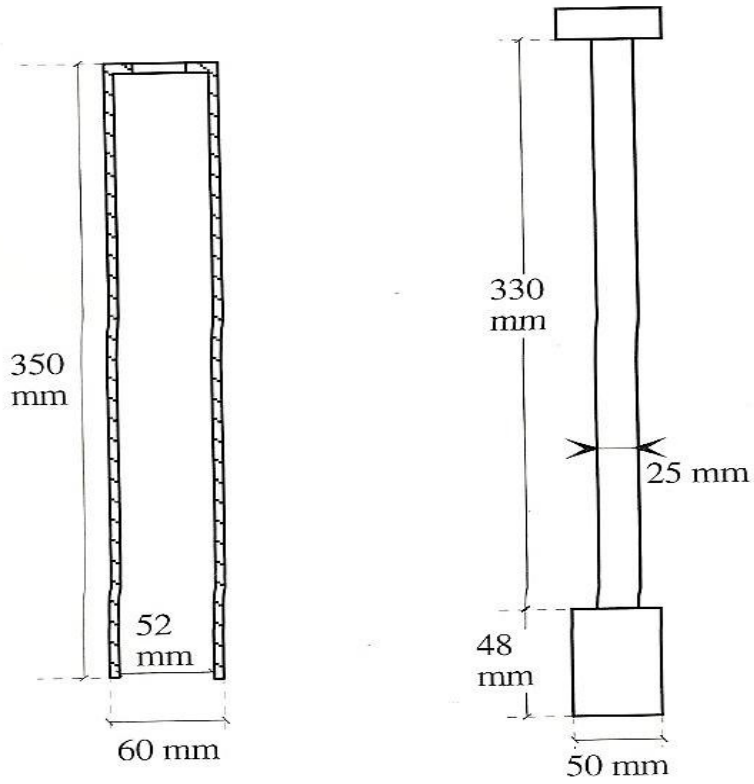
Bütün bu işlem 5 veya daha fazla değişik su muhtevasında uygulanır. Elde edilen veriler ışığında kuru birim hacim ağırlığı – su muhtevası grafiği çizilerek optimum su muhtevası ve optimum su muhtevasındaki kuru birim hacim ağırlık belirlenmiş olur. Kompaksiyon deney düzeneği Şekil 2.4'te gösterilmiştir [8].





Şekil 2.4 : Kompaksiyon deneyi düzeneği [8]





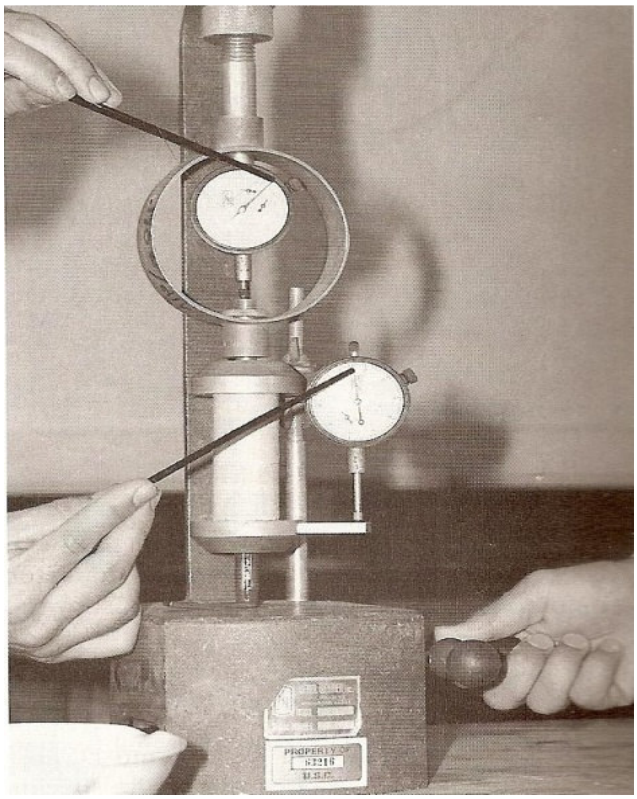
Şekil 2.4 : (devam) Kompaksiyon deneyi düzeneği [8]

2.4.3.4. Serbest basınç deneyi

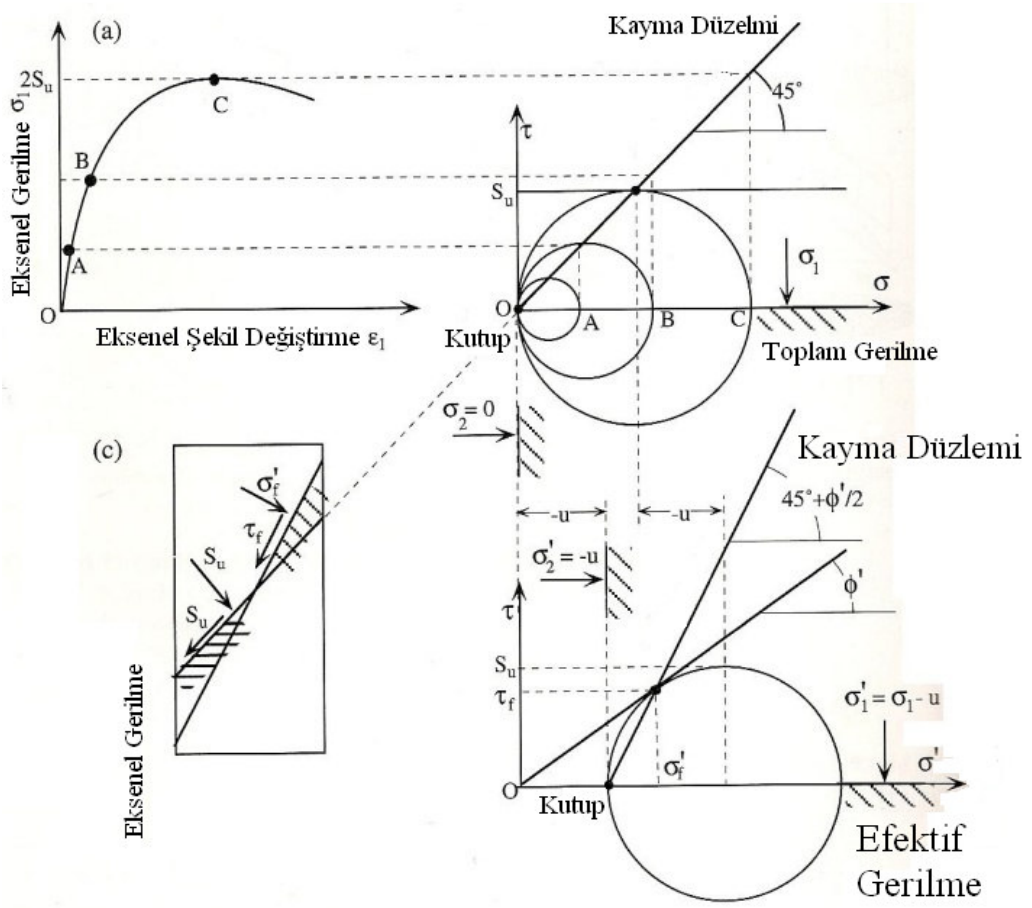
Serbest basınç deneyi zeminin drene edilmemiş kayma mukavemetini belirlemek amacıyla laboratuarda yapılan bir deneydir. Yanlardan desteklenmeyen silindirik zemin numunesi sadece eksenel yüklere maruz bırakılır. Yüklemenin yapıldığı alt ve üst yüzeyler sürtünmesiz kabul edilerek sadece eksenel gerilme σ_1'i ilettiği varsayılır. Genelde iyi derecelendirilmiş, doygun ve düşük geçirimliliği olan zemin

numunelerinde serbest basınç deneyi uygulanır. Yüklemenin başında eksenel gerilme (σ_1) ve eksenel şekil değiştirme (ε_1) sıfıra eşittir dolayısıyla Mohr dairesi orijindedir. Eksenel gerilme arttıkça numune deforme olur. Mohr dairesinin yarıçapı drenajsız kayma mukavemetini verir.

Optimum su muhtevasında hazırlanmış silindir numunenin çapı, yüksekliği ve ağırlığı belirlenir. Nem kaybının engellenmesi için numune vakit kaybedilmeden serbest basınç deney aletine konur. Deney başladıktan sonra düşey boy kısalmalarına tekabül eden kuvvet halkası okumaları deney föyüne kaydedilir. Numune kırılana kadar deneye devam edilir. Kaydedilen değerlerden düşey yük, birim yer değiştirme ve düzeltilmiş alan hesaplanır. Düşey yükün düzeltilmiş alana bölünmesiyle eksenel gerilme hesaplanır. Daha sonra kayma gerilmeleri de hesaplanarak Mohr dairesi çizilir. Buna ek olarak gerilme yer değiştirme grafiği çizilir. Serbest Basınç deney düzeneği Şekil 2.5'te gösterilmiştir [8].



Şekil 2.5 : Mohr dairesi ve derbest basınç deney düzeneği [8]



Şekil 2.5 : (devam) Mohr dairesi ve serbest basınç deney düzeneği [8]

2.4.3.5 Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi zeminin sürtünme açısı (φ), kohezyon (c) ve drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için laboratuar ortamında yapılan bir zemin deneyidir. Temel prensibi zemin numunesine aynı anda kesme kuvveti T ile normal kuvvet N'i uygulayarak numunenin kırıldığı gerilmeleri belirlemektir. Numunenin kırıldığı gerilme değerleri zeminin dayanımına eşittir. A alanı numunenin kesit alanı ise uygulanan kesme kuvvetinin alana bölünmesi kayma gerilmesi τ'u, normal kuvvet N'nin aynı alana bölünmesi ise normal gerilme σ'i verecektir. Kayma gerilmesi c, φ ve σ 'ya bağlı olduğundan, τ belirlendiğinde c ve φ değerleri de belirlenebilir.

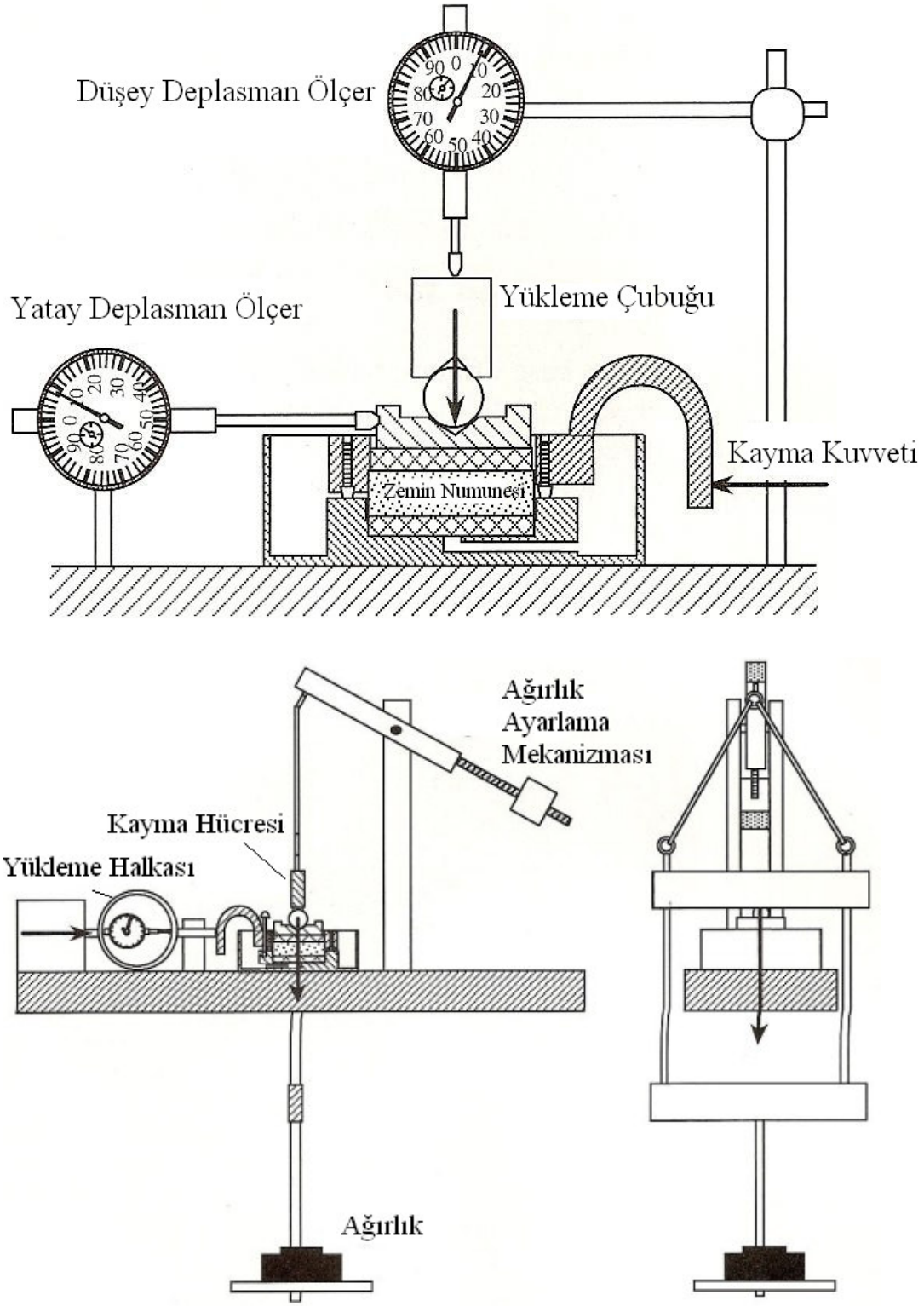
Optimum su muhtevasında sıkıştırılarak hazırlanmış, maksimum birim hacim ağırlığındaki zemin numunesi özel kesme kutusuna yerleştirilir. Numune düzenek içerisinde iki poroz taş arasındadır. Bu poroz taşlar numunenin kaymasını minimize ederek zemin ile kesme kutusu arasındaki kesme kuvveti iletimini geliştirir. Aynı

zamanda drenajı da sağlarlar. Kesme kutusu deneyi yer değiştirme kontrollü veya kuvvet kontrollü olarak yapılabilir. Yer değiştirme kontrollü olarak yapıldığında numunenin üst kısmı belli oranlarda yatay olarak itilerek kesme kuvveti ölçülür. Kuvvet kontrollü olarak yapılan kesme kutusu deneylerinde ise kesme kuvveti belirli oranlarda artırılarak yer değiştirme ölçülür.

Numune deney düzeneğine yerleştirildikten sonra 24 saat 1 kg/cm^2 normal yük uygulanarak düşey deplasmanını yapması için beklenir. Bu süre sonunda düşey deplasman kaydedilerek numune yüklenmeye başlanır. Belirlenen yatay deplasman değerlerinde kuvvet halkasındaki değerler ve düşey deplasman saatindeki değerler okunarak kaydedilir. Bu işlem yeterli yatay deplasman değerine kadar devam eder. Okumalar bittikten sonra numunenin su muhtevası ölçülür. Bu işlem 2 kg/cm^2 ve 3 kg/cm^2 normal yükler ile 2 defa daha tekrarlanır. Elde edilen veriler ışığında üç normal yükleme için her değere karşılık gelen kayma gerilmeleri hesaplanır. Maksimum normal gerilmelerinde düzeltilmiş alana göre hesaplanmasının ardından kayma gerilmesi – normal gerilme grafiği çizilir. Grafikteki doğrunun yatayla yaptığı açı sürtünme açısını verir. $\tau = c + \sigma \tan\varphi$ eşitliğinden kohezyon hesaplanır. Bunlara ek olarak üç σ değeri için kayma gerilmesi – yatay deplasman grafiği çizilir. Kesme Kutusu deney düzeneği Şekil 2.6'da gösterilmiştir [8].



Şekil 2.6 : Kesme kutusu deney düzeneği [8]



Şekil 2.6 : (devam) Kesme kutusu deney düzeneği [8]

2.4.3.6 Konsolidasyon deneyi

Konsolidasyon oturması, yük altında zemin içindeki suyun dışarı atılması ile zamanla meydana gelen düşey doğrultudaki deplasman olup killi ve siltli zeminler için söz konusudur. Bu zeminlerde k permeabilite katsayısı küçük olduğu için suyun dışarı atılması uzun zaman alır. Dolayısıyla bu oturma zamana bağlı olarak gelişir. Killi ve siltli zeminlerde boşluklardaki suyun statik basınç altında dışarı çıkması ile oluşan konsolidasyonun zamanla artışı boşluk suyu akım hızına bağlıdır.

Deney düzeneğinde zemin numunesi iki poroz taş arasında yerleştirilmiştir. Numune zamana bağlı olarak yüklenir. Zamanla artarak yüklenen numune daha sonra zamanla boşaltılır. Deney düzeneği konsolidasyon yüklemesi aleti, konsolidasyon hücresi, deplasman ölçer ve kronometreden oluşur. İlk olarak optimum su muhtevasında hazırlanmış numune ring içine yerleştirilir ve altı ve üstü poroz taşla kapatılır. Ringin yüksekliği ve çapı ölçülerek kaydedilir. Hazırlanan hücre konsolidasyon yükleme aletine yerleştirilir ve hücrenin yerleştirildiği bölüm suyla doldurulur. Deney başlamadan önce numuneye uygulanacak yük serisi belirlenir. Her bir yükleme durumu için 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60 dakika 2, 4, 8 ve 24 saatteki düşey deplasman saati okumaları yapılır ve kaydedilir. 24 saat okumasından sonra bir sonraki yükleme kademesine geçilir ve aynı işlem tekrarlanır. Daha önceden belirlenmiş yükleme kademelerin en yükseğine gelinip işlem tamamlandıktan sonra boşaltma aşamasına gelinir. Yük artırımındaki aynı işlem bu sefer tam tersi yönde, yani yük boşaltılarak yapılır. En düşük yük kaldırılana kadar daha önce bahsedilen zaman aralıklarındaki düşey deplasman değerleri kaydedilir. Bu işlemler sonucunda deney tamamlanmış olur. Deney bittikten hemen sonra deneyde kullanılan zemin numunesi ıslak olarak tartılır. Tartımdan elde edilen değer kaydedildikten sonra numune etüve atılır ve 24 saat sonra tamamen kuru haldeyken tartılarak deney sonu su muhtevası belirlenir.

Deney sonrası hesaplamalar için öncelikle zemin numunesini konsolidasyon deneyi için karakterize eden değerler belirlenmelidir. Bu değerler deney başı su muhtevası (ω_0), deney başı boşluk oranı (e_0), doygunluk derecesi (S_{r0}) ve kuru birim hacim ağırlığıdır (γ_{d0}). Bu değerler deney başında kaydedilen ringin yüksekliği, çapı ve özgül yerçekimi ivmesinin de kullanılmasıyla hesaplanır. Su muhtevası ve boşluk oranı deney sonunda da hesaplanarak deney sonu su muhtevası (ω_f) ve deney sonu

boşluk oranı (e_f) olarak kaydedilir. Doygunluk derecesi deney sonunda %100 olacağından tekrar ölçülmez. Daha sonraki aşamada düşey deplasman saatindeki okumalardan faydalanarak numunenin t zamanındaki h yüksekliği 2.2 denklemi ile hesaplanır.

$$h = h_0 - d_0 + d(t) - h_c(\sigma) \quad \textbf{(2.2)}$$

Bu denklemde h_0 numunenin ilk yüksekliği, d_0 başlangıçta okunan değer, d(t) t zamanındaki okunan değer, h_c yükleme kesitinden kaynaklanan düzeltme katsayısı ve $h_c(\sigma)$ yükleme değiştiği zaman yükleme kesitindeki değişimden kaynaklanan deformasyon için kullanılan katsayıdır. Birincil konsolidasyon katsayısı c_v 2.3 denklemi ile hesaplanır.

$$s(t) = s_f U(T_v) \qquad T_v = c_v t / d_m^2 \quad \textbf{(2.3)}$$

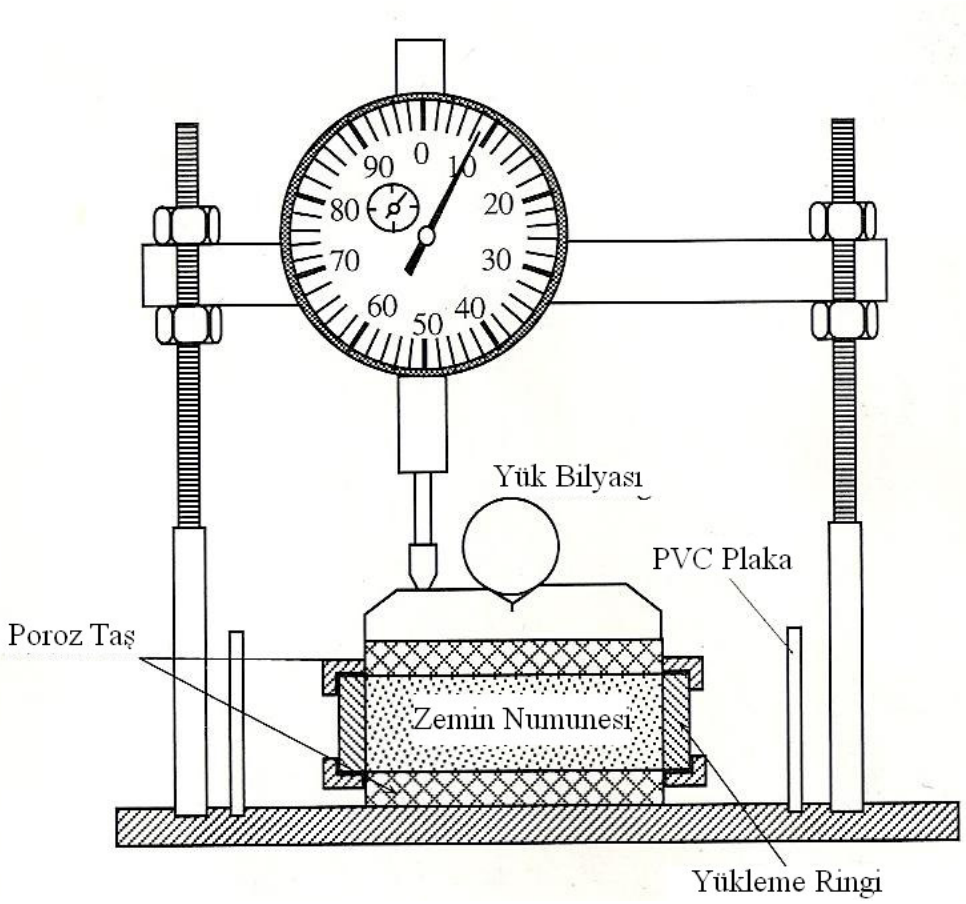
Bu denklemlerde s_f nihai oturma, d_m ortalama drenaj mesafesi, T_v boyutsuz zaman faktörüdür. Bu denklemlerden konsolidasyon katsayısı c_v'nin hesaplanması için dört tane yöntem vardır. Bu yöntemlerin en yaygın olanları logaritma-zaman yöntem ve karekök zaman yöntemleridir. Bu iki yöntemin dışında regresyon analizine dayanan iki yöntem daha vardır. Konsolidasyon katsayısının belirlenmesinden sonra sıkışma katsayısı 2.4 denklemi ile hesaplanır.

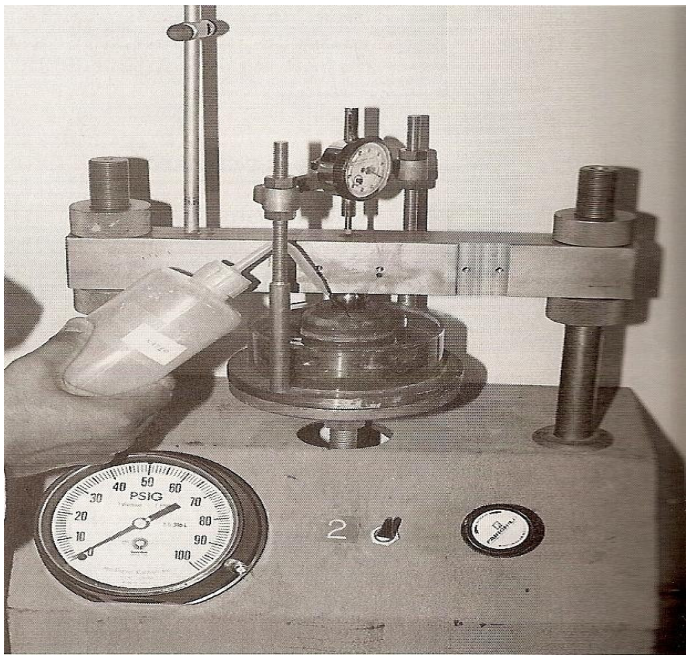
$$m_v = \left(\frac{e_1 - e_2}{1+e_1}\right)\left(\frac{1}{\sigma_2' - \sigma_1'}\right) \quad \textbf{(2.4)}$$

Bu denklemde e_1, σ_1' gerilmesindeki boşluk oranını, e_2 ise σ_2' gerilmesindeki boşluk oranını gösterir. Hesaplanan bu değerlerin kullanımıyla zeminin permeabilite katsayısı (k) 2.5 denklemi ile hesaplanır.

$$k = c_v m_v \gamma_w \quad \textbf{(2.5)}$$

Bu deney sonucunda, zeminin yükleme altındaki konsolidasyon oturmasını belirleyen değerler ve zeminin permeabilitesini belirleyen değerler hesaplanabilir. Konsolidasyon deney düzeneği Şekil 2.7'de gösterilmiştir [8, 10, 11].





Şekil 2.7 : Konsolidasyon deney düzeneği [8]

2.4.3.7 Siltte geoteknik deney sonuçları

Özellikle 1999 Kocaeli depreminden sonra siltlerin geoteknik özellikleri ile ilgili ülkemizde önemli sayıda çalışmalar yapılmıştır. Depremin en etkili olduğu bölgelerden Adapazarı'nda zemin 1000m derinliğe kadar genç akarsu çökelleri üzerinde toplanmıştır. Yapılan araştırmalar bu bölgelerde ince oranı %90'lara kadar çıkabilen düşük plastisiteli ve non-plastik siltlerini meydana gelen hasarlarda rol oynadığına yönelik belirtiler bulunduğundan siltlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde araştırmalar yoğunlaşmıştır [12].

Yapılan çalışmalar bu tür flüviyal kökenli tabakalarda konsolidasyonun beklenenden çok hızlı tamamlandığını göstermiştir. Bu çalışmaların sonucunda deniz ve nehir çökellerinden oluşan siltlerin oturmalarını çok hızlı tamamladığı sonucuna varılmıştır [13].

Sıvılaşmaya sebep olabilecek deprem, dalga, şok gibi yüklere maruz kalabilecek yapıların zeminlerinin dinamik özelliklerinin bilinmesi ve önlem alınması hayati bir önem taşımaktadır. Yapılan dinamik geoteknik deneylerin sonucunda siltlerdeki boşluk suyu basınçlarının periyodik yüklemelerde bir süre boyunca artış trendi izlediği, daha sonra artış trendinin durduğu veya çok yavaş arttığı gözlenmiştir. Bu veriler siltlerin periyodik yüklemelerde sıvılaşacağını göstermekte, silt zeminler üzerinde yapılacak yapılarda sıvılaşmaya karşı tedbir alınması gerektiğini ortaya koymaktadır [14].

2.5 Sıvılaşma

Geoteknik mühendisliği terminolojisinde sıvılaşma, zemin daneleri arasındaki efektif gerilmelerin sıfır olması durumu olarak geçer. Periyodik kayma gerilmelerinin zeminde oluşması sonucu kayma dalgaları zeminde yayılır ve bu yayılma boşluk suyu basıncını artırır. Geçirimsiz veya düşük geçirimli zeminlerde su drene olamadığı için boşluk suyu basınçları artmaya devam eder. Bu artış bir noktadan sonra su-sediment karışımının bir bütün olarak sıvı gibi davranmasına sebep olur. Zeminin bir akışkan gibi davranması sonucu zeminin taşıma gücü olmadığından üstündeki yapı göçer. Bu göçmelerin sonuçları çok ağır olabilir. Gömülü boruların deniz yüzeyine çıkması, tekil blokların deniz yatağına batması gibi olaylar sıvılaşmanın sebep olduğu hasarlar arasında sayılabilir. Sıvılaşma sürecinin temel

elemanları dalga tesiri altında zeminde oluşan gerilmeler, boşluk suyu basıncı ve yüzey akımlarıdır [15, 16, 17].

Literatürde daha önce deniz mühendisliği yapılarında sıvılaşma hasarları ile ilgili yayınlar yapılmıştır. Bu yayınlar arasında fırtına esnasında boru hatlarının bazı kısımlarının zemin yüzeyine çıktığı [18,19], Mississippi Deltasında ki yumuşak killi sedimentlerde fırtına etkisiyle boşluk suyu basınçlarının yükselmesi sonucu sahadaki ölçüm aletlerinin çoğunun 2-4.5 m toprağa battığı [20], Japonya'nın Niagata sahilindeki beton bloklardan oluşan açık deniz dalgakıranlarının gözle görülür şekilde battığı sayılabilir [21].

Sıvılaşma temelde iki mekanizmadan oluşur. Bunların birincisi boşluk suyu basıncının sürekli yükselmesi sonucu oluşan kalıcı sıvılaşma, ikincisi ise dalga geçişi sırasında zeminin düşey basınç değişkeninin yukarı doğru olması sonucu oluşan anlık sıvılaşmadır [15]. Aşağıda kalıcı ve anlık sıvılaşma açıklanacaktır.

2.5.1 Kalıcı sıvılaşma

Kalıcı sıvılaşmayı tanımlamanın en kolay yolu yatay bir deniz yatağı üzerindeki bir dalganın ilerlemesi referans alınmasıdır. Dalganın ilerlemesi esnasında deniz yatağı periyodik bir basınç değişimine maruz kalır. Dalga geçerken oluşan dalga tepelerinin altında artan su derinliği dolayısıyla basınç artışı, oluşan dalga çukurları altında ise azalan su derinliği dolayısıyla basınç düşmeleri olur. Basınçların yönleri sonucu dalga tepesi altında sıkışan zemin, dalga çukuru altında gevşer. Dolayısıyla su-zemin ara yüzü su derinliğiyle orantılı olarak yaklaşık 180º yön değiştirir. Bu değişiklikler zeminde kayma gerilmelerinin oluşmasını sağlar. Bu gerilmeler dalga ilerlediği sürece periyodik olarak devam eder. Eğer dalga etkisi altındaki zemin gevşek bir zeminse bahsi geçen kayma gerilmeleri ve bunların sonucu meydana gelen kayma deformasyonları zemin danelerinin zemindeki boş hacme doğru hareket etmesine yol açar. Bu etki drenajsız ortamlarda boşluk suyu basıncının artmasına yol açar. Dalga devam ettikçe, boşluk suyu basıncı artmaya devam eder. Boşluk suyu basıncının artışı anlık efektif gerilmeye ulaşacak ve burada sona erecektir. Bu durumda zemin daneleri birbirlerinden bağımsız olur ve tamamen serbest hareket etmeye başlarlar. Bütün yük su tarafından taşınmaya başlanarak efektif gerilme sıfır olur. Bunun sonucu olarak zemin akışkan gibi davranır ve de boşluk suyu basıncının artması sonucu sıvılaşma meydana gelir. Boşluk suyu basıncının artması sonucu oluşan

sıvılaşma sadece dalga hareketi sonucu değil, deprem, şok yükleri (bir şevin ani biçimde göçmesi, patlama vs.) ve diğer periyodik yükler sonucu oluşan sürekli yüklemelerde de oluşabilir.

Yukarıda ki açıklamalardan anlaşılacağı üzere boşluk suyu basıncının artması için zemindeki boşluk suyunun drenajı sıfır veya çok küçük olmalıdır. Eğer su, zeminden nispeten çabuk bir şekilde kaçabilirse boşluk suyu basıncı dengelenir ve boşluk suyu basıncında belirgin bir artış olmaz. Bu da gösteriyor ki boşluk suyu basıncı artışı pratikte düşük geçirimli zeminlerde olabilir (Örn. Silt).

Benzer şekilde periyodik yüklemenin frekansı yeterli derecede büyük olursa boşluk suyu basıncında artış meydana gelir. Eğer frekans düşük olursa, artan boşluk suyu basıncı hızla arttığı gibi hızla da düşer. Dolayısıyla boşluk suyu basıncında belirgin bir artış gözlenemez [15, 22, 23].

Sıvılaşma analizindeki bir başka önemli değer de sıvılaşmaya sebep olan N_l yük çevrimleri sayısıdır. Bu değer temelde 2.6 denklemindeki parametrelere bağlıdır.

$$N_l = f(\tau, \sigma_0', D_{r)} \quad \textbf{(2.6)}$$

Yukarıdaki denklemde τ, zemine tesir eden periyodik kayma gerilmesinin genliğini, σ_0' zeminin anlık efektif gerilmesini, D_r ise zeminin rölatif sıkılığını göstermektedir. D_r 2.7 denklemi ile ifade edilebilir.

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad \textbf{(2.7)}$$

2.6 denkleminde e boşluk oranını, e_{max} ve e_{min} sırasıyla en büyük ve en küçük boşluk oranlarını göstermektedir [15].

2.5.2 Anlık sıvılaşma

Sıvılaşmayı oluşturan ikinci mekanizma ise boşluk suyu basıncının düşey değişim grafiğinin değişikliğinden kaynaklanan anlık sıvılaşma mekanizmasıdır. Bu mekanizmada sıvılaşma dalga çukurunun altında gerçekleşir. Dalga çukurlarının altında basıncın işareti negatiftir. Tamamen doygun zeminlerde bu basınç değişimi düzenli bir şekilde olurken doygun olmayan zeminlerde ise bu düşey değişim derinlikle beraber çok hızlı değişir. Bu hızlı değişim, zeminin tamamen doygun olmadığında içeriğinde bulunan hava ve/veya gazdan dolayı oluşur. Tamamen

doygun zeminlerde basınç değişim gradyeni çok büyük değildir. Tam doygun olmayan zeminlerde ise bu basınç gradyeni z derinliğinin çok küçük değerlerinde çok büyük olabilir. Bu büyük değişim, dalga çukurunun altındaki zemin yüzeyinde önemli bir kaldırma kuvvetine sebep olabilir. Eğer bu kaldırma kuvveti zeminin su altındaki ağırlığını aşarsa zemin taşıma gücünü kaybeder ve sıvılaşır. Bu sıvılaşma sadece dalga çukuru geçerken oluşur. Dalga periyodunun geriye kalan kısmında ise zemin sıvılaşmamış haldedir [15].

Zemin tabaka derinliği *z*, σ_0' z derinliğindeki anlık efektif gerilme olarak kabul edilirse, dalga altındaki zeminin, t = 0 anında, z derinliğinde maruz kaldığı normal gerilme 2.8 denklemi ile ifade edilebilir.

$$\sigma_0' + p_1 \quad \textbf{(2.8)}$$

p_1 dalga tarafından deniz yatağında oluşturulan basınçtır. p_1 2.9 denklemi ile tanımlanabilir.

$$p_1 = p_b \exp[\, i\, (\lambda x + \omega t)] \quad \textbf{(2.9)}$$

λ, 2.10 denklemiyle tanımlanan dalga sayısı, ω, 2.11 denklemiyle tanımlanan, dalgaların açısal frekansı, $i = \sqrt{-1}$, p_b deniz yatağında oluşan en büyük basınç değeridir. p_b 2.12 denklemiyle tanımlanabilir.

$$\lambda = \frac{2\pi}{L} \quad \textbf{(2.10)}$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \textbf{(2.11)}$$

$$p_b = \gamma_w \frac{H}{2} \frac{1}{\cosh(\lambda h)} \quad \textbf{(2.12)}$$

2.10 denkleminde L dalga boyu, 2.11 denkleminde T dalga periyodu, 2.12 denkleminde γ suyun özgül ağırlığı, H dalga yüksekliği, h ise su derinliğidir.

2.7 denkleminde gösterilen zemindeki normal gerilme zemin tarafından eşit olarak dağıtılır ve t zamanındaki boşluk suyu basıncı 2.13 denkleminde tanımlandığı gibi olur.

$$\sigma_0' + p_1 = \sigma' + p \quad \textbf{(2.13)}$$

σ', t zamanında ve z derinliğindeki normal gerilmenin zemin kısmını (efektif gerilme), p ise su kısmını temsil eder. 2.14 denkleminde σ' kısmını çözersek:

$$\sigma' = \sigma_0' - (p - p_1) \quad \textbf{(2.14)}$$

Zemin sıvılaştığında σ' = 0 olur ve 2.15 denklemi yazılabilir.

$$\sigma_0' - (p - p_1) = 0 \quad \textbf{(2.15)}$$

Basit olarak zemin bu durumda hiç yük taşımaz ve göçer [24, 25].

2.5.3 Kıyı yapılarında sıvılaşma ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar

Kıyı yapılarında görülen sıvılaşma ile ilgili literatürde çok sayıda çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar deneysel ve analitik çalışmalar olarak ikiye ayrılabilir. Avrupa Birliği destekli bir proje olan "Liquefaction around Marine Structures (LIMAS)" bu çalışmalar arasında en kapsamlı olanıdır. Pek çok Avrupa ülkesinden araştırmacıların yer aldığı bu proje sonucunda kıyı yapıları çevresinde oluşan sıvılaşma hakkında pek çok veri elde edilmiştir. Çalışmalar sonucunda sıvılaşmanın iki değişik mekanizmayla oluştuğu gözlenmiştir. Yukarıda detaylı biçimde anlatılan bu iki mekanizma kalıcı sıvılaşma ve anlık sıvılaşmadır. Sahada gözlenen anlık sıvılaşma gözlemlerinden bir tanesi Fransa'da yapılmış, ölçümlerde boşluk suyu basıncı sürekli olarak artmamasına rağmen dalga geçişleri esnasında sıvılaşmanın olduğu gözlenmiştir. Bu anlık sıvılaşma esnasında zemin içinde bulunan hava dolayısıyla kabarcıklar gözlenmiştir. Bu çalışmada ek olarak anlık sıvılaşmanın mekanizması Fourier Serisi açılımıyla çözümlenmiştir [26]. LIMAS kapsamında Sumer, Fredsoe ve Christensen, 1999'da yayınlanan çalışmasında, dalga yüklerinin tesiri sonucu, laboratuar kanalında siltli zemindeki boşluk suyu basınçlarının belirli bir seviyeye kadar yükseldiği, daha sonra da durduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler kalıcı sıvılaşmadaki boşluk suyu basınçlarının değişim trendini ortaya koymuştur. Tabana yerleştirilen bir borunun sıvılaşma sonucu battığının gözlendiği deneylerde sıvılaşmanın tabandan itibaren belli bir derinliğe kadar olduğu ve yapının batma miktarının yapının şeklinden bağımsız olduğu ortaya konmuştur [27]. van Kessel ve Kranenburg, 1998 yılında yayınladıkları çalışmalarında sıvılaşma esnasında zeminin taşıma gücünü kaybetmesine sebep olan gerilmeleri incelemiştir. Boşluk suyu basınçlarının değişimi sonucu artan kayma gerilmeleri sonucu, zemin kayma mukavemetine ulaşarak taşıma gücünü kaybeder ve yapı hasar görür [28]. Tsai, 1995

yılında yayınlanan çalışmasında dalga tesiriyle dalgakıran önünde, poroz deniz yatağında meydana gelen sıvılaşmanın analitik çözümlemesini yapmıştır. Çalışmasında analitik çözüme ek olarak sıvılaşmaya zeminin doygunluğun etkisi ve sıvılaşma potansiyelini incelemiştir [29].

2.6 Zemin İyileştirmesi

Yapının inşa edileceği zemin, istenilen mühendislik özelliklerini göstermiyorsa zeminde iyileştirme yöntemleri uygulanır. Bu yöntemler çok çeşitli olmakla beraber başlıcaları zemini değiştirme, sıkıştırma (kompaksiyon), jet grout, taş kolonlar, geosentetiklerin kullanımı sayılabilir. Kıyı yapılarındaki zemin iyileştirmesi çok sıklıkla yapılır. Kıyı yapılarının inşa edildiği zeminler çoklukla alüvyon, sediment ve çökellerden oluştuğu için zayıf zeminlerdir. Bu bölümde sadece deneyde kullanılan taş kolon ve geotekstil açıklanacaktır.

2.6.1 Taş kolonlar

Taş kolonlar, zemin iyileştirmesi yöntemleri arasında sık kullanılan bir yöntemdir. Yerine göre kumla da bu kolonlar yapılabilir. Temelde zeminin taşıma gücünü artırmak, sıvılaşma potansiyeli olan geçirimsiz zeminlerde drenajı sağlamak amacıyla inşa edilirler. Kohezyonlu zeminlerde taş kolonları uygulamanın en kolay yolu sondaj çukuru açıp içini taş kolonda kullanılacak malzemeyle doldurmaktır. Bu yöntemle geçirimsiz veya az geçirimli, kohezyonlu zeminin yardımıyla, kohezyonlu zeminden daha büyük bir taşıma kapasitesine ulaşılabilir. Kolonların düzgün çalışabilmesi için zeminden yeterli yanal desteği alması gereklidir. Aksi takdirde zeminde lokal oturmalar meydana gelebilir. Bu özellikler sağlandığı takdirde etkili ve ekonomik bir iyileştirme yöntemi olarak ön plana çıkmaktadır [30].

2.6.2 Geotekstiller

Geotekstiller, isminden de anlaşılacağı üzere bir tür kumaştır. Fakat pamuk, yün veya ipek gibi doğal iplikler yerine sentetik ipliklerden oluşur. Bu sentetik iplikler standard dokuma makinalarında dokunarak, rastgele bir araya getirilip sıkıştırılarak veya örülerek hazırlanır. Geotekstillerin en temel özellikleri üretildikleri düzlemde suyu geçirmeleridir. Fakat geçirgenlik derecesi geniş bir yelpazade değişir. Geotekstillerin seksene yakın belirli kullanım alanı vardır. Fakat her kullanımında

beş temel işlevinden birini görür. Bu işlevler ayırma, donatı, filtreleme, drenaj ve nem bariyeri olmasıdır.

Geotekstille tasarım yaparken üç faktör göz önüne alınır. Bunların birincisi hemen her mühendislik yapısında göz önüne alınan ekonomiklik ve temin edilebilirliktir. Maliyetin diğer zemin ıslah yöntemleriyle mukayese edilmesi sonucu eğer geotekstil daha ekonomikse uygulanır. İkinci faktör ihtiyaca göre doğru geotekstil tipinin seçilmesidir. Geotekstil türlerinin kulanıma göre sınıflandırması American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından yayınlanan standartlarda belirtilmiştir. Bu sınıflar yukarıda belirtilen kullanım alanları için hangi geotekstillerin uygun olduğunu gösterir. Tasarım aşamasında bu standartlara uyularak geotekstil seçilmelidir. Üçüncü göz önüne alınacak faktör ise fonksiyonelliktir. Tasarımda seçilecek geotekstilin beklenen fonksiyonları yerine getirip getiremeyeceğinin matematiksel olarak belirlenmesidir. Bu hesaplar sonucu geotekstilin yerine getirebileceği özelliklerin beklenen özelliklere oranı bir güvenlik katsayısı verir. Bu güvenlik katsayısı kabul edilebilir değerlerin altında kalmadığı sürece tasarımda hesaplarda kullanılan geotekstil kullanılabilir.

Geotekstilleri karakterize eden özellikleri kullanılan iplik türü, ipliğin kumaşa çevrilmesi yöntemi, geçirgenliği ve kayma mukavemetidir. Bu özelliklerine göre geotekstiller birbirinden ayrılır [31].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Tez çalışması kapsamında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği ve Geoteknik Laboratuarı'nda deneylerde kullanılacak olan silt numunesinin optimum su muhtevası deneyi yapılmış, daha sonra optimum su muhtevasında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç, kesme kutusu ve konsolidasyon deneyi, kuru numuneyle de birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Geoteknik deneylerden sonra numune İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesi SEM Laboratuarında Scanning Electron Microscobe (SEM) görüntüleri alınmıştır. Daha sonra İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuarı'nda % 10 su muhtevasında 500 kg silt hazırlanıp kanala yerleştirilmiş ve bu zemin üzerine dalgakıran inşa edilmiştir. 3 deney setinde de silt miktarları, siltin su muhtevası ve dalgakıranın boyutları ve taş çapları, dalga yükseklikleri, periyotları ve genlikler sabit tutulmuştur. Deney esnasında zeminde oluşabilecek kayıplar dikkate alınarak her deney setinden sonra zemin miktarı kontrol edilmiş ve eksilen zemin tamamlanmıştır.

3.1 Kullanılan Malzemenin Özellikleri

Deneylerde Esen Mikronize Maden Sanayi'ye ait ESEN KALSİT K-7 kullanılmıştır. Kalsitin kimyasal ve fiziksel özellikleri üretici firmadan temin edilmiştir. Malzemenin kimyasal, fiziksel ve diğer özellikleri sırasıyla Çizelge 3.1, Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te verilmiştir. Silt numunesinin granülometrik dağılımı ve Scanning Electron Microscobe (SEM)'de çekilmiş fotoğrafı sırasıyla Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de görülmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi silt daneleri tam yuvarlak olmayıp köşeli yapıda bulunmaktadır.

Çizelge 3.1 : ESEN KALSİT K-7'nin kimyasal özellikleri

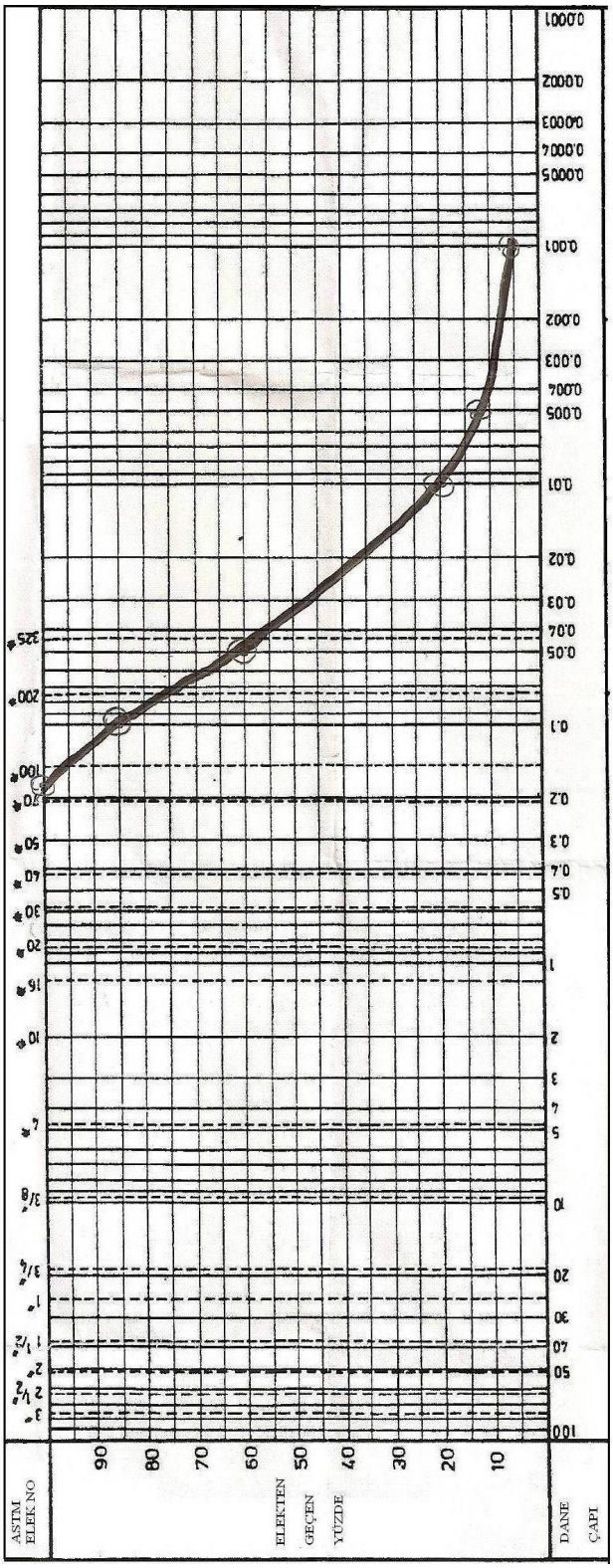
KİMYASAL ÖZELLİKLER	
$CaCo_3$ (TS EN ISO)	> 98%
$MgCO_3$ (3262-1)	< 2%
Fe_2O_3 (TS 4030)	< 0.02%
SiO_2 (TS 4033)	< 0.06%
HCI'da Çözünmeyen (TS EN ISO 3262-5)	< 0.5%

Çizelge 3.2 : ESEN KALSİT K-7'nin fiziksel özellikleri

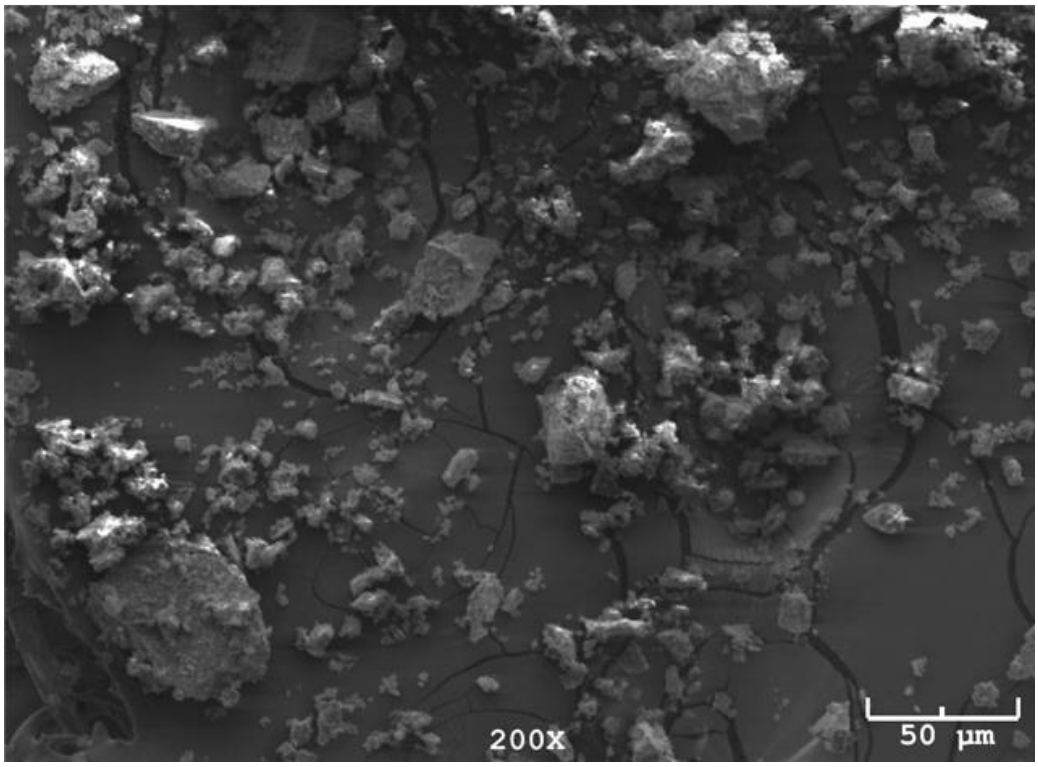
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	
Yoğunluk (ISO 787/10)	2.7gr/cm^3
Yansıtma İndeksi	1.49 - 1.65
Sertlik (Moh's)	3.0

Çizelge 3.3 : ESEN KALSİT K-7'nin diğer özellikleri

GENEL ÖZELLİKLER	
45 Mikron Elek Bakiyesi (H0818)	38 - 42%
Ortalama Tane Büyüklüğü (d50%)	33.00 - 40.00µm
En Büyük Tane (d97%)	145.00 - 160.00µm
2 Mikron Altı	7.50 – 13.00%
Beyazlık (L) (Elrepho 450X)	96.5 - 97.5%
Yağ Emmesi (TS 2583 ISO 787/5)	10.02gr / 100gr
Dop Emmesi (ISO 787/5)	12.25gr / 100gr
Nem (TS 2580 EN ISO 787/2)	< 0.09%
Paketlenmiş Dökme Yoğunluğu (ISO 787/11)	1.00 - 1.09 gr/ml
PH değeri (TS 2326 EN ISO 787/9)	9.00 - 9.65



Şekil 3.1 : ESEN KALSİT K-7'nin granülometrisi



Şekil 3.2 : Deneylerde kullanılan silt numunesinin SEM'de çekilmiş fotoğrafı

3.2 Geoteknik Deneyler ve Sonuçları

Çalışmalarda kullanılacak olan silt numunesinin geoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle birim hacim ağırlığı belirlenmiş daha sonra da optimum su muhtevası, serbest basınç dayanımı, kayma mukavemeti ve konsolidasyon katsayısı belirlenmiştir.

3.2.1 Piknometre deneyi

Çalışmada kullanılacak olan silt numunesinin piknometre deneyi sonuçları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Deney sonucunda, numunenin özgül ağırlığı (G_S) 2,76 bulunmuştur.

Çizelge 3.4 : ESEN KALSİT K-7'nin piknometre deney sonuçları

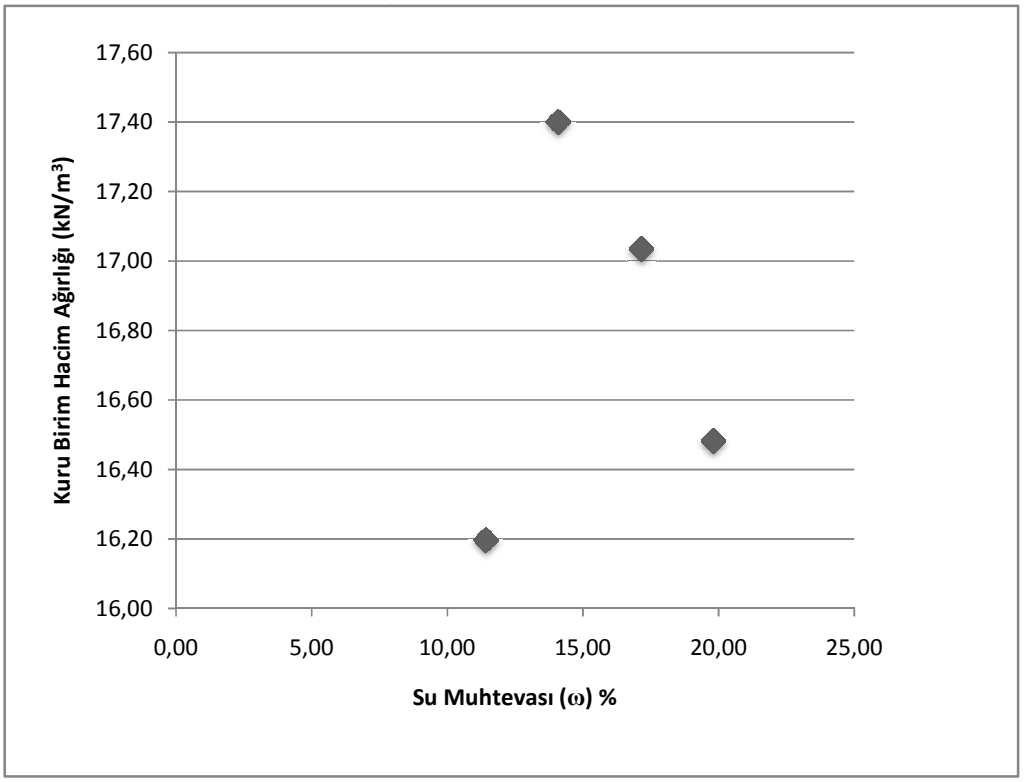
Numune No:		
Piknometre No:	1,00	2,00
Kuru Zemin ağırlığı (W_1) (g):	50,00	50,00
Su-Piknometre Ağırlığı (W_2) (g):	384,31	412,83
$W_1 + W_2$ Ağırlığı (g):	434,31	462,83
Su - Piknometre -Zemin Ağırlığı(W_3)(g):	416,06	444,89
$W_1 + W_2 - W_3$ (g) :	18,25	17,94
$G_s = W_1 / (W_1 + W_2 - W_3)$ (g):	2,74	2,79
Ortalama G_S:	2,76	

3.2.2 Kompaksiyon deneyi

Deneylerde kullanılan ESEN KALSİT K-7'nin kompaksiyon deneyi sonuçları ve optimum su muhtevası grafiği sırasıyla Çizelge 3.5 ve Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu deneyden maksimum kuru birim hacim ağırlık 17.10 kN/m^3 ve optimum su muhtevası % 14 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.5 : ESEN KALSİT K-7'nin kompaksiyon deneyi sonuçları

Deney No	1		2		3		4	
Kalıp hacmi(cm^3)	942		942		942		942	
Islak numune + kalıp(g)	3780		3950		3960		3940	
Kalıp(g)	2080		2080		2080		2080	
Islak numune(g)	1700		1870		1880		1860	
Birim Hacim Ağırlığı(g/cm^3)	1,80		1,99		2,00		1,97	
Kap no	23	52	38	45	8	36	19	16
Islak Numune + dara(g)	145,7	141,2	149	150,8	170	165,1	174,9	202,8
Kuru numune + dara(g)	133,4	128,7	133,3	135,1	148,5	144,1	150,4	173,1
Su miktarı(g)	12,3	12,5	15,7	15,7	21,5	21	24,5	29,7
Dara(g)	23,3	21,6	23,2	22,2	23,9	21	26,8	22,9
Kuru numune(g)	110,1	107,1	110,1	112,9	124,6	123,1	123,6	150,2
Su muhtevası(%)	11,17	11,67	14,26	13,91	17,26	17,06	19,82	19,77
Ortalama su muhtevası (%)	11,42		14,08		17,16		19,80	
Kuru birim hacim ağırlığı(kN/m^3)	16,20		17,40		17,03		16,48	



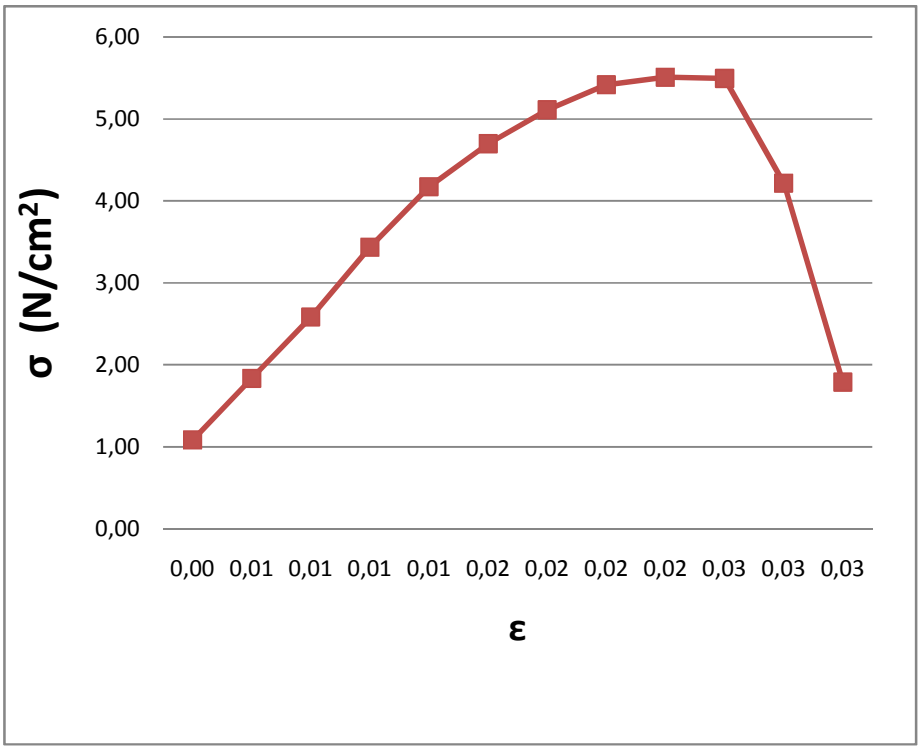
Şekil 3.3 : ESEN KALSIT K-7'nin optimum su muhtevası grafiği

3.2.3 Serbest basınç deneyi

Deneylerde kullanılan ESEN KALSİT K-7'nin serbest basınç deneyi sonuçları ve gerilme şekil değiştirme grafiği sırasıyla Çizelge 3.6 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. Optimum su muhtevasında sıkıştırılmış silt numunenin serbest basınç mukavemeti 5.5 kN/cm^2, c_u ise 0,27 olarak bulunmuştur.

Çizelge 3.6 : ESEN KALSİT K-7'nin serbest basınç deneyi sonuçları

H= 100 mm	Ring Faktörü: 0,2128				
R= 50 mm	γ=1,93 g/cm^3				
W= 378,3 gr		A=	19,64		
Düşey Boy kısalması	Kuvvet Halkası Okuması	Düşey Yük (kg)	ε	Düzeltilmiş Alan (A_c)	σ (N/cm^2)
25	10	21,28	0,00	19,6892	1,08
50	17	36,176	0,01	19,7387	1,83
75	24	51,072	0,01	19,7884	2,58
100	32	68,096	0,01	19,8384	3,43
125	39	82,992	0,01	19,8886	4,17
150	44	93,632	0,02	19,9391	4,70
175	48	102,144	0,02	19,9898	5,11
200	51	108,528	0,02	20,0408	5,42
225	52	110,656	0,02	20,0921	5,51
250	52	110,656	0,03	20,1436	5,49
275	40	85,12	0,03	20,1954	4,21
300	17	36,176	0,03	20,2474	1,79



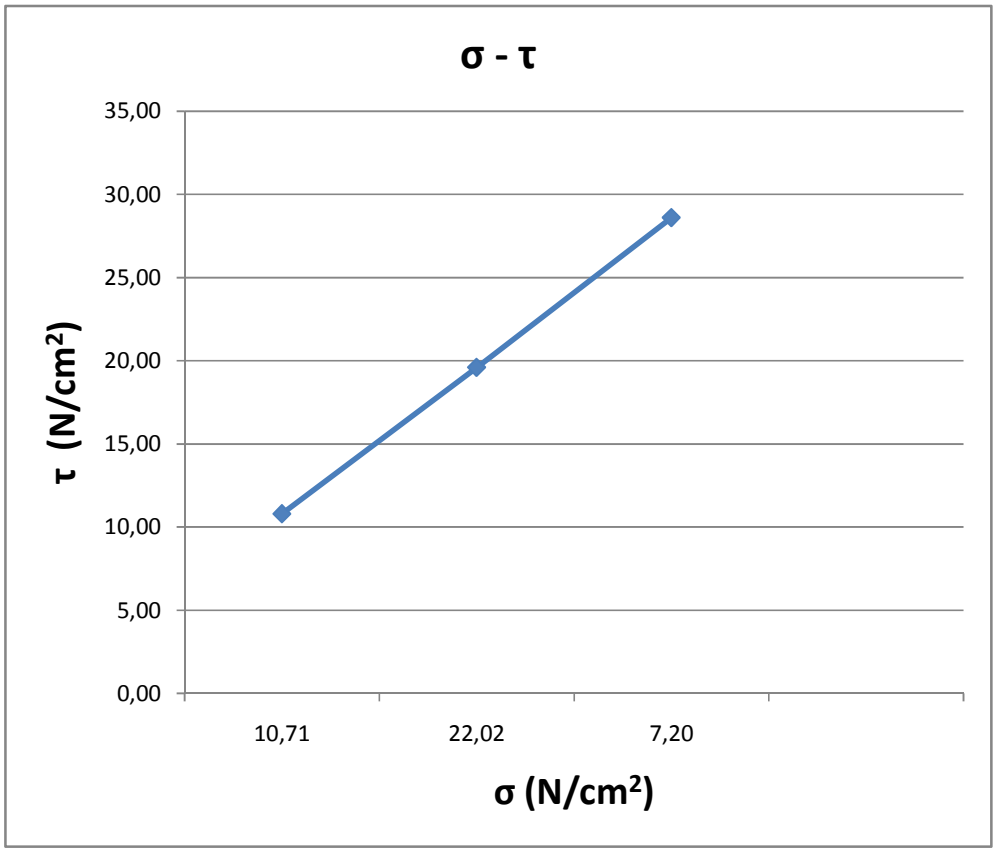
Şekil 3.4 : ESEN KALSİT K-7'nin gerilme-şekil değiştirme grafiği

3.2.4 Kesme kutusu deneyi

Deneylerde kullanılan ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu deneyi sonuçları Çizelge 3.7'de, kayma gerilmesi - normal gerilme grafiği Şekil 3.5'de verilmiştir. Kesme kutusu deney ölçümleri Çizelge A.1, Çizelge A.2 ve Çizelge A.3'te verilmiştir. Yapılan kesme kutusu deneyinden, numune için $\varphi = 37°$, $c = 9{,}1$ N/cm^2 bulunmuştur.

Çizelge 3.7 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu deney sonuçları

#	σ (N/cm^2)	τ (N/cm^2)
1	10,7	10,8
2	22	19,6
3	7,2	28,6



Şekil 3.5 : ESEN KALSİT K-7'nin çekme gerilmesi-kayma gerilmesi grafiği

3.2.5 Konsolidasyon deneyi

Deneylerde kullanılan ESEN KALSİT K-7'nin konsolidasyon deneyi ölçümleri Çizelge A.4'te verilmiştir. Yapılan konsolidasyon deneyinden varılan sonuç, zeminin beklendiği gibi konsolidasyon oturmasını hızlı bir şekilde yaptığı, dolayısıyla zemin dalga kanalına yerleştirildikten sonra, 24 saat bekletilmesinin yeterli olacağı sonucuna varılmıştır.

3.3 Dalga Kanalı Deneyleri

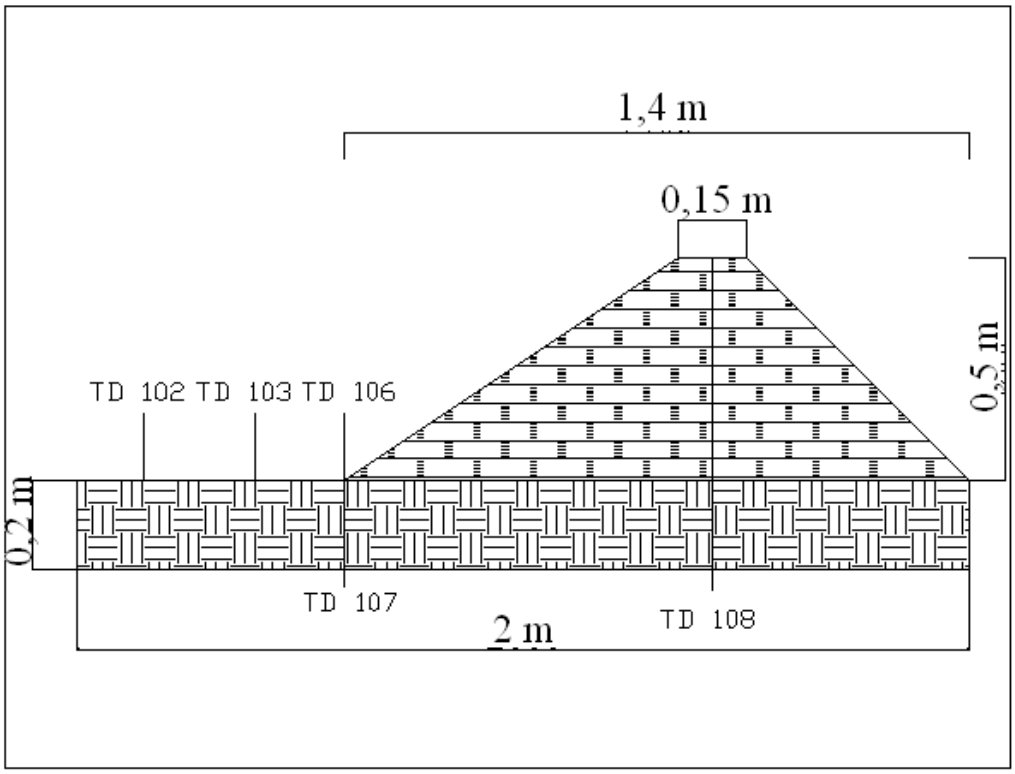
Çalışma dahilinde İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Hidrolik Laboratuarındaki dalga kanalı kullanılmıştır. Silt zemin üzerine inşa edilen dalgakırana düzenli dalgalar gönderilmiş ve sıvılaşma olana kadar düzenli dalga gönderimine devam edilmiştir. Üç deney düzeneğinde de dalga ve dalgakıran parametreleri değiştirilmemiştir.

3.3.1 Deney kanalı

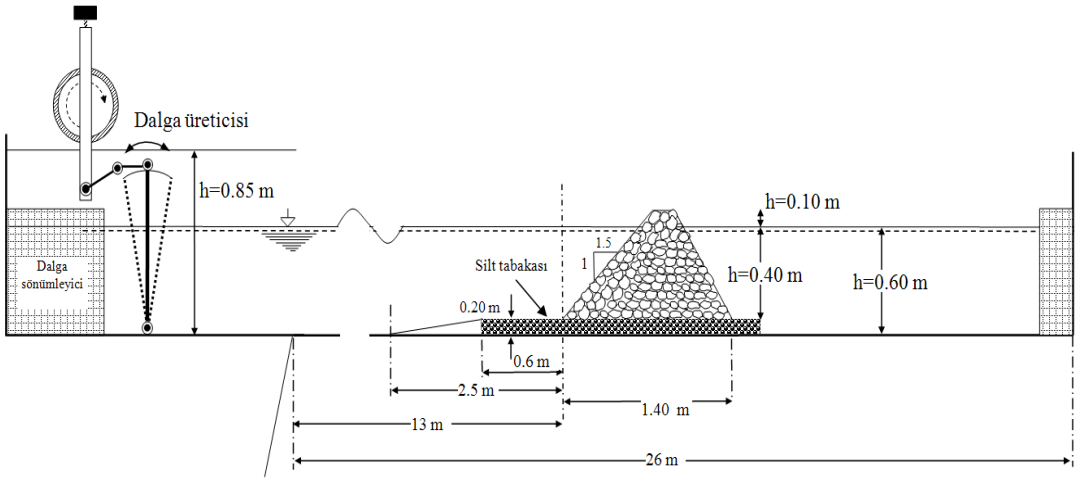
Deneyler 26 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 0.85 m derinliğindeki bir su kanalında gerçekleştirilmiştir. Su akımı kanaldaki suyun kanal içinde dolaşımıyla sağlanmıştır. Düzenli dalgalar flap tipi dalga paletiyle elde edilmiştir. Kanalın taban yüzeyi pürüzsüzdür.

3.3.2 Deney düzeneği

Deney düzeneği yukarıda özellikleri belirtilen dalga kanalına 2 m boyunca 20 cm derinliğinde silt zeminin yerleştirilmesi ve üzerine dalgakıranın inşa edilmesi ile kurulmuştur. Dalgakıranın yüksekliği 40 cm olup deney düzeneğinin en kesit görüntüsü ve kanalın şematik gösterimi sırasıyla Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Deney düzeneğinin karşıdan ve en kesitten çekilmiş fotoğrafları da sırasıyla Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.6 : Deney düzeneği en kesit görüntüsü



Şekil 3.7 : Kanalın şematik gösterimi



Şekil 3.8 : Deney düzeneğinin fotoğrafı



Şekil 3.9 : Deney düzeneğinin en kesit fotoğrafı

3.3.3 Deney aletleri

Deneyler esnasında boşluk suyu basınçları, dalga yükseklikleri ve periyotları ölçülmüş, deneyler fotoğraf ve video olarak kaydedilmiştir. Deneylerin kaydedilmesinde standart video kamera kullanılmış, fotoğraf çekimleri de standart fotoğraf makinesiyle yapılmıştır.

3.3.3.1 Dalga ölçerler

Dalga ölçümleri için rezistans tipi dalga ölçerler kullanılmıştır.

3.3.3.2 Basınç ölçerler

Basınç zaman serilerinin ölçülmesi için 5 adet "piyezoelektrik algılayıcı tipte basınçölçer" kullanılmış, veriler Agilent tarafından imal edilen bir veri kaydedici vasıtasıyla 5 Hz örnekleme sıklığı ile bir kişisel bilgisayara kaydedilmiştir.

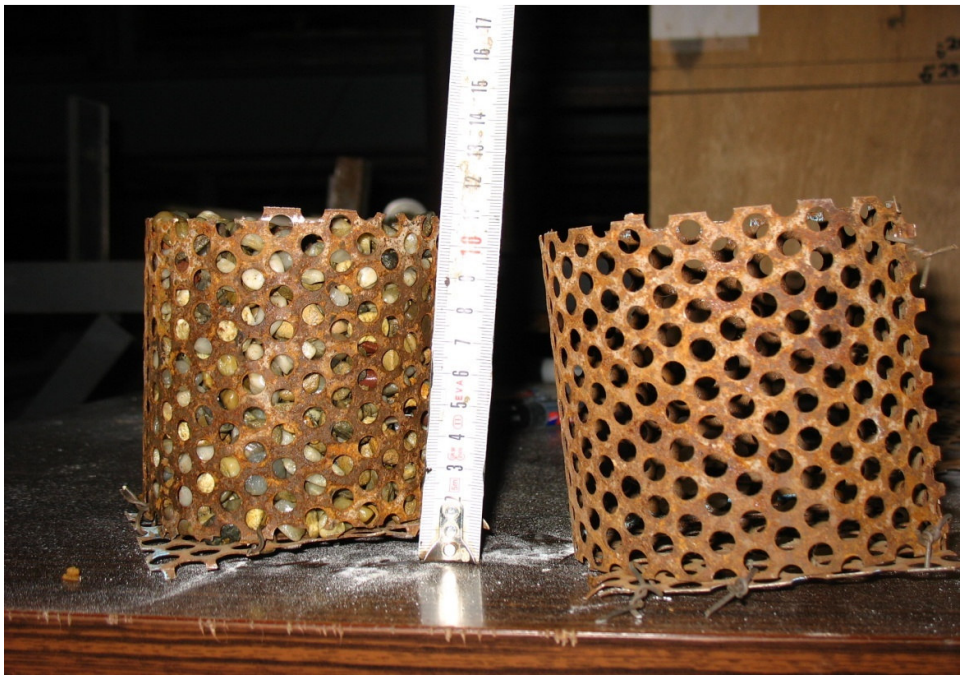
Kullanılan basınçölçerler (direnç tipi seviye ölçerlere benzer şekilde) sabit bir DC voltajıyla beslenmekte ve basıncın artmasıyla lineer olarak değişen bir voltaj sinyali vermektedirler. 0~1 Bar (0~100 kPa) arasında lineerliğini kaybetmeden ölçüm yapabilmek üzere fabrika çıkışında kalibre edilmiş bu basınçölçerler atmosfer basıncına "rölatif" olarak okuma yapmaktadırlar. Yine de bu basınçölçerlerin lineerliği deneylere başlanmadan önce bir "hidrostatik basınç testi" ile teyit edilmiş, karesi 1'e çok yakın olan lineer korelasyon katsayıları bulunmuştur. Basınçölçerlerden gelen analog voltaj sinyali ayrı bir modül olan veri kaydedici cihazla dijitale çevrilerek bir kişisel bilgisayara aktarılmakta ve kaydedilmektedir. Basınç ölçerler direk zeminin içine yerleştirilmemiş, PVC den yapılan aparatlar zeminin içine yerleştirilmiş, bu aparatlar basınç ölçerlere hortumla bağlanmıştır. Hortumların ağzına, basınç ölçerlerin tıkanmasını engellemek için poroz taş yerleştirilmiştir. Kullanılan aparatların görünüşü Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 : Basınç ölçerlerin hortumla bağlandığı aparatlar

3.3.3.3 Taş kolonlar

İkinci deney setinde kullanılan taş kolonlar 0,7 cm delik çapına sahip saç levhalardan, 15 cm yüksekliğinde ve 10 cm çapında silindirler olarak hazırlanmıştır. Silindirlerin içinde, D_{50} = 1.25 olan 0,4 cm çapında sıfır numara çakıl kullanılmıştır. Taş kolonların fotoğrafı Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11 : Taş kolonların görünüşü

3.3.3.4 Geotekstil

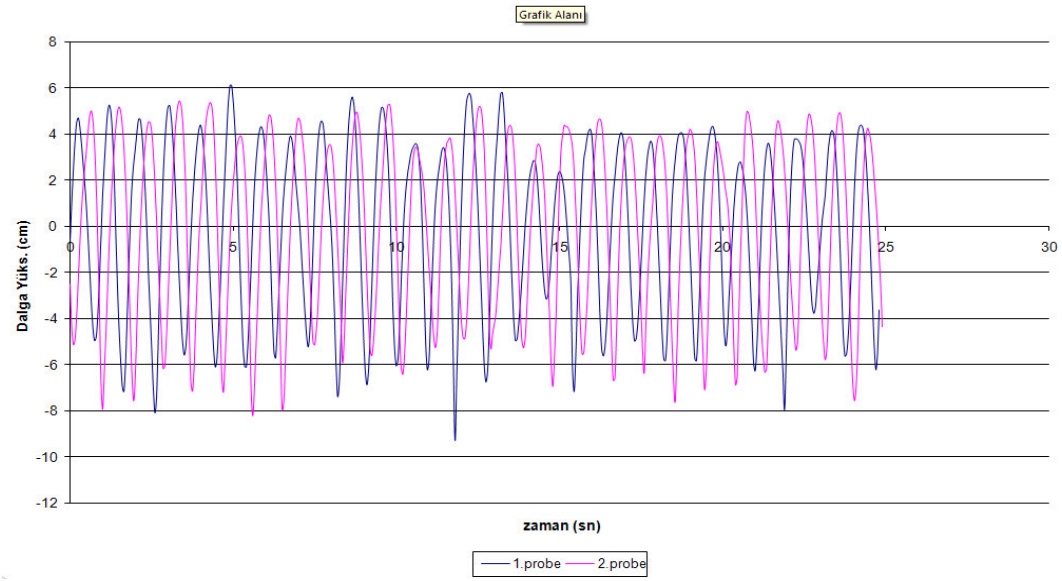
Üçüncü deney setinde 0,7 cm kalınlığında, 40 cm boyunda, 1 m genişliğinde geotekstil kullanılmıştır.

3.3.4 Deney koşulları

Deney düzeneğinin kurulumunun ardından kanal, zeminden itibaren 40 cm sakin su seviyesi olacak şekilde su ile doldurulmuştur. Deneylerde yukarıda özellikleri belirtilen flap tipi dalga paletiyle 8 cm yüksekliğinde, 1 saniye periyotlu düzenli dalgalar gönderilmiştir. Deney esnasında yapılan dalga ölçümleri Şekil 3.12'de gösterilmiştir.

3.3.4.1 Dalga ölçerlerin yerleşimi

Dalga ölçümünde kullanılan dalga ölçerler kanalın dalga yönünde beş ve onuncu metrelerine yerleştirilmiş, dalga ölçümleri bu noktalarda yapılmıştır.

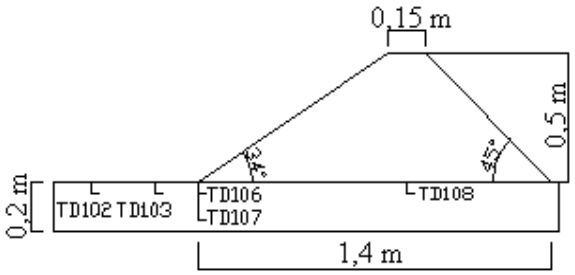


Şekil 3.12 : Deneyler esnasında yapılan dalga ölçümleri

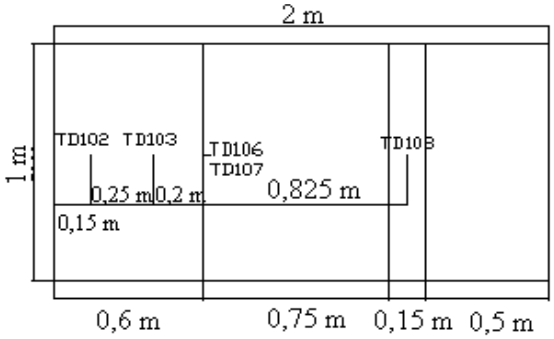
3.3.4.2 Basınç ölçerlerin yerleşimi

Deneyler esnasında 5 noktada yukarıda özellikleri belirtilen basınç ölçerlerle ölçüm yapılmıştır. 5 Basınç ölçer TD 102, TD 103, TD 106, TD 107 ve TD 108 olarak numaralandırılmıştır. Basınç ölçerlerden TD 102 zemin yüzeyinden 5 cm derinlikte zeminin dalga yönünden başlangıcından 5 cm içeride yerleştirilmiştir. Bu basınç ölçer ile açık deniz bölgesindeki zeminin boşluk suyu basıncındaki değişimlerin gözlenmesi amaçlanmıştır. TD 103 kodlu basınç ölçer zeminin dalga yönünden başlangıcından 30 cm içeride, zemin yüzeyinden 5 cm derinliktedir. Bu basınç ölçer ile dalgakıranın zemindeki kayma dairesindeki boşluk suyu basıncı değişimleri gözlenmesi amaçlanmıştır. TD 106 kodlu basınç ölçer zeminin dalga yönünden başlangıcından 60 cm içeride, zemin yüzeyinden 5 cm derinlikte yerleştirilmiştir. Bu basınç ölçer ile dalgakıranın topuk bölgesindeki boşluk suyu basınçlarındaki değişim gözlenmesi amaçlanmıştır. TD 107 kodlu basınç ölçer TD 106 kodlu basınç ölçer ile aynı yerde fakat zemin yüzeyinden 15 cm derinliktedir. Bu basınç ölçer ile dalgakıranın en kritik kesiti olan ve sıvılaşma sonucu dalgakıranda en büyük hasarın oluşmasına sebep olacak kesit olan topuk kesitindeki boşluk suyu basıncı değişimlerinin derinlikle değişimi incelenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda 3. Deney setinde TD 107 kodlu basınç ölçer geotekstil uygulamasının altındaki zemini ne kadar koruduğunu gösterecektir. TD 108 kodlu basınç ölçer dalgakıranın ağırlık

merkezinin zemindeki izdüşümüne, yani dalga yönünden zemin başlangıcından 142,5 cm içeride, zemin yüzeyinden 5 cm derinliktedir. Bu basınç ölçerle en ağır basınç yüküne maruz kalan kesit olan dalgakıranın ağırlık merkezinin izdüşümündeki en kesitteki boşluk suyu basıncı değişimleri gözlenmesi amaçlanmıştır. Bütün basınç ölçerlerin yerleşiminin en kesit ve plandan görünüşü sırasıyla Şekil 3.13 ve 3.14'te görülmektedir.



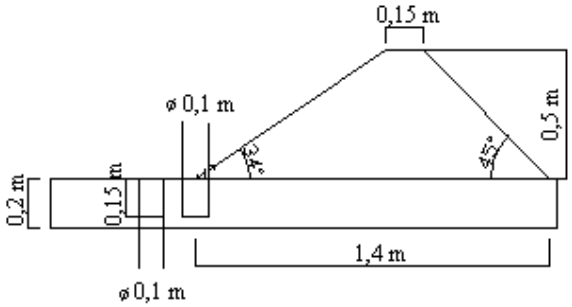
Şekil 3.13 : Basınç ölçerlerin yerleşiminin en kesit görünüşü



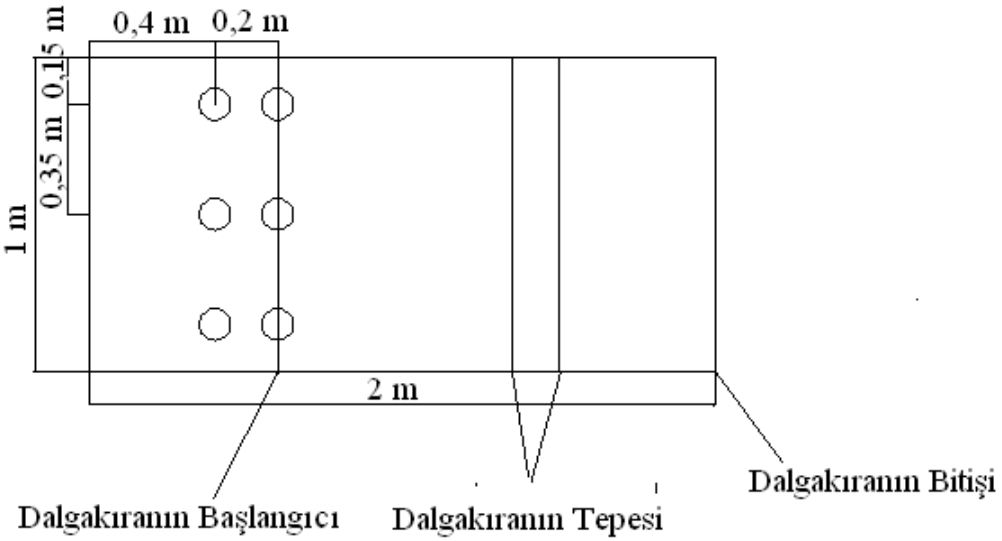
Şekil 3.14 : Basınç ölçerlerin yerleşiminin plan görünüşü

3.3.4.3 Taş kolonların yerleşimi

Deneyin ikinci setinde kullanılan taş kolonlar enine iki sıra olarak yerleştirilmiştir. Her bir sırada 30 cm arayla üç adet taş kolon vardır. Birinci sıra zeminin dalga yönünden başlangıcından 30 cm içeride, ikinci sıra zeminin dalga yönünden başlangıcından 60 cm içeride yerleştirilmiştir. Taş kolonların yerleşiminin en kesit ve plan görüntüsü sırasıyla Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da, yerleşimin fotoğrafı Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.15 : Taş kolonların yerleşiminin en kesit görünüşü



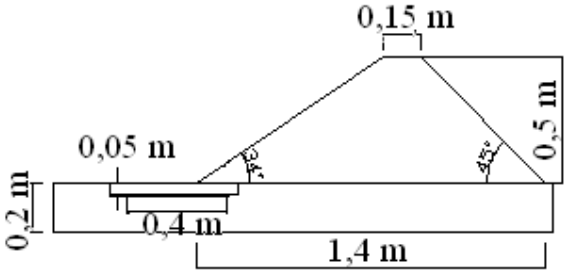
Şekil 3.16 : Taş kolonların yerleşiminin plan görüntüsü



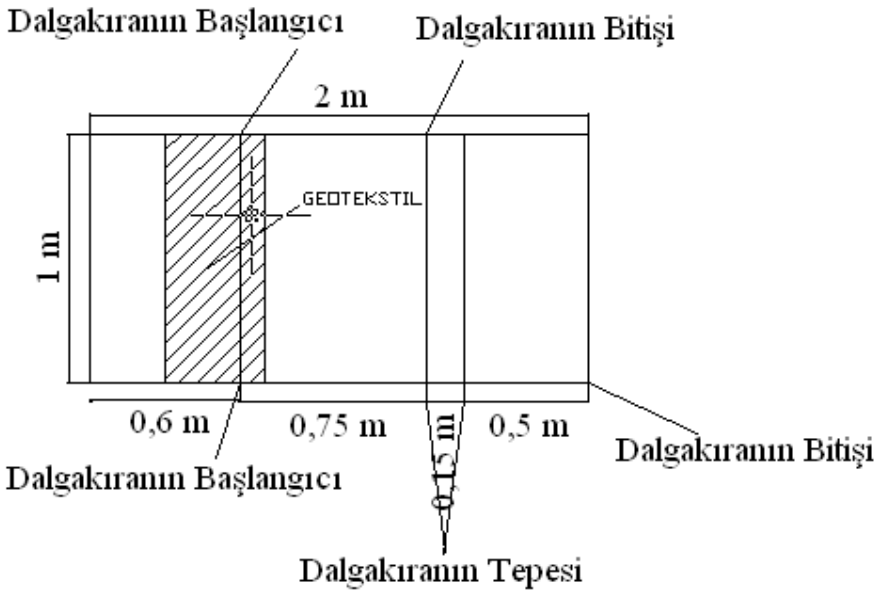
Şekil 3.17 : Taş kolonların yerleşiminin fotoğrafı

3.3.4.4 Geotekstilin yerleşimi

Deneyin üçüncü setinde kullanılan geotekstil kanalın eni boyunca, zeminin dalga yönünden başlangıcından 30 cm içeriden 70 cm içeriye kadar, zemin yüzeyinin 5 cm altından döşenmiştir. Geotekstilin yerleşiminin en kesit ve plan görüntüsü Şekil 3.18 ve 3.19'da görülmektedir.



Şekil 3.18 : Geotekstilin yerleşiminin en kesit görünüşü



Şekil 3.19 : Geotekstilin yerleşiminin plan görünüşü

3.3.5 Deney matrisi

Çalışmalar kapsamında üç set deney yapılmıştır. Birinci sette yukarıda anlatılan deney düzeneği aynen uygulanmış, doğal haldeki silt zeminin sıvılaşması ve sıvılaşma sonucu dalgakıranda oluşan hasar incelenmiştir. İkinci deney setinde ise dalgakıranın topuk ve kayma dairesine altı adet taş kolon yerleştirilmiş, taş kolon uygulanması durumundaki boşluk suyu basıncı değişimi, sıvılaşma süreci ve dalgakıranda oluşan hasarlar incelenmiştir. Üçüncü deney setinde aynı bölgeye geotekstil yerleştirilerek boşluk suyu basınçlarının değişimi, sıvılaşma süreci ve dalgakıranda oluşan hasarlar incelenmiştir. Deney Matrisi Çizelge 3.8'de görülmektedir.

Çizelge 3.8 : Deney matrisi

Deney No	Kullanılan Islah Yöntemi	Kullanılan Bölge	Adet
1	-	-	
2	Taş Kolon	Kayma Dairesi Topuk	3 3
3	Geotekstil	Kayma Dairesinden Topuğa Kadar	1

4. DENEYSEL SONUÇLAR

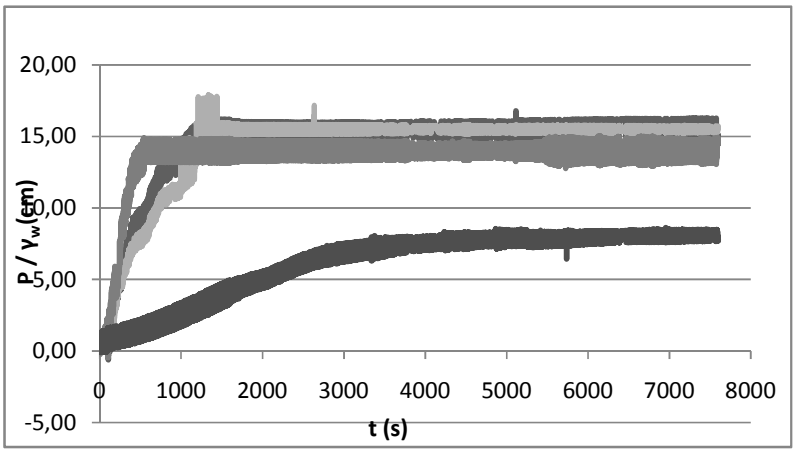
Yukarıda anlatılan şartlarda yapılan deneylerin sonuçları aşağıda anlatılmıştır.

4.1 Basınç Değişimleri

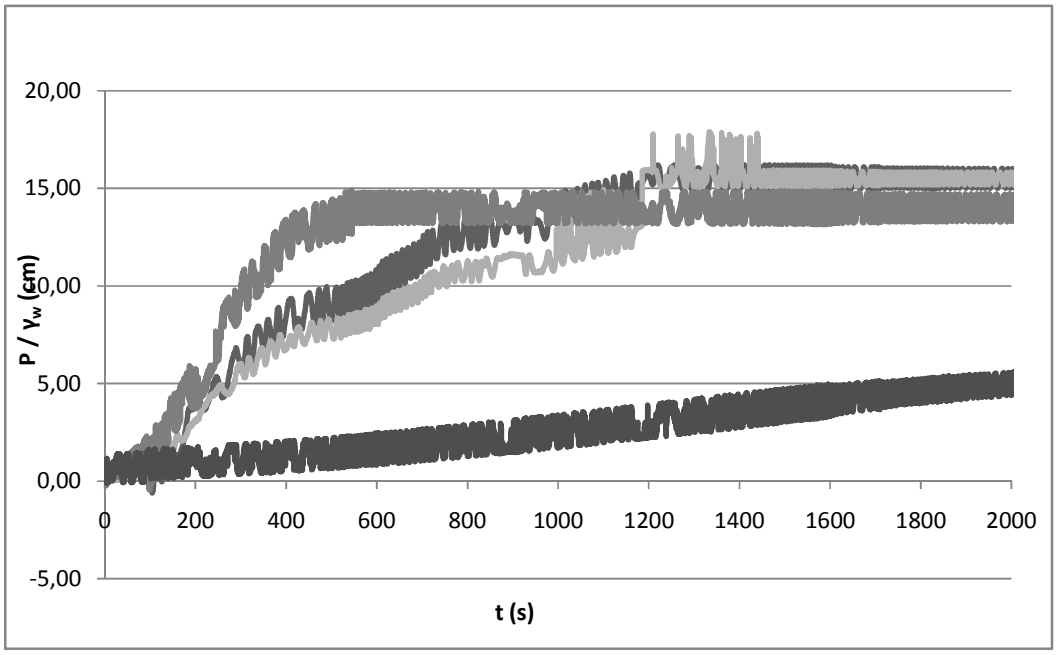
Deneyler esnasında yukarıda özellikleri anlatılmış olan basınç ölçerle yapılan ölçümler sonucu elde edilen veriler değerlendirilerek zemin içerisindeki zeminin dalga altındaki davranışı, boşluk suyu basıncındaki zamana bağlı değişimler aşağıda incelenmiştir.

4.1.1 Doğal şartlardaki silt zemin

Bölüm 3.3.5'te anlatılan birinci deneyden elde edilen boşluk suyu basıncı verileri farklı konumdaki dönüştürücüler için zaman serisi olarak Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Daha önce yapılan geoteknik deneyler sonucu zeminin sıvılaşmaya müsait olduğu görülmüştür. Dalgaların zemine tesir etmesiyle beraber, zemin yüzeyi elastik davranışa geçmiş ve bunun sonunda sürekli dinamik basınçlar altındaki zeminde açık deniz, kayma dairesi ve topuk bölgelerinde boşluk suyu basınçları hızla yükselmiş ve zeminde sıvılaşma meydana gelmiştir. Bu basınç-zaman grafiğinin sıvılaşmanın başladığı ana ait detaylı değişimi Şekil 4.2'de görülmektedir.



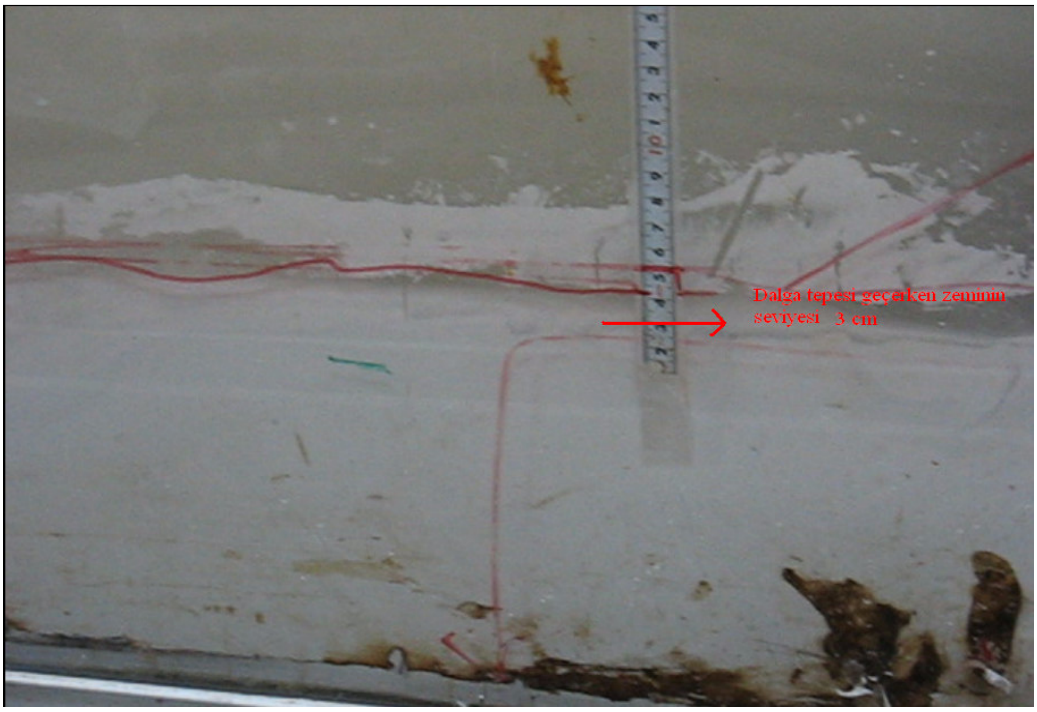
Şekil 4.1 : Birinci deney setinin boşluk suyu basınçlarının zamanla değişimi



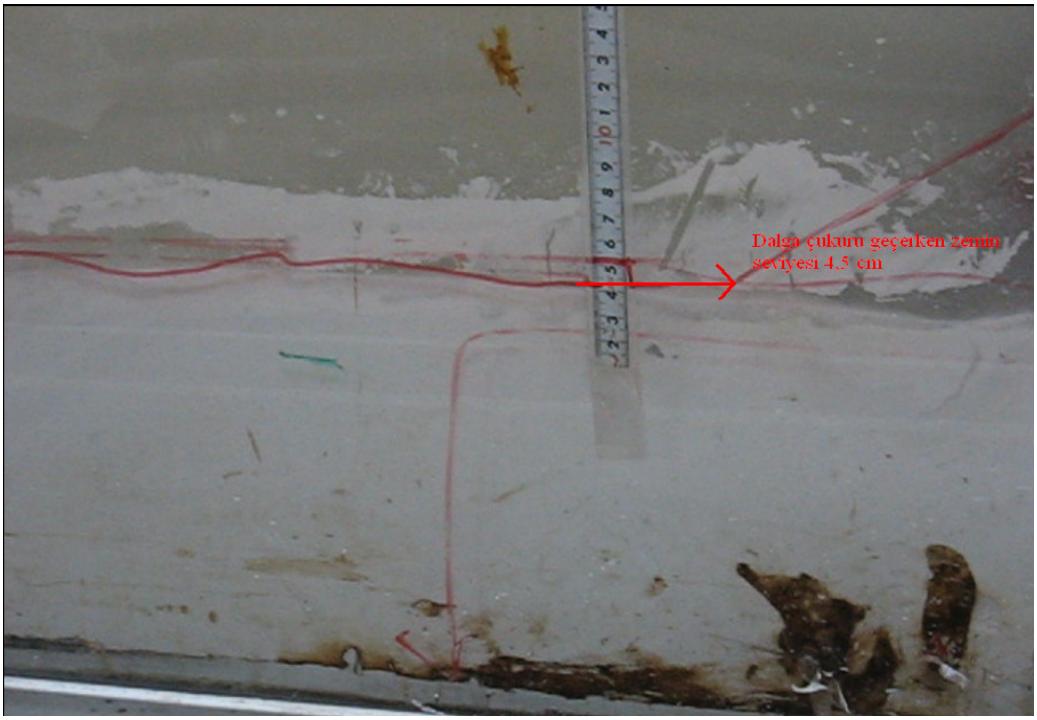
Şekil 4.2 : Birinci deney seti boşluk suyu basınçlarının değişiminin yakından görünüşü

Şekil 4.1'de görüleceği gibi boşluk suyu basınçları belirli bir limit değere kadar yükseldikten sonra durmakta ve değerini korumaktadır. Gerek basınç değerleri artarken, gerek sabitken basınç değerlerinde dalga etkisi ile periyodik bir değişim gözlenmektedir. Dönüştürücüler zemin altında olduğundan bu değişim dalganın yaratacağı dinamik değişimden daha küçük olmaktadır. Şekil 4.2'de bu dalgalanmalar daha net bir şekilde görülebilmektedir. Bu deney sonucunda zeminin sıvılaşmaya müsait olduğu görülmüş ve sıvılaşmanın mekanizması gözlenmiştir.

Sıvılaşmış zemin üzerinden dalga geçişleri oldukça su derinliğindeki değişikliklerden dolayı zemin üzerindeki basınç değişir. Dalga tepesi geçişinde derinliğin maksimum olması sonucu zemin üzerindeki su basıncı en yüksek değerini alır. Dalga çukuru geçişinde ise minimum değerini alır. Sıvılaşma sonucu dayanımını çok düşmüş olan zemin, dalga hareketine paralel olarak hareket eder. Basınç yüksekken aşağı, düşükken yukarı doğru dalga hareketine ters olarak hareket eder. Deneylerde zemin yüzeyinin bu hareketi 1.5 cm olarak deneyler sırasında çekilen görüntüler ile belirlenmiştir. Bu hareket Şekil 4.3 ve 4.4'te görülmektedir. Zeminin en yüksek noktadan en düşük noktaya gelmesi dalga periyoduna eşit olarak 1 saniye sürmektedir.



Şekil 4.3 : Dalga tepesi geçişinde zeminin durumu



Şekil 4.4 : Dalga çukuru geçişi esnasında zeminin durumu

Ölçülen değerler, sıvılaşmanın yaklaşık olarak rölatif boşluk suyu basıncının (P_w/γ) 15 cm değerine ulaştığında meydana geldiğini göstermektedir. Literatürdeki

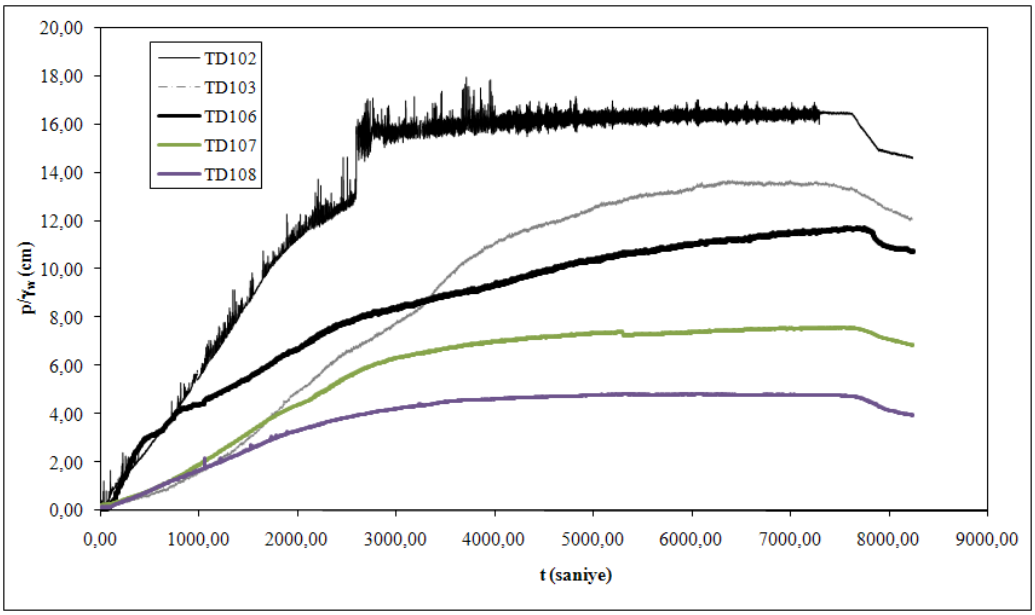
çalışmalarda da sıvılaşmanın 15 cm boşluk suyu basıncı artışından sonra oluştuğu belirlenmiştir, bu çalışmalarda 7 cm boşluk suyu basıncı artışına kadar sıvılaşma olmadığı kabul edilmektedir [15]. TD107 numaralı basınç ölçerin ölçtüğü bölge olan topuğun derin kısmında ve TD108 numaralı basınç ölçer ile ölçülen dalgakıran altı kısımda ise sıvılaşma görülmemiştir. TD 107 numaralı basınç ölçer TD 106 ile aynı kesitte olmasına rağmen, TD 106 nolu basınç ölçerden 10 cm daha derinde olduğu için sıvılaşma olmamış, bu bölge geçiş bölgesinde kalmıştır. Deney sonucu varılan sonuçlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Deney boyunca her yüz saniyede bir ölçülen boşluk suyu basınç artış değerleri Çizelge B.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Birinci deney seti sonucu varılan sonuçlar

Basınç Ölçer	TD102	TD103	TD106	TD107	TD108
Ulaşılan Ortalama Limit Değer (cm)	15,46	15,50	13,99	8,04	5,00
Sıvılaşma Durumu	Sıvlaşma var	Sıvılaşma var	Sıvılaşma var	Geçiş Bölgesi	Sıvılaşma yok
Limit Değere Ulaşılan Zaman (sn)	1200	1200	500	5000	-

4.1.2 Taş kolonlarla ıslah edilmiş silt zemin

Bölüm 3.3.5'te anlatılan taş kolonların olduğu ikinci deney seti sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı verileri Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te görüleceği gibi TD102'nin bulunduğu açık deniz bölgesinde dalga etkisiyle beraber boşluk suyu basınçları hızla artmış ve zemin sıvılaşmıştır. Birinci deney setinin aksine ikinci sette kayma dairesi ve topuğa yerleştirilen taş kolonlar bu bölgedeki zemini drene etmiş, dolayısıyla boşluk suyu basıncı artışları çok yavaş olmuştur. Fakat bir süre sonra taş kolonlar tıkandığı için boşluk suyu basıncı artışları hızlanmış ve zemin sıvılaşmıştır. TD108 basınç ölçerinin bulunduğu dalgakıran altı zemininde ise ciddi bir basınç artışı olmadığı için sıvılaşma olmamıştır.



Şekil 4.5 : İkinci deney setindeki boşluk suyu basınçlarının değişimi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi TD103 basınç ölçerinin bulunduğu kayma dairesinde taş kolonlar zemin içerisindeki suyu drene ederek boşluk suyu basınçlarının artışını yavaşlatmıştır. Daha sonra boşluklar silt ile tıkandıkları için zeminde boşluk suyu basınçları hızla artmış ve zemin sıvılaşmıştır. TD106 ve TD107 basınç ölçerinin bulunduğu topuk bölgesinde basınçlar tedrici olarak artmaktadır. Bu artış açık denizdekine nazaran çok daha yavaş olmakta bu da bize taş kolonların sıvılaştırmayı geciktirdiğini göstermektedir. Bu basınç ölçerlerin ulaştığı limit değer ise sıvılaşma için verilen değerlerin altında kalmaktadır (TD106 için; geçiş bölgesi TD 107 için sıvılaşma yok) (Çizelge 4.2). TD108 basınç ölçerinin bulunduğu dalgakıran altı zemindeyse boşluk suyu basınçları rölatif olarak çok az artmış, dolayısıyla sıvılaşma veya geçiş bölgesi durumu görülmemiştir ve bu durum dalgakıranın genel olarak stabilitesini koruduğunu göstermektedir. Deney sonucu varılan sonuçlar, tıkanmış taş kolonların görünüşü ve deney esnasında yapılan boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri sırasıyla Çizelge 4.2, Şekil 4.6 ve Çizelge B.2'de görülmektedir.



Şekil 4.6 : Tıkanmış taş kolonun görüntüsü

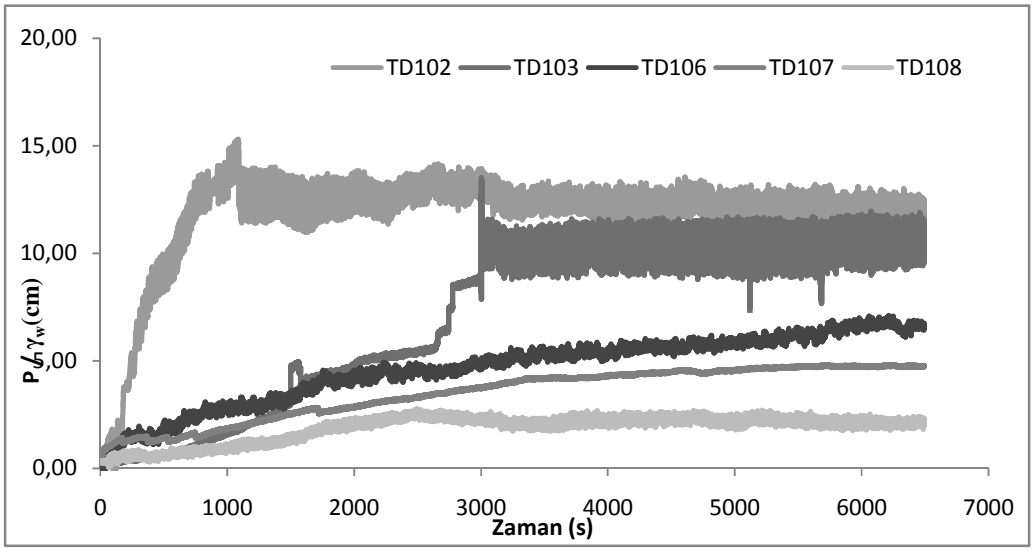
Çizelge 4.2 : İkinci deney seti sonucu varılan sonuçlar

Basınç Ölçer	TD102	TD103	TD106	TD107	TD108
Ulaşılan Ortalama Limit Değer (cm)	16,37	13,59	11,7	7,56	4,8
Sıvılaşma Durumu	Sıvlaşma var	Sıvılaşma var	Geçiş Bölgesi	Sıvılaşma yok	Sıvılaşma yok
Limit Değere Ulaşılan Zaman (sn)	5000	6300	7600	5000	5000

4.1.3 Geotekstille ıslah edilmiş silt zemin

Bölüm 3.3.5'te anlatılan 3. Deney seti sonucu elde edilen boşluk suyu basıncı verileri Şekil 4.7'de gösterilmiştir. Şekil 4.5'te görüleceği gibi TD102'nin bulunduğu açık deniz bölgesinde dalga etkisiyle beraber boşluk suyu basınçları daha önceki deneylerde de gözlendiği gibi hızla artmış ve zemin sıvılaşmıştır. Birinci ve ikinci deney setinin aksine üçüncü sette kayma dairesi ve topuğa yerleştirilen geotekstil bu bölgedeki zeminin kayma mukavemetini artırmış, dolayısıyla boşluk suyu basıncı artışları çok yavaş olmuştur. 3000. saniye civarında çok yüksek basınç değerlerine ulaşan ve sıvılaştığı için kayma dairesine yanal itki uygulayamayan açık deniz en kesit dolayısıyla kayma dairesi bölgesinde basınçlar bir anda yükselmiş ve açık

denizdeki boşluk suyu basınçları da paralel olarak yükselmiştir. TD108 basınç ölçerinin bulunduğu dalgakıran altı zeminindeyse ciddi bir basınç artışı olmadığı için sıvılaşma olmamıştır.



Şekil 4.7 : Üçüncü deney setindeki boşluk suyu basınç değişimi

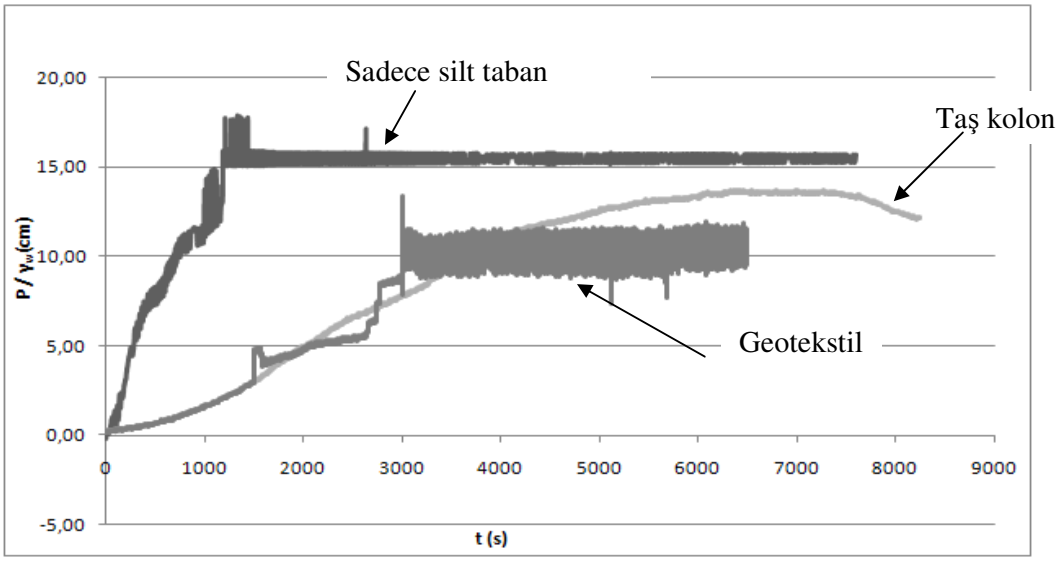
Şekil 4.7'te görüldüğü gibi TD103'ün bulunduğu kayma dairesi bölgesinde boşluk suyu basınçları düşükken deney başlangıcından 3000 saniye sonra basınç değerleri ani olarak yükselmiş, daha sonrada zemindeki boşluk suyu basıncı limit değere ulaşmıştır. Bu verilerde (TD102 ve TD103) zeminin sıvılaştığını görülmektedir. TD106 ve TD107 basınç ölçerlerinin bulunduğu topuk bölgesinde TD108 basınç ölçerinin bulunduğu dalgakıran altı zeminde boşluk suyu basınçları çok az miktarda artmış, zeminde herhangi bir sıvılaşma olmamıştır. Üçünce deney seti sonunda varılan sonuçlar ve deney esnasında yapılan boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri sırasıyla Çizelge 4.3 ve Çizelge B.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 : Üçüncü deney seti sonucu varılan sonuçlar

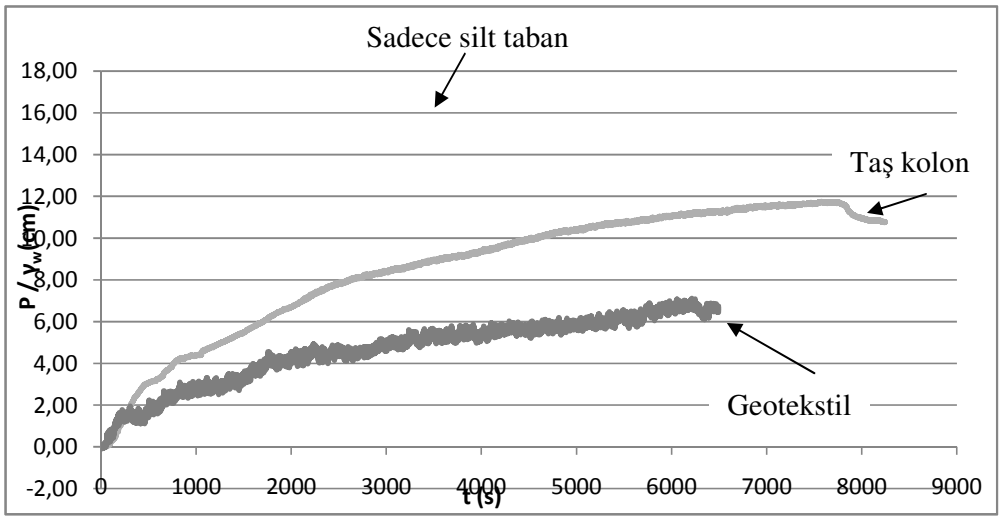
Basınç Ölçer	TD102	TD103	TD106	TD107	TD108
Ulaşılan Ortalama Limit Değer (cm)	12,46	10,35	-	4,74	2,31
Sıvılaşma Durumu	Sıvlaşma var	Sıvılaşma var	Sıvılaşma yok	Sıvılaşma yok	Sıvılaşma yok
Limit Değere Ulaşılan Zaman (sn)	1000	3000	500	5500	3500

4.2 Boşluk Suyu Basınçlarının Değişik Deney Durumlarında Karşılaştırılması

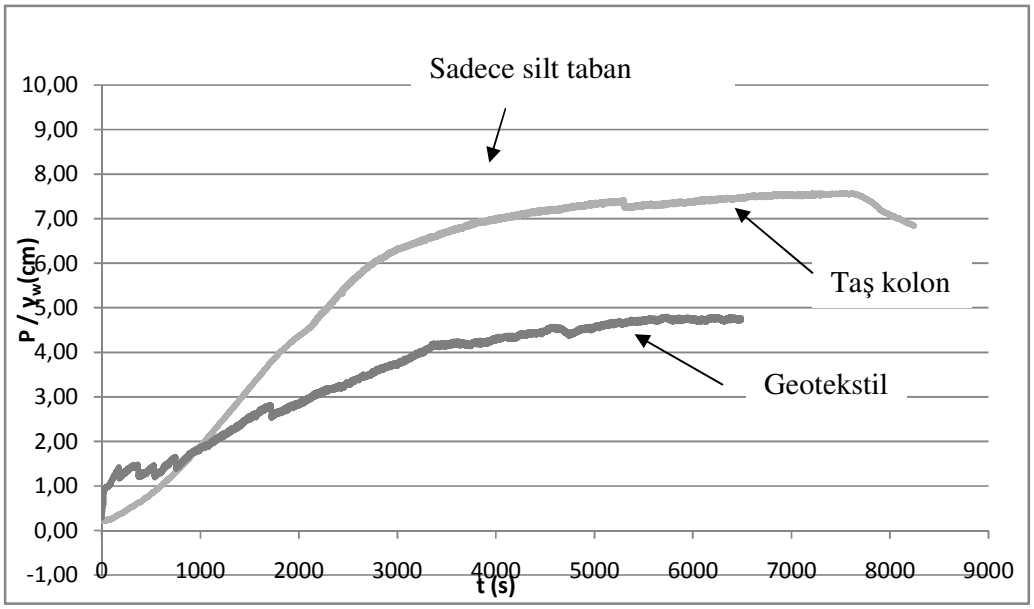
Yapılan üç deney setinde aynı notalarda; kayma dairesi ve topuk bölgesi basınç ölçerlerinin üç farklı deney koşullarında ölçtükleri basınç değerleri sırasıyla kayma dairesi için (TD103) Şekil 4.8'de, topuk bölgesi yüzeye yakın (TD106) için Şekil 4.9'da ve topuk bölgesi derin kısım (TD107) için Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu şekillerde alınan tedbirlerin boşluk suyu basınçlarındaki değişime nasıl tesir ettikleri görülmektedir.



Şekil 4.8 : Kayma dairesindeki TD103 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü boşluk suyu basıncı grafiği



Şekil 4.9 : Topuk bölgesindeki TD106 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü boşluk suyu basıncı grafiği



Şekil 4.10 : Topuk bölgesindeki TD107 basınç ölçerinin üç deney setinde ölçtüğü boşluk suyu basıncı grafiği

Üç grafikten de görülen geotekstilin etki ettiği bölgedeki boşluk suyu basıncı değerlerini, diğer iki sisteme göre daha düşük tutarak sıvılaşmaya karşı sistemin mukavemetini artırmıştır.

Sonuç olarak sıvılaşma riski olan zeminler üzerinde yapılacak yapılarda sıvılaşmaya karşı tedbir olarak, zemin yüzeyinin belirli bir miktar altına geotekstil serilerek kayma mukavemetinin artırılması önerilebilir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Dalga tesiri sonucu meydana gelen sıvılaşmanın, deneyler sonucu dalgakıran yapılarının altındaki zeminde de görülmesi, dalgakıranların tasarımında sıvılaşmanın göz önüne alınması gerektiğini ortaya koymuştur. Sıvılaşmanın dalgakıranın kayma dairesi ve topuk bölgelerinde kritik olduğu, öncelikle dalgakıran zırh tabakasının olduğu bu bölümlerde zırh tabakası altındaki sıvılaşmaya paralel kaymalar olcağı ve bunun sonucunda bu bölgedeki dalgakıranda göçmeye kadar gidebilecek hasarlar oluştuğu ortaya konmuştur. Zırh tabakasındaki taşların batması ve yatayda taşıma gücünü kaybeden kayma dairesine doğru ilerlemesi, dalgakıranda görülen hasarın temel sebebidir. Zırh tabakasındaki taşlar batıp kayma dairesine, oradan da açık denize doğru ilerledikçe, iç tabakalardaki taşlar onların yerini almakta, zırhtaki taşların tamamı kayana kadar devam etmektedir. Bu kayma da dalgakıranın dalgalara karşı direncini kırmakta ve göçmeye sebep olmaktadır. Bu sebeplerden dolayı kritik kesit olan topuk ve kayma dairesi en kesitlerinde tedbir alınmıştır. Çalışma kapsamında alınan tedbirlerin ilki, drenaj sağlaması amacıyla taş kolon uygulamasıdır. Topuk ve kayma dairesindeki zemin en kesitine yerleştirilen taş kolonlar bir süre drenajı sağlayıp sıvılaşmayı durdursa da, daha sonra tıkanarak drenaj işlevini yerine getirememiş ve zemin sıvılaşmıştır. Bu deneyden taş kolonların nihai bir tedbir olmadığı, sadece sıvılaşma süresini bir miktar uzattığı ortaya çıkmıştır. Uygulanan ikinci tedbir geotekstil uygulamasıdır. Topuk ve kayma dairesi en kesitlerine yerleştirilen geotekstil, altındaki zemini uzun bir süre sıvılaşmaya karşı korumuştur. Bunun sebebi, sıvılaşmanın mekanizmasından anlaşılabilir. Sıvılaşmanın temel sebebi zeminde sürekli oluşan farklı yöndeki kayma gerilmelerinin zemindeki boşluk suyu basıncını arttırmasıdır. Fakat geotekstil zeminin kayma mukavemetini artırdığı ve zemin yüzeyinin dinamik deplasmanını önlediği için, zemin kayma gerilmelerinden çok daha az etkilenmiştir.

Sonuç olarak silt zemin üzerine inşa edilecek kıyı yapılarında sıvılaşma mutlaka göz önüne alınmalıdır. Sıvılaşmaya karşı geoteknik yöntemlerle tedbir alınabilmekte ve bu tedbirler sıvılaşmayı geciktirmektedir.

KAYNAKLAR

[1] **Kabdaşlı, S.,** 1992, Kıyı Mühendisliği, İTÜ, İstanbul.

[2] **Tsinker, G.P., 2004,** Port Engineering: Planning, Construction, Maintenance, and Security, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.

[3] **Herbich, J.B.,** 2000, Handbook of Coastal Engineering, McGraw Hill, New York, NY.

[4] **Headland, J.R.,** 1995, Floating Breakwaters, in *Marine Structures Engineering: Specialized Applications*, pp. 367-411, Ed. Tsinker G.P., Chapman & Hall, New York, NY.

[5] **Bruun, P.,** 1981, Port Engineering, Gulf Publishing Company, Houston, TX.

[6] **Özüdoğru K., ve Toğrol E.,** 1992, Deniz Geotekniği, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

[7] **Tsinker, G.P.,** 1997, Handbook of Port and Harbor Engineering: Geotechnical and Structural Aspects, Chapman & Hall, New York, NY.

[8] **Bardet, J.P.,** 1997, Experimental Soil Mechanics, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

[9] **Mandal, J.N., ve Divshikar, D.G.,** 1995, Soil Testing in Civil Engineering, A. A. Balkema, Rotterdam.

[10] **Capper P.L., ve Cassie W.F.; çev. Kumbasar V.,** 1984, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

[11] **Kip, F., ve Kumbasar V.,** 1999, Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

[12] **Önalp, A., Arel, E., Bol, E., Özocak, A., ve Sert, S.,** 2008, Sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde koni penetrasyon deneyi (CPT) sönümlenme yönteminin uygulanması, Tübitak, Proje No: 104M387.

[13] **Arel, E., Önalp, A., ve Sert, S.,** 2008, Siltlerin sıkışabilirliği, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, Türkiye, Ekim 16-17.

[14] **Ural, N., Önalp, A., ve Arel, E.,** 2008, Siltte dinamik üç eksenli ve basit kesme deney sonuçlarının karşılaştırılması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onikinci Ulusal Kongresi, Konya, Türkiye, Ekim 16-17.

[15] **Fredsoe, J., ve Sumer, B.M.,** 2002, The Mechanics of Scour in the Marine Environment, World Scientific, Singapore.

[16] **Day, R.W.,** 2002, Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, McGraw Hill, New York, NY.

[17] **Siddhartan, R., ve Norris, G.M.,** 1993, Analysis of offshore pipeline flotation during storms in liquefiable soils, *Proc. Third Inernational Offshore* and Polar Engineering Conference, Singapore, June 6-11.

[18] **Christian, J.T., Taylor, P.K., Yen, J.K.C., ve Erali, D.R.,** 1974, Large diameter underwater pipeline for nuclear plant designed against soil liquefaction, *Offshore Technology Conference,* Houston, Texas, USA, May 6-8.

[19] **Herbich, J.B., Schiller, R.E., Dunlap W.A., ve Watanabe R.K.,** 1984, Seafloor Scour, Design Guidelines for Ocean Founded Structures, Marcel Dekker Inc., New York, NY.

[20] **Dunlap, W., Bryant, W.R., Williams, G.N., ve Suheyda J.N.,** 1979, Storm wave effects on deltaic sediments – Results of SEASWAB I and II, Port and Ocean Engineering Under Arctic Conditions (POAC 79), Norwegian Institute of Technology, vol. 2, 899-920.

[21] **Miyamoto, T., Yoshinaga, S., Soga, F., Shimizu, K., Kawamata K., ve Sato, M.,** 1989, Seismic prospecting method applied to the detection of offshore breakwater units settling in the seabed, Coastal Engineering in Japan, 32, 103-112.

[22] **de Wit, ve J.,Kranenburg, C.,** 1997, The wave-induced liquefaction of cohesive sediment beds, Estuarine, Coastal and Shelf Science, 45, 261-271.

[23] **Sumer, B.M., ve Cheng N.S.,** 1999, A random-walk model for pore pressure accumulation in marine soils. Proc. 9th International Offshore and Polar Engineering Conference, Brest, France, May 30 – June 4.

[24] **Sakai, T.,Hatanaka, K., ve Mase, H.,** 1992, Wave-induced effective stres in seabed and its momentary liquefaction, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, **118**, 202-206.

[25] **Sassa, S., ve Sekiguchi, H.,** 1999, Wave-induced liquefaction of beds of sand in a centrifuge, Geotechnique, **49**, 621-638.

[26] **Mory, M., Michallet, M., Bonjean, D., Piedra-Cueva, I., Barnoud, J.M., Foray, P., Abadie, S., ve Breul, P.,** 2007, A field study of momentary liquefaction caused by waves around a coastal structure, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 133, 28-38.

[27] **Sumer, B.M., Fredsoe, J., Christensen, S., ve Lind, M.T.,** 1999, Sinking/Flotation of pipelines and other objects in liquefied soils under waves, Coastal Engineering, 38, 53-90.

[28] **van Kessel, T., ve Kranenburg, C.,** 1998, Wave-induced liquefaction and flow of subaqueous mud layers, Coastal Engineering, **34**, 109-127.

[29] **Tsai, C.P.,** 1995, Wave-induced liquefaction potential in a porous seabed in front of a breakwater, Ocean Engineering, **22**, 1-18.

[30] **van Impe, W.F.,** 1989, Soil Improvement Techniques and Their Evolution, A.A.Balkema, Rotterdam.

[31] **Koerner, R.M.,** 1990, Designing with Geosynthetics, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

EKLER

Çizelge A.1 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 1. deney ölçümleri

Yatay Deplasman ΔL (1/100)	Kuvvet Halkası	Düşey deplasman Δh	Düzeltilmiş Alan A_l (cm^2)	Kayma Gerilmesi (N/cm^2)
0	0,00	43,00	36,00	0,00
25	42,00		35,85	1,63
50	80,50		35,70	3,14
75	108,50		35,55	4,25
100	123,00	48,00	35,40	4,84
125	129,00		35,25	5,10
150	140,50		35,10	5,58
175	155,00		34,95	6,18
200	172,50	43,50	34,80	6,91
225	188,00		34,65	7,56
250	203,00		34,50	8,20
275	218,00		34,35	8,85
300	231,00	36,00	34,20	9,42
325	241,00		34,05	9,87
350	249,50		33,90	10,26
375	257,00		33,75	10,62
400	259,50	22,50	33,60	10,77
425	256,00		33,45	10,67
450	243,00		33,30	10,17
475	235,00		33,15	9,88
500	232,00	20,00	33,00	9,80
525	217,50		32,85	9,23
550	223,00		32,70	9,51
575	230,00		32,55	9,85
600	236,00	25,00	32,40	10,15
650	242,00		32,10	10,51
700	215,50	27,00	31,80	9,45
750	246,50		31,50	10,91
800	241,50	28,50	31,20	10,79
850	238,00		30,70	10,81
900	236,00	30,00	30,60	10,75
950	235,20		30,30	10,82
1000	234,80	31,00	30,00	10,91
1050	234,90		29,70	11,03
1100	234,00	32,00	29,40	11,10
1150	232,00	33,00	29,10	11,11

Çizelge A.1 : (devam) ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 1. deney ölçümleri

Tarih	Saat	Δh	σ_n(N/cm^2)=	10 N/cm^2
28.07.2008	11:20	0	Yay Faktörü(N/div)=	1,394
29.07.2008	13:30	43	Ring Ağırlığı(gr)=	168,3
Yaş Num+Dara(gr)	190,5		Ring+yaş numune(gr)=	314,3
Kuru Num+Dara(gr)	168,7		γ_n(kN/m^3)	
Dara(gr)	44,2			
Kuru Numune(gr)	124,5		W_n(%): 14	
Su Miktarı(gr)	21,8			
W_{son}(%)	5,71			

Çizelge A.2 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 2. deney ölçümleri

Yatay Deplasman ΔL (1/100)	Kuvvet Halkası	Düşey deplasman Δh	Düzeltilmiş Alan A_l (cm^2)	Kayma Gerilmesi (N/cm^2)
0	0,00	47,00	36,00	0,00
25	32,00		35,85	1,24
50	60,00		35,70	2,34
75	96,00		35,55	3,76
100	142,00	48,00	35,40	5,59
125	166,00		35,25	6,56
150	217,50		35,10	8,64
175	258,00		34,95	10,29
200	288,00	49,00	34,80	11,54
225	316,00		34,65	12,71
250	337,00		34,50	13,62
275	354,00		34,35	14,37
300	367,00	46,00	34,20	14,96
325	378,50		34,05	15,50
350	390,00		33,90	16,04
375	399,50		33,75	16,50
400	408,00	45,80	33,60	16,93
425	413,00		33,45	17,21
450	424,00		33,30	17,75
475	437,50		33,15	18,40
500	449,00	51,00	33,00	18,97
525	458,00		32,85	19,44
550	460,00		32,70	19,61

Çizelge A.2 : (devam) ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 2. deney ölçümleri

550	460,00		32,70	19,61
575	455,00		32,55	19,49
600	447,50	53,00	32,40	19,25
650	444,00		32,10	19,28
700	450,00	56,50	31,80	19,73
750	453,00		31,50	20,05
800	452,50	59,00	31,20	20,22
850	451,00		30,70	20,48
900	449,00	61,00	30,60	20,45
950	446,00		30,30	20,52
1000	442,50	63,00	30,00	20,56
1050	439,00		29,70	20,60
1100	438,50	66,00	29,40	20,79
1150	437,00	67,00	29,10	20,93

Tarih	Saat	Δh	σ_n(N/cm^2)=	20 N/cm^2
30.07.2008	11:15	0	Yay Faktörü(N/div)=	1,394
31.07.2008	13:43	47,2	Ring Ağırlığı(gr)=	169,5
Yaş Num+Dara(gr)	181,2		Ring+yaş numune(gr)=	309,3
Kuru Num+Dara(gr)	160,8		γ_n(kN/m^3)	
Dara(gr)	44,2			
Kuru Numune(gr)	116,6		W_n(%): 14	
Su Miktarı(gr)	20,4			
W_{son}(%)	5,72			

Çizelge A.3 : ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 3. deney ölçümleri

Yatay Deplasman ΔL (1/100)	Kuvvet Halkası	Düşey deplasman Δh	Düzeltilmiş Alan A_l (cm^2)	Kayma Gerilmesi (N/cm^2)
0	0,00	84,00	36,00	0,00
25	38,00		35,85	1,48
50	82,00		35,70	3,20
75	158,00		35,55	6,20
100	204,00	85,00	35,40	8,03
125	245,00		35,25	9,69
150	265,50		35,10	10,54
175	297,00		34,95	11,85

Çizelge A.3 : (devam) ESEN KALSİT K-7'nin kesme kutusu 3. deney ölçümleri

200	326,50	93,00	34,80	13,08
225	353,00		34,65	14,20
250	376,00		34,50	15,19
275	397,00		34,35	16,11
300	414,00	97,00	34,20	16,87
325	430,00		34,05	17,60
350	445,50		33,90	18,32
375	457,50		33,75	18,90
400	470,50	103,00	33,60	19,52
425	486,00		33,45	20,25
450	501,00		33,30	20,97
475	511,50		33,15	21,51
500	518,00	111,50	33,00	21,88
525	525,00		32,85	22,28
550	534,50		32,70	22,79
575	544,00		32,55	23,30
600	553,00	116,50	32,40	23,79
650	572,00		32,10	24,84
700	580,00	122,00	31,80	25,43
750	581,50		31,50	25,73
800	587,00	128,00	31,20	26,23
850	589,00		30,70	26,74
900	592,00	134,00	30,60	26,97
950	594,00		30,30	27,33
1000	596,00	140,00	30,00	27,69
1050	599,00		29,70	28,11
1100	600,00	146,50	29,40	28,45
1150	597,00	150,00	29,10	28,60

Tarih	Saat	Δh	σ_n(kg/cm^2)=	30 N/cm^2
31.07.2008	15:30	0	Yay Faktörü(N/div)=	1,394
01.08.2008	14:40	84	Ring Ağırlığı(gr)=	168,3
Yaş Num+Dara(gr)	179,9		Ring+yaş numune(gr)=	306,8
Kuru Num+Dara(gr)	159,1		γ_n(t/m^3)	
Dara(gr)	44,2			
Kuru Numune(gr)	114,9		W_n(%): 14	
Su Miktarı(gr)	20,8			
W_{son}(%)	5,52			

Çizelge A.4 : ESEN KALSİT K-7'nin konsolidasyon deneyi ölçümleri

Yük	Saat	Süre	Okuma	Yük	Saat	Süre	Okuma
30 Temmuz	13:50	0	0,0	31 Temmuz	12:30	0	49,0
		15"	24,0			15"	77,0
		30"	25,5			30"	82,0
		1'	26,5			1'	84,0
	Su verildi	2'	28,0			2'	86,0
25 kPa		4'	35,0	50 kPa		4'	88,0
		8'	39,5			8'	91,0
		15'	42,0			15'	93,0
		30'	46,0			30'	96,0
		1 s	48,0			1 s	98,5
	15:50	2 s	49,0		14:30	2 s	99,0
	16:50	3 s	49,0		16:30	4 s	103,5
31 Temmuz	12:30	22 s 40'	49,0		17:50	5 s 20'	104,5
				01.Ağu	11:30	23 s	110

Yük	Saat	Süre	Okuma	Yük	Saat	Süre	Okuma
1 Ağustos	11:30	0,0	110,0	4 Ağustos	13:20	0,0	170,0
		15"	132,0			15"	203,0
		30"	134,0			30"	205,0
		1'	136,0			1'	208,0
		2'	138,5			2'	212,0
100 kPa		4'	142,0	200 kPa		4'	217,5
		8'	147,0			8'	223,0
		15'	150,5			15'	229,0
		30'	155,0			30'	236,0
	12:30	1 s	158,0		14:20	1 s	242,0
	13:30	2 s	163,0		15:20	2 s	248,0
	15:30	4 s	167,0		17:20	4 s	253,0
	16:30	5 s	169,0			8 s	
4 Ağustos	13:20	73 s 50'	170,0	5 Ağustos	11:20	22 s	264,0

Çizelge A.4 : (devam) ESEN KALSİT K-7'nin konsolidasyon deneyi ölçümleri

Yük	Saat	Süre	Okuma	Yük	Saat	Süre	Okuma
5 Ağustos	11:20	0,0	264,0	6 Ağustos	13:52	0,0	396,0
		15"	304,0			15"	486,0
		30"	309,0			30"	490,0
		1'	315,0			1'	497,0
		2'	322,0			2'	505,0
400 kPa		4'	331,0	800 kPa		4'	514,5
		8'	339,0			8'	523,5
		15'	348,0			15'	533,5
		30'	357,0			30'	545,0
	12:20	1 s	366,0		14:52	1 s	556,0
	13:20	2 s	373,0		15:52	2 s	561,5
	15:45	4 s 25'	381,0			4 s	
		8 s				8 s	
6 Ağustos	13:50	26 s 30'	396,0	7 Ağustos	14:45	24 s 53'	595,0
7 Ağustos	14:45	0	595,0	7 Ağustos	16:30	0	571
	14:55	10'	571,0		16:40	10'	554,5
400 kPa	15:15	30'	571,0	200 kPa	17:00	30'	554,5
	16:30	1 s 45'	571,0		17:45	1 s 15'	554,5
8 Ağustos	08:50	0	554,5	8 Ağustos	11:15		
	09:00	10'	541,5		11:40	0	541,5
100 kPa	10:00	1 s 10'	541,5	50 kPa	12:30	25'	529,0
	11:00	2 s 10'	541,5		13:00	1 s 15'	529,0
8 Ağustos	13:00	0	529,0			1 s 45'	529,0
	13:30	30'	520,0				
25 kPa	13:50	50'	519,0				
	14:30	1 s 30'	518,0				

Çizelge B.1 : Birinci deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

Sn	102(mm)	103(mm)	106(mm)	107(mm)	108(mm)
0,00	0,44	0,00	0,11	0,20	1,10
100,00	0,54	0,81	-0,34	0,35	1,18
200,00	3,82	3,11	3,87	0,82	1,31
300,00	5,88	6,02	9,33	0,37	1,46
400,00	8,44	6,76	13,40	1,54	1,59
500,00	8,27	7,74	14,39	1,51	1,75
600,00	9,84	8,98	13,91	0,92	1,90
700,00	11,32	9,39	14,80	2,15	2,04
800,00	13,21	11,28	13,49	1,28	2,17
900,00	13,44	11,62	13,26	1,77	2,31
1000,00	13,30	11,70	13,37	1,84	2,44
1100,00	14,24	14,88	14,11	2,05	2,59
1200,00	15,65	15,96	13,29	2,44	2,71
1300,00	15,33	15,09	14,56	3,71	2,85
1400,00	14,89	15,50	14,50	2,77	3,01
1500,00	14,87	15,43	14,57	3,36	3,16
1600,00	15,59	15,93	13,81	3,31	3,32
1700,00	15,46	15,13	14,33	5,12	3,48
1800,00	16,01	15,32	13,53	4,86	3,60
1900,00	15,01	15,59	14,61	4,67	3,70
2000,00	15,47	15,83	13,33	4,59	3,80
2100,00	15,50	15,18	14,69	5,52	3,89
2200,00	15,30	15,21	14,57	5,95	3,99
2300,00	15,25	15,24	14,62	6,13	4,09
2400,00	15,19	15,79	14,12	5,44	4,17
2500,00	15,85	15,23	14,34	6,77	4,24
2600,00	15,54	15,17	14,23	6,78	4,31
2700,00	15,43	15,83	13,77	5,92	4,37
2800,00	15,54	15,19	14,29	7,25	4,43
2900,00	16,00	15,41	13,40	6,94	4,48
3000,00	15,99	15,51	13,34	6,81	4,54
3100,00	15,51	15,79	13,56	6,65	4,58
3200,00	15,07	15,76	14,27	6,46	
3300,00	15,98	15,38	13,95	7,63	4,65
3400,00	15,02	15,43	14,65	7,56	4,72
3500,00	15,11	15,35	14,64	7,79	4,76
3600,00	15,46	15,22	14,43	7,66	4,79
3700,00	15,61	15,75	13,50	6,88	4,81
3800,00	16,01	15,52	14,51	7,56	4,83

Çizelge B.1 : (devam) Birinci deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

3900,00	16,01	15,56	13,48	7,31	4,83
4000,00	15,03	15,71	13,72	7,07	4,86
4100,00	15,47	15,76	13,48	7,23	4,88
4200,00	15,74	15,27	14,08	8,06	4,90
4300,00	16,06	15,40	13,59	7,86	4,90
4400,00	14,89	15,43	14,51	7,96	4,92
4500,00	15,62	15,81	13,35	7,38	4,93
4600,00	14,96	15,70	14,13	7,42	4,95
4700,00	14,82	15,54	14,44	7,68	4,94
4800,00	15,02	15,34	14,54	7,85	4,95
4900,00	15,54	15,27	14,49	8,21	4,98
5000,00	15,01	15,37	14,49	8,04	4,99
5100,00	15,51	15,75	13,71	7,33	5,00
5200,00	15,53	15,76	13,71	7,44	5,01
5300,00	14,99	15,31	14,52	8,20	5,01
5400,00	15,05	15,73	14,18	7,42	5,00
5500,00	14,69	15,57	14,61	7,36	5,00
5600,00	14,70	15,47	14,94	7,63	5,00
5700,00	14,92	15,32	14,56	8,25	4,99
5800,00	15,52	15,24	14,54	8,26	5,01
5900,00	14,68	15,49	14,85	7,96	5,01
6000,00	14,67	15,55	14,60	7,48	5,02
6100,00	15,29	15,76	13,65	7,84	5,01
6200,00	15,31	15,76	14,22	7,55	5,01
6300,00	15,18	15,75	14,34	7,60	5,01
6400,00	16,23	15,54	13,07	8,19	4,98
6500,00	16,24	15,55	13,20	7,94	4,98
6600,00	15,94	15,65	13,19	8,35	4,98
6700,00	14,64	15,62	14,92	7,85	5,00
6800,00	14,61	15,43	15,00	7,92	4,99
6900,00	14,65	15,64	14,77	7,84	4,98
7000,00	15,23	15,26	14,19	7,96	4,98
7100,00	15,56	15,73	13,93	7,63	4,98
7200,00	15,43	15,73	13,48	7,80	4,99
7300,00	14,84	15,34	14,75	8,15	4,99
7400,00	14,58	15,47	14,81	8,17	4,98
7500,00	15,95	15,67	13,58	7,80	4,96
7600,00	15,04	15,71	14,56	7,75	4,93

Çizelge B.2 : İkinci deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

(Sn)	102 (mm)	103 (mm)	106 (mm)	107 (mm)	108 (mm)
0,00	0,26	0,19	0,08	0,23	0,12
100,00	0,65	0,27	0,22	0,26	0,14
200,00	1,28	0,36	1,01	0,37	0,29
300,00	1,70	0,45	1,88	0,53	0,46
400,00	2,13	0,55	2,63	0,65	0,64
500,00	2,67	0,68	3,06	0,82	0,80
600,00	3,21	0,79	3,26	1,00	0,98
700,00	3,78	0,95	3,67	1,20	1,17
800,00	4,31	1,23	4,14	1,43	1,33
900,00	5,01	1,39	4,31	1,66	1,48
1000,00	5,53	1,63	4,38	1,90	1,64
1100,00		1,83	4,64	2,15	1,80
1200,00	7,63	2,09	4,87	2,41	1,98
1300,00	7,44	2,37	5,06	2,66	2,15
1400,00	7,99	2,64	5,29	2,94	2,30
1500,00	8,58	2,96	5,48	3,20	2,50
1600,00	9,26	3,32	5,74	3,47	2,69
1700,00	10,33	3,82	5,95	3,74	
1800,00	10,42	4,11	6,28	3,98	3,04
1900,00	10,90	4,55	6,51	4,19	3,19
2000,00	11,25	4,88	6,69	4,36	
2100,00		5,19	6,96	4,54	3,41
2200,00	12,10	5,62	7,28	4,80	3,54
2300,00	12,72	5,98	7,45	5,03	3,65
2400,00	12,63	6,29	7,68	5,29	3,75
2500,00	12,65	6,58	7,85	5,53	3,85
2600,00		6,79	7,96	5,73	3,94
2700,00	16,09	6,98	8,11	5,91	4,01
2800,00	15,55	7,28	8,24	6,08	4,10
2900,00	15,84	7,58	8,32	6,21	4,15
3000,00	15,40	7,75	8,42	6,29	4,22
3100,00	15,93	8,04	8,55	6,40	4,30
3200,00	15,93	8,23	8,60	6,46	4,33
3300,00		8,77	8,68	6,58	4,36
3400,00	16,86	9,08	8,83	6,61	4,43
3500,00	15,78	9,54	8,93	6,68	4,51
3600,00		9,93	9,05	6,78	4,54
3700,00		10,37	9,12	6,86	4,56

Çizelge B.2 : (devam) İkinci deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

3800,00		10,61	9,14	6,93	4,57
3900,00	16,01	10,95	9,31	6,95	4,60
4000,00	16,04	11,10	9,34	6,99	4,62
4100,00	15,79	11,23	9,44	7,00	4,64
4200,00		11,40	9,61	7,07	4,66
4300,00	16,15	11,66	9,68	7,12	4,68
4400,00	16,26	11,81	9,81	7,17	4,69
4500,00	16,12	11,89	9,90	7,19	4,72
4600,00	16,44	12,04	10,03	7,21	4,72
4700,00	16,01	12,04	10,13	7,22	4,73
4800,00	16,52	12,27	10,25	7,29	4,72
4900,00	16,23	12,38	10,29	7,30	4,76
5000,00	16,32	12,58	10,40	7,34	4,79
5100,00	16,36	12,69	10,51	7,36	4,79
5200,00	16,18	12,81	10,54	7,39	4,81
5300,00	16,19	12,86	10,66	7,40	4,82
5400,00	16,41	12,99	10,70	7,28	4,82
5500,00	16,32	13,04	10,72	7,30	4,81
5600,00	16,31	13,12	10,82	7,31	4,79
5700,00	16,25	13,20	10,86	7,29	4,80
5800,00	16,15	13,20	10,93	7,33	4,80
5900,00	16,18	13,20	11,01	7,35	4,81
6000,00	16,19	13,30	11,07	7,37	4,81
6100,00	16,22	13,53	11,11	7,40	4,81
6200,00	16,16	13,49	11,11	7,41	4,78
6300,00	16,16	13,60	11,22	7,44	4,80
6400,00	16,64	13,65	11,23	7,46	4,79
6500,00	16,35	13,62	11,26	7,48	4,79
6600,00	16,34	13,54	11,26	7,52	4,79
6700,00	16,23	13,56	11,45	7,52	4,79
6800,00	16,56	13,70	11,46	7,52	4,80
6900,00	16,30	13,64	11,50	7,55	4,79
7000,00	16,58	13,69	11,49	7,54	4,79
7100,00	16,56	13,53	11,57	7,54	4,78
7200,00	16,46	13,55	11,55	7,54	4,77
7300,00	16,23	13,60	11,57	7,52	4,79
7400,00	16,48	13,51	11,63	7,55	4,79
7500,00	16,47	13,44	11,64	7,56	4,77
7600,00	16,46	13,30	11,69	7,56	4,74
7700,00	16,04	13,22	11,70	7,51	4,68

Çizelge B.3 : Üçüncü deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

sn	102 (mm)	103 (mm)	106 (mm)	107 (mm)	108 (mm)
0,00	0,44	0,19	0,05	0,28	0,29
100,00	0,54	0,27	0,50	1,12	0,58
200,00	3,82	0,36	1,39	1,22	0,41
300,00	5,88	0,45	1,42	1,42	0,50
400,00	8,44	0,55	1,42	1,25	0,63
500,00	8,27	0,68	2,10	1,40	0,44
600,00	9,84	0,79	1,89	1,31	0,62
700,00	11,32	0,95	2,57	1,55	0,71
800,00	13,21	1,23	2,54	1,51	0,70
900,00	13,44	1,39	2,75	1,72	0,82
1000,00	13,30	1,63	2,92	1,84	0,98
1100,00	12,17	1,83	2,98	1,98	1,01
1200,00	11,99	2,09	2,82	2,05	1,24
1300,00	13,84	2,37	2,83	2,23	1,05
1400,00	11,77	2,64	3,10	2,37	1,33
1500,00	13,17	4,69	3,31	2,53	1,48
1600,00	11,43	4,02	3,89	2,72	1,32
1700,00	12,06	4,23	3,82	2,74	1,87
1800,00	13,35	4,41	4,08	2,68	1,68
1900,00	11,95	4,54	4,03	2,72	2,03
2000,00	13,50	4,86	4,27	2,87	2,01
2100,00	11,86	5,10	4,27	2,94	2,29
2200,00	13,23	5,11	4,38	3,10	2,19
2300,00	11,76	5,20	4,21	3,14	2,42
2400,00	13,29	5,40	4,49	3,25	2,30
2500,00	12,95	5,46	4,39	3,26	2,58
2600,00	12,85	5,58	4,51	3,39	2,46
2700,00	12,69	6,34	4,47	3,48	2,45
2800,00	13,33	8,44	4,53	3,59	2,24
2900,00	13,65	8,56	4,70	3,67	2,36
3000,00	12,83	8,68	4,68	3,73	2,37
3100,00	12,33	11,21	4,99	3,83	2,12
3200,00	12,51	10,86	5,21	3,96	1,89
3300,00	12,17	11,02	5,22	4,08	1,92
3400,00	12,66	10,80	5,47	4,17	1,79
3500,00	12,79	10,41	5,48	4,19	2,17
3600,00	12,69	9,60	5,26	4,20	1,89
3700,00	12,68	10,09	5,16	4,16	2,27

Çizelge B.3 : (devam) Üçüncü deney setinde boşluk suyu basınçlarının her yüz saniyedeki değerleri

3800,00	12,02	10,03	5,28	4,20	2,50
3900,00	12,25	11,00	5,45	4,25	2,09
4000,00	11,53	11,03	5,42	4,32	2,22
4100,00	12,91	11,02	5,76	4,34	2,05
4200,00	12,78	9,89	5,58	4,35	2,37
4300,00	12,17	11,09	5,76	4,41	2,11
4400,00	12,74	11,33	5,52	4,42	2,33
4500,00	12,60	9,41	5,43	4,48	2,40
4600,00	11,82	10,82	5,64	4,55	2,18
4700,00	12,64	9,24	5,58	4,47	2,58
4800,00	12,30	10,08	5,66	4,42	2,40
4900,00	12,53	9,27	5,70	4,53	2,29
5000,00	12,13	9,82	5,90	4,53	2,22
5100,00	12,60	9,97	5,69	4,60	2,37
5200,00	11,77	11,02	5,93	4,66	2,40
5300,00	12,87	11,22	5,91	4,67	2,23
5400,00	12,20	10,34	5,91	4,71	2,12
5500,00	12,28	11,03	6,46	4,72	2,20
5600,00	12,00	9,15	6,24	4,70	2,39
5700,00	12,22	9,59	6,12	4,74	2,08
5800,00	12,60	10,44	6,59	4,71	2,01
5900,00	12,57	10,88	6,79	4,77	2,16
6000,00	12,59	11,47	6,72	4,75	1,82
6100,00	12,16	11,69	6,73	4,76	2,05
6200,00	12,15	10,68	6,79	4,76	2,18
6300,00	12,21	10,74	6,54	4,73	2,06
6400,00	12,54	9,98	6,60	4,75	2,11

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Volkan Öztuğ

Doğum Yeri ve Tarihi: İzmir, 24/08/1985

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi

e-mail: voztug@hotmail.com