

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOLGU TÜRÜ YAPILARDA OTURMANIN YAPI GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ
ÖNEMİNİN BİR GÖLET ÖRNEĞİ ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Burcu AŞGA
DANIŞMAN: Doç. Dr. Devlet ÇIRAGOĞLU

VAN-2011

T.C.
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**DOLGU TÜRÜ YAPILARDA OTURMANIN YAPI GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ
ÖNEMİNİN BİR GÖLET ÖRNEĞİ ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: Burcu AŞGA
DANIŞMAN: Doç. Dr. Devlet ÇIRAGOĞLU

VAN-2011

ÖZET

DOLGU TÜRÜ YAPILARDA OTURMANIN YAPI GÜVENLİĞİ ÜZERİNDEKİ ÖNEMİNİN BİR GÖLET ÖRNEĞİ ÜZERİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

AŞGA, Burcu

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Devlet ÇIRAGOĞLU

Ekim 2011, 54 sayfa

Emek Köyü'nün kuzeydoğusunda yer alan ve 1984 yılında inşa edilen sulama amaçlı gölette zamana bağlı olarak siltlenme sorunu meydana geldiğinden göl hacminde bir azalma oluşmuştur. Bu nedenle, göletten daha fazla yararlanmak için ilgili kurum tarafından gövde yüksekliğin artırılması düşünülmüştür. Bu tez çalışması kapsamında, gölet üzerinde yapılması planlanan 3 m'lik ilave dolgunun, göletin mevcut kil dolgusunda oluşturabileceği konsolidasyon oturmasının miktarı araştırılmıştır. Bu amaçla, mevcut gölet gövdesinde oluşabilecek konsolidasyon oturmaları göletin farklı noktalarında ampirik yaklaşımla hesaplanmıştır.

Buna göre, yapılan hesaplamalar sonucunda zamana bağlı olarak YSK-1 nolu lokasyonda 4.16 cm, YSK-2 nolu lokasyonda 5.11 cm, YSK-3 nolu lokasyonda 9.23 cm ve YSK-4 nolu lokasyonda 3.79cm konsolidasyon oturması oluşabileceği belirlenmiştir. Ampirik yöntem kullanılarak yapılan konsolidasyon oturması hesaplamaları, yapılması planlanan 3 m'lik yeni dolgunun, gölet aksının özellikle su içeriği zaman içerisinde yükselmiş killi bölümlerinde deformasyona neden olabileceğini işaret etmektedir. İlave dolgu projesinin uygulama aşamasına geçilmeden önce meydana gelebilecek bu oturmaların gölet güvenliği üzerindeki etkisi dikkate alınmalıdır.

Anahtar kelimeler: Konsolidasyon oturması, gölet, dolgu türü yapılarda oturma, ilave dolgu

ABSTRACT

SETTLEMENT ON THE IMPORTANCE OF BUILDING STRUCTURES TYPE OF FILLING A LAKE SAFETY ON THE ASSESSMENT OF THE CASE

AŞGA, Burcu

Thesis of Master Science, Department of Geological Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Devlet ÇIRAGOĞLU

October 2011, 54 Pages

Over time silting has reduced the volume of an artificial irrigation lake which was built in 1984 near northeast of Emek village. Therefore, related institutions took action to obtain more benefit from the lake by increasing its volume. This thesis investigates the amount of consolidation on existing clay infill of the lake that may result from the planned water level increase of an additional 3 meters. Based on this objective, possible consolidation settlements of various points of the existing lake body are calculated by an empirical approach.

As a result of the calculations possible consolidation of settlement with respect to time was obtained as 4.16 cm at locations YSK1, 5.11 cm at locations YSK2, 9.3 cm at locations YSK3, and 3.9 cm at locations YSK4. Consolidation settlement calculated by using an empirical method shows that the planned filling of an extra 3 meters may cause deformation of the lake axis especially at clayey parts where the water content is increased by time. Before the project implementation, the effect of the possible settlement on the lake safety should be considered

Key words: Consolidation Settlement, Lake, Settlement Building Structures Type Of Filling, Additional Filling

ÖN SÖZ

Mühendislik jeolojisi gelişen toplumlarda sanayileşme, ulaşım ve yerleşim gereksinimleri nedeni ile doğal çevreyi etkilediği için her geçen gün daha çok önem kazanmaktadır. Bu bilim dalı özellikle, şev kazıları, tüneller, otoyollar, barajlar, yer altı ve yer üstü kazıları ve bunun gibi çeşitli yapıların inşaatlarına ilişkin mühendislik projelerinde karşılaşılan problemlerin çözümünde vazgeçilmez bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur.

Bir yapının projesinde başarılı sonuç elde etmek için, yapının projelendirilmesinden önce yapının üzerinde yer alacağı temel ortamın mühendislik jeolojisi ve jeoteknik parametrelerinin iyi belirlenmesine bağlıdır. Bu nedenle zemin etütlerinin çok önemli bir yeri vardır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yardımlarını esirgemeyen, çalışmanın başlangıcından tezin hazırlanmasına kadar geçen tüm evrelerde bana her konuda destek olan sayın hocam ve danışmanım Doç. Dr. Devlet ÇIRAGOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında her türlü moral desteğini sağlayan, fikirleriyle bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hasan KAPLAN'a, Yrd.Doç.Dr. Mutluhan AKIN'a, Yrd.Doç.Dr. Türker YAKUPOĞLU'na, Yrd.Doç.Dr. Tolga DEPCİ'ye, Yrd.Doç.Dr. Ali ÖZVAN'a ve Jeoloji Müh. Nevin AKSOY'a, ve Yüzüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji mühendisliği bölümündeki değerli hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin ortaya çıkmasında her an yanımda olan, her türlü maddi-manevi desteği sağlamış olan aileme ve tüm dostlarıma bütün kalbimle teşekkür ederim.

Burcu AŞGA

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı	2
1.2. İnceleme Alanının Tanıtılması	3
2. KURAMSAL TEMELLER.....	5
2.1. Oturma Türleri.....	6
2.1.1. Ani oturma.....	7
2.1.1.1. İnce taneli zeminlerin ani oturması	9
2.1.1.2. İri taneli zeminlerin ani oturması	11
2.1.2. Konsolidasyon oturması.....	12
2.1.2.1. Birincil konsolidasyon oturması (s_c)	13
2.1.2.2. İkincil konsolidasyon oturması	21
2.3. Yapıların Müsaade Edilebilir Oturması	22
2.3.1. Farklı oturma	23
2.3.2. Toplam oturma.....	24
3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ	25
4. MATERYAL ve YÖNTEM	31
4.1. Materyal	31
4.1.1. Jeoloji haritası.....	31

4.1.2. Laboratuvar verileri	31
4.2. Yöntem.....	32
5. BULGULAR.....	36
5.1. Gölet Alanının Jeolojisi.....	36
5.2. Konsolidasyon Oturması Hesapları	38
5.2.1. YSK-1 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları	43
5.2.2. YSK-2 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları	44
5.2.3. YSK-3 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları	45
5.2.4. YSK-4 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları	46
5.3. Gölet Gövdesinde Meydana Gelebilecek Konsolidasyon Oturmalarının Değerlendirilmesi.....	47
6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR.....	48
KAYNAKLAR.....	50
ÖZ GEÇMİŞ.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	3
Şekil 1.2. Gölet gövdesi üzerinde açılan YSK-1, YSK-2, YSK-3 ve YSK-4 kuyularının yerlerinin gösterimi ve gölet temeli jeolojik kesiti.....	4
Şekil 2.1. Pisa Kulesinde görülen farklı oturma	5
Şekil 2.2. Oturma türleri a) üniform oturma b) eğilme c) üniform olmayan oturma	6
Şekil 2.3. Ortalama gerilme artışından oturmanın bulunması (Birinci yöntem)	15
Şekil 2.4. Tabakalara bölünerek oturmanın bulunması (İkinci Yöntem)	16
Şekil 2.5. Daire şeklindeki temelin merkezi altında oluşan boşluk suyu basıncının gelişimi	17
Şekil 5.1. İnceleme alanının jeoloji haritası	37
Şekil 5.2. Gölet aksı üzerinde yapılması planlanan 3 m'lik ilave dolgusu	42
Şekil 5.3. YSK-1 kuyusu için gölet gövdesi kesiti	43
Şekil 5.4. YSK-2 kuyusu için gölet gövdesi kesiti	44
Şekil 5.5. YSK-3 kuyusu için gölet gövdesi kesiti	45
Şekil 5.6. YSK-4 kuyusu için gölet gövdesi	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Elastik bir ortamda bulunan (sonsuz derinlikte) yüklü alanlar için şekil ve rijitlik değerleri	10
Çizelge 2.2. Rijit bir taban üzerindeki (sınırlı bir derinlikte) yüklü alanlar için şekil ve rijitlik değerleri	10
Çizelge 2.3. Aşırı konsolidasyon oranı ve plastisite indeksine bağlı elastisite modülü	11
Çizelge 2.4. Zeminlerin konsolidasyon karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan değişik yöntemler	13
Çizelge 2.5. Doygun kumların rölatif sıkılıklarına ilişkin konsolidasyon özellikleri	20
Çizelge 2.6. Zeminlerin sıkışabilirliğe göre sınıflandırılması.....	22
Çizelge 2.7. İzin verilebilir oturmalar için sınır değerleri.....	23
Çizelge 2.8. Zemin tipi ve temel tipine göre izin verilebilir maksimum toplam oturma	24
Çizelge 4.1. Laboratuar sonuçları	33
Çizelge 5.1. m_v değerleri (m^2/kN)	40
Çizelge 5.2. YSK-1, YSK-2, YSK-3, YSK-4 nolu lokasyonlarda beklenen oturma miktarı.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

A	Boşluk suyu basıncı parametresi
B	Temel genişliği
C_c	Sıkışma indisi
C_r	Tekrar sıkışma indisi
C_a	İkincil sıkışma indisi
c_v	Konsolidasyon katsayısı
d_z	Zemin kalınlığı
E	Elastisite modülü
e_o	Boşluk oranı
e_p	Birincil konsolidasyonun sona erdiği zamandaki boşluk oranı
H	Sıkışabilir tabaka kalınlığı
H_t	Tabakanın ilk kalınlığı
I_p	Yüklenen alanın şekline bağlı olarak değişen rijitlik faktörü
K_{vi}	Düşey yatak katsayısı modülü
L	Temel uzunluğu
m_v	Hacimsel sıkışma katsayısı
P_o	Başlangıçtaki ortalama efektif gerilme
q	Taban basıncı, yük
q_a	Zemin emniyet gerilmesi
q_t	Net koni direnci
s_c	Konsolidasyon oturması
si	Ani (drenajsız – elastik) oturma
ss	İkincil konsolidasyon oturması
t	İkincil konsolidasyon için geçen zaman
t_p	Birincil konsolidasyonun sona erdiği zaman
z	Derinlik

α	Etki sayısı
ΔP	Sıkışabilir tabakaya etkiyen basınçtaki ortalama değışiklik
Δu	Boşluk suyu basıncı
σ	Efektif Gerilme
β	Açısal çarpılma değeri
γ_n	Tabii birim ağırlık
Δp	Sıkışabilir tabakaya etkiyen basınçtaki ortalama değışiklik

Kısaltmalar

OCR	Aşırı Konsolidasyon Oranı
PI	Plastisite İndeksi
SPT	Standart penetrasyon deneyi
YSK	Yer altı sondaj kuyusu
CPT	Piezokon penetrasyon testi

1. GİRİŞ

Mühendislik jeolojisinde, tüneller, şev kazıları, yeraltı hidrolik yapıları, otoyollar, barajlar, göletler gibi değişik türdeki yapıların ön inceleme, planlama ve proje aşamaları sırasında jeolojik-jeoteknik çalışmalardan yararlanılarak yapılan zemin etütleri, ilgili yapının temel zemini veya kayacın mühendislik özelliklerini, izin verilebilir zemin emniyet gerilmesinin tayinini (q_a), dolgu yükü altında oluşacak oturma büyüklüğünü, oturmanın tamamlanma süresi gibi hususlarda nicel bilgiler sunmakla birlikte temel zeminin daha iyi tanımlanmasını sağlayarak oluşabilecek muhtemel problemlerin daha önce tahmin edilmesinde yarar sağlamış olacaktır.

Bir probleme uygun çözüm bulunmadan önce, problemin ne olduğunun anlaşılması gerekir. Bir yapının projelendirilmesinden önce yapının üzerinde yer alacağı oluşumların özelliklerinin bilinmesine gerek vardır. Bu nedenle iyi bir planlanmış bir temel araştırması ile söz konusu yapının teknik ve ekonomik yapılabilirliği koşulları belirlenir.

Temel mühendisliği uygulamalarında, zemin mekaniği, kaya mekaniği ve mühendislik jeolojisi gibi jeotekniğin alt dallarından faydalanılır. Temel zeminin özelliklerine bağlı olarak yapının güvenliği, zemin taşıma gücü ve oturma gibi iki önemli kavram ile denetlenir. Taşıma gücü kavramı, temelin zemininde göçme olmadan yeterli bir güvenliğe sahip olmasını belirttiği için oldukça önemlidir. Çünkü temelin göçmesi üst yapının güvenliğinin tehlikeye girmesine neden olacaktır. Bundan dolayı üst yapının üzerine iletilen yükü emniyetli bir şekilde taşıması gerekmektedir. Bu da temel zemininde oluşması muhtemel toplam ve farklı oturmaların kabul edilebilir değerleri aşmamasına bağlıdır.

Mühendislik yapılarının temel tasarımında taşıma gücünün sağladığı koşulların yanı sıra üzerinde durulması gereken diğer önemli bir hususu ifade eden kavram da zemindeki oturmalarla ilgili kavramlardır. Zeminlerde meydana gelecek toplam oturmalar ve farklı oturmalar izin verilebilir değerler içerisinde kalmalıdır. Yapıda oluşan oturmalar izin verilebilir değerlerin üzerine çıktığında ise yapıda çatlaklar, hasarlar hatta yıkılmalar olacaktır (Uzuner, 1984; 1985). Bu bakımdan temel zemini iyice incelenerek zemindeki

olası oturmaların hesaplanması gereklidir. Zeminin oturması, yapı projelerini doğrudan etkilediğinden zeminde meydana gelecek oturmanın miktarı ve ne kadar sürede gelişeceğinin bilinmesi zorunludur.

1.1. Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

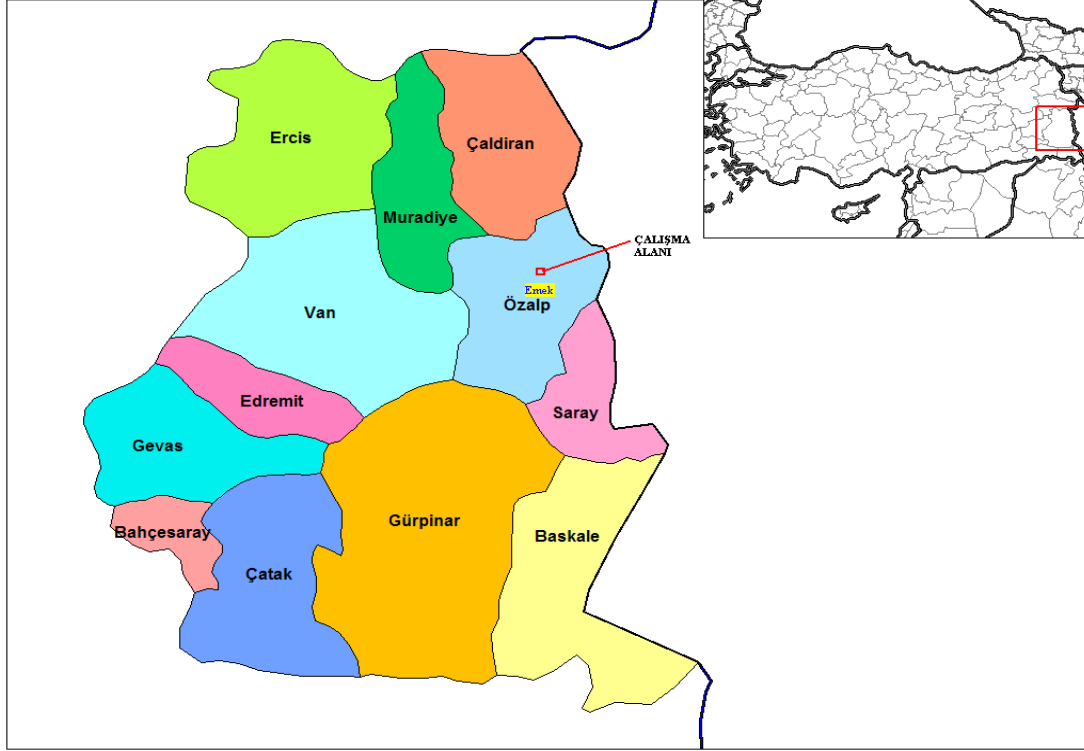
Oturma, mühendislik projelerinde karşılaşılan önemli sorunlardan bir tanesidir. Özellikle ağır yapıların altındaki temel zeminin zamana bağlı olarak oturması, yapı güvenliğini ciddi anlamda tehlikeye sokmaktadır. Bu nedenle yapıların projelendirilmesinde, özellikle boşluk oranı yüksek killi zeminlerde, oturma miktarının yapının tolere edebileceği ölçülerde olması gerekmektedir.

Dolgu türü yapılarda, yapı yüküne bağlı olarak, oturma kritik seviyelere ulaşabilmektedir. Öte yandan, mevcut bir dolgu yapının üzerindeki yükün artırılması da, dolgu içerisindeki gerilme seviyesini arttıracığından, oturmanın yeniden tetiklenmesine neden olabilir. Ayrıca dolgunun zaman içerisinde ilksel özelliklerindeki değişimler (örn; boşluk suyu miktarının artması vb.) yükleme artışlarına bağlı olarak yüksek oturma miktarlarının ulaşılmasına ve yapının işlevselliğini kaybetmesine sebep olabilir. Baraj, gölet gibi yapılarda, ikincil yükleme koşullarında (aks yüksekliğinin arttırılması gibi) oluşabilecek oturma miktarlarının araştırılması gerekmektedir.

İnceleme konusunu oluşturan 1984 yılında sulama amaçlı olarak yapılan gölette zamana bağlı olarak siltlenme sorunu meydana gelmiş ve bunun sonucunda göl hacminde azalma oluşmuştur. Bu nedenle ilgili kuruluş tarafından gölet gövdesinin 3 m yükseltilerek göl hacminin arttırılması planlanmıştır. Bu kapsamda ilgili kuruluş tarafından mevcut gölet gövdesi üzerinde 4 adet sondaj çalışması yapılmıştır ve laboratuvar deneyleri için örnekleme yapılmıştır. Elde edilen veriler bu tez çalışmasında değerlendirilerek 3 m'lik ek dolgu sonrasında oluşabilecek oturmanın miktarı ampirik yöntemlerle belirlenmiştir.

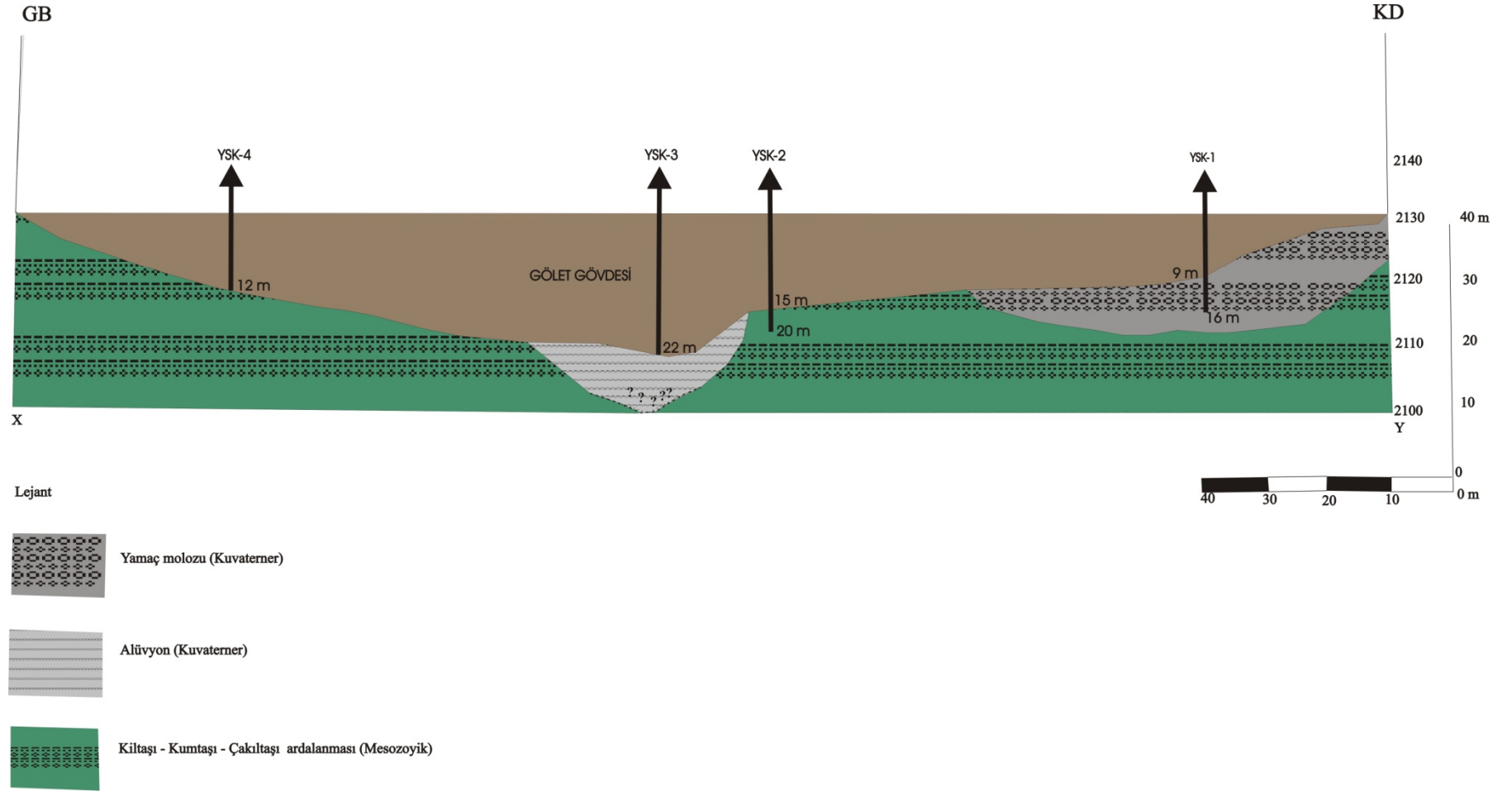
1.2. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı Van İli, Özalp İlçesinin 6 km güneyinde yer alan Emek köyünün kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

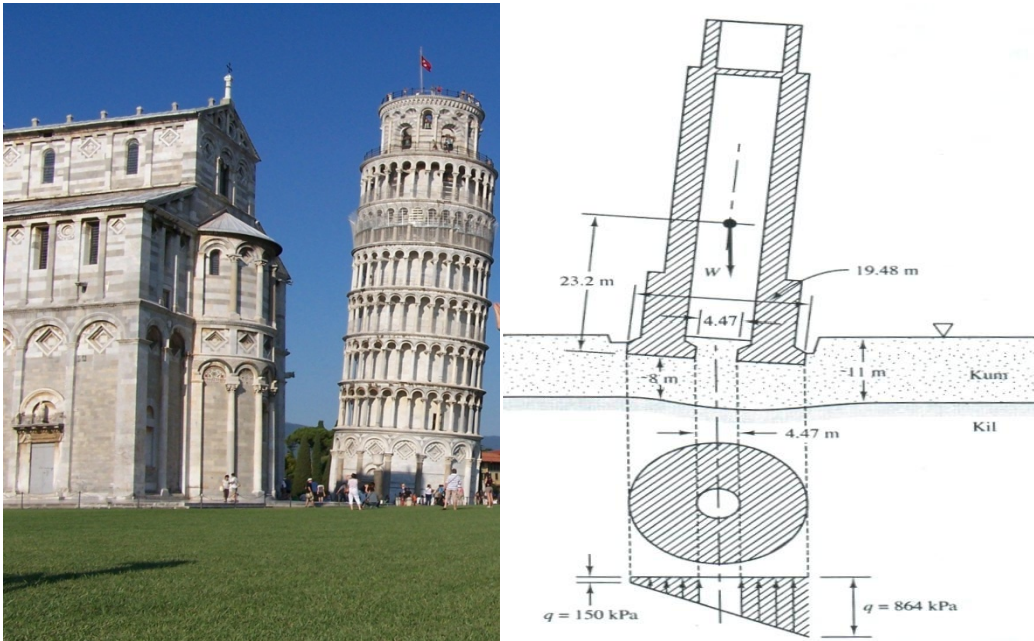
Gölet yüksekliği 215 m, depolama hacmi $0,94 \text{ hm}^3$ (aktif hacim: $0,670 \text{ hm}^3$, ölü hacim: $0,270 \text{ hm}^3$), gövde dolgu tipi homojen kil dolgu olan ve 1984 yılında sulama amaçlı olarak yapılan göletin zemin özelliklerini belirlemek amacıyla, göletin aksı üzerinde YSK-1, YSK-2, YSK-3 ve YSK-4 olmak üzere 4 adet temel sondaj kuyusu açılmıştır (Şekil 1.2). Arazi çalışmaları sırasında zemin sondaj kuyularından 53 adet örselenmemiş zemin numunesi alınmıştır ve bunlar üzerinde laboratuvar deneyleri (zemin sınıflandırılması, kıvam limit deneyleri, bağıl yoğunluk (G_s), doğal birim hacim ağırlık (γ_n), boşluk oranı (e), su içeriği (W_n), gözeneklilik (n), doygunluk yüzdesi (s) ve şişme/ oturma deneyleri yapılmıştır.



Şekil 1.2. Gölet gövdesi üzerinde açılan YSK-1, YSK-2, YSK-3 ve YSK-4 kuyularının yerlerinin gösterimi ve gölet temeli jeolojik kesiti

2. KURAMSAL TEMELLER

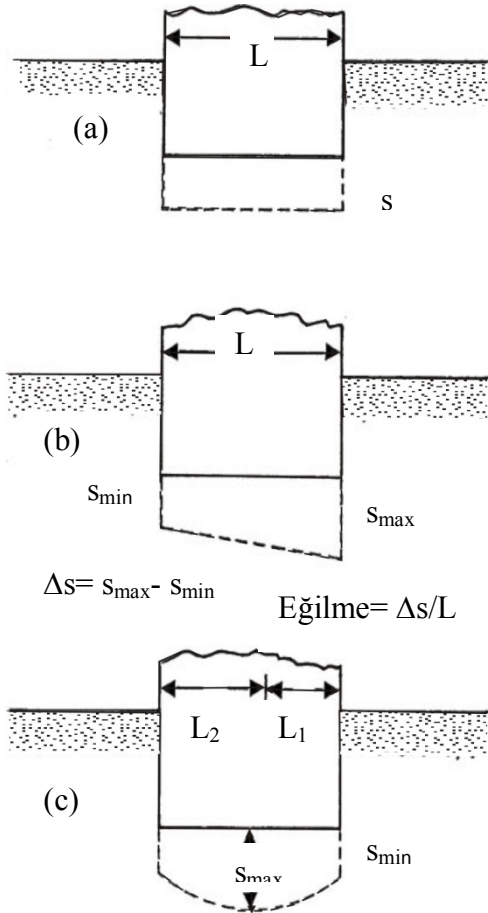
Zemin özellikleri, temel cinsi ve yükleme biçimine bağlı olarak gelişen oturmalar, ani oturma ve konsolidasyon oturması olmak üzere iki ana başlık altında incelenmektedir. Taneli zeminler, genellikle hızlı drene olduklarından konsolidasyon inşaat esnasında gerçekleşmektedir. İnce taneli (kil ve silt gibi) zeminlerde oturmalar zamana bağlıdır ve birincil (primer) konsolidasyon ve ikincil (sekonder) konsolidasyon olmak üzere iki ayrı şekilde meydana gelir. Birincil konsolidasyon, inorganik silt ve killerde görülmektedir. İkincil sıkışma ise, yüksek plastisiteli kil, organik ve turba zeminlerde toplam oturmanın önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Tosun, 1993). Bu tür oturma türleri toplam oturma, farklı oturma ve eğilme olarak ifade edilen temel hareketlerine neden olur. Farklı oturma, yapı yüklerinin zemine aktarılması sonucu yapılara zarar veren ve zemin ya da zemin türlerinin farklı deformasyon özellikleri göstermesi nedeniyle oluşan oturmadır. Farklı oturma problemine bilinen en iyi örnek olarak Pisa Kulesi gösterilebilir (Şekil 2.1). Kulenin kuzey tarafının yaklaşık 1.2 m, güney tarafının ise 3.0 m oturması sonucu 1.8 m civarında farklı oturma meydana gelmiştir.



Şekil 2.1. Pisa Kulesinde görülen farklı oturma

2.1. Oturma Türleri

Temel vasıtasıyla zemine aktarılan yapı yükleri altında zemin yüzeyinde (temel tabanında) meydana gelen düşey deformasyonları ifade eden oturma kavramı oldukça önemlidir. Çünkü temeller vasıtası ile yüklenen zemin ortamda az veya çok bir oturma (yerleşme, sıkışma, çökme vb.) meydana gelir. Oturmalar, yalnız yapının neden olduğu yüklerle değil, yeraltı suyundaki değişimler, yapı çevresindeki kazılar, temel altının zamanla aşınması, deprem etkisi (sıvılaşma vb.) nedenleriyle de oluşabilir. Yapı yükleri nedeni ile oturmalar, üniform oturma, eğilme ve üniform olmayan oturma olmak üzere üç şekilde meydana gelir (Şekil 2.2) ve bunlar üç tür temel hareketine yol açar.



Şekil 2.2. Oturma türleri a) üniform oturma b) eğilme c) üniform olmayan oturma (Lambe ve Whitman, 1979)

1. Üniform sıkışma ile yapıya zarar vermeyen ancak belirli bir değere ulaştığında (15-30 cm) yapıyla bağlantılı elemanlara (su ve gaz boruları gibi) zarar veren toplam oturma (s) (Şekil 2.2. a).

2. Yapının bir yanı ile diğer yanı arasında eğilmeye neden olan ve izin edilebilir sınırları aştığında yapıya zarar veren farklı oturmalar (Δs) (Şekil 2.2. b,c).

3. Yapıya zarar veren ve iki komşu nokta (kolon eksenleri) arasında oluşan farklı oturma miktarının yatay uzaklığa oranını ifade eden eğilme kavramıdır (Δs/L) (Şekil 2.2. b).

Dış yükler altında zemin tabakasında üç tür oturma gözlemlenir (Genç 2008). Bunlar;

1. Ani (drenajsız-elastik) oturma (s_i): Temelin altındaki zemine yük uygulandıktan sonra en çok bir hafta içinde beliren yanal ötelenmenin bir sonucudur. Bu tür oturma iri taneli zeminlerde ve doyumluk derecesi %90'dan düşük silt ve killerde görülmektedir.

2. Birincil konsolidasyon oturması (s_c): Zemine uygulanan yük sonucunda fazla boşluk suyu basıncının zamana bağlı olarak sönmelenmesi olarak tanımlanır. Bu oturma türü, doyum ya da yüksek doyumluk derecesindeki ince taneli zeminlerde görülmektedir. Konsolidasyon oturması aylardan başlayarak yıllarca sürebilir, genel olarak 3 ile 10 yıl arasında gerçekleşmektedir.

3. İkincil konsolidasyon oturması (s_s): Boşluk suyu basıncı sönmelenip birincil konsolidasyon oturması tamamlandıktan sonra sabit yük altında oluşan oturmayı ifade eder. Yüksek plastisiteli killerde, turba ve organik zeminlerde görülmektedir.

2.1.1. Ani oturma

Ani oturmalar, zamana bağlı olmaksızın, yükleme sonrasında zeminin su içeriğinde bir değişikliğin olmadığı oturmadır. Bu oturmalar, normal konsolide killerde toplam oturmanın küçük bir kısmını oluşturduğundan genellikle dikkate alınmaz. Aşırı konsolide kil ve kum zeminlerde ise 'elastisite teorisi' kullanılarak hesaplanır. Burada;

$$\Delta H = qL / E \quad (\text{Eşitlik 2.1})$$

eşitliğinden yararlanılır.

ΔH : Oturma (m)

q: Net gerilme artışı (kN/m²)

L: Temel uzunluğu (m)

E: Elastisite modülü

Rijit temelerde oturma üniform olurken, esnek temelerde köşe ile merkez altında oturmalar farklı olmaktadır. Harry (1966), esnek temelerde gömme derinliğini sıfır ($D_f=0$) ve $H=\infty$ için oturmaya temel köşesinde;

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times \frac{\alpha}{2} \quad (\text{Eşitlik 2.2})$$

merkezinde;

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times \alpha \quad (\text{Eşitlik 2.3})$$

bağıntıları ile tanımlamıştır. Burada;

q_o : Net gerilme artışı (kN/m²)

α : Etki sayısı

μ : Poisson Oranı

B: Temel genişliği (m)

E: Elastisite modülü

Etki sayısı (α);

$$\alpha = \frac{1}{\pi} \left[\ln \left(\frac{\left(\sqrt{1+m_1^2} \right) + m_1}{\left(\sqrt{1+m_1^2} \right) - m_1} \right) + m_1 \times \ln \left(\frac{\left(\sqrt{1+m_1^2} \right) + 1}{\left(\sqrt{1+m_1^2} \right) - 1} \right) \right] \quad (\text{Eşitlik 2.4})$$

bağıntısından bulunur. Burada;

L= Temel uzunluğu

$m_1 = L/B$

Esnek temelerde ortalama oturma;

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times \alpha_{av} \quad (\text{Eşitlik 2.5})$$

Rijit temelde oturma;

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times \alpha_r \quad (\text{Eşitlik 2.6})$$

bağıntıları ile bulunur.

Daire temel için ise merkezde $\alpha = 1$, ortalama $\alpha_{av} = 0.85$, rijit temel için $\alpha_r = 0.88$ değerleri kullanılır.

Eğer $D_f = 0$ ve $H < \infty$ ise esnek temelde oturmanın, köşede

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times \frac{[(1 - \mu^2)F_1 + (1 - \mu - 2\mu^2)F_2]}{2} \quad (\text{Eşitlik 2.7})$$

Merkezde;

$$s_i = \frac{B \times q_o}{E} \times (1 - \mu^2) \times [(1 - \mu^2)F_1 + (1 - \mu - 2\mu^2)F_2] \quad (\text{Eşitlik 2.8})$$

eşitliklerinden bulunur.

2.1.1.1. İnce taneli zeminlerin ani oturması

İnce taneli zeminlerde ani oturma, genellikle elastik sıkışmadan kaynaklanmaktadır. Ani oturmalar, zeminin yüklenmesi ile beraber hızlı bir şekilde meydana gelir ve şu bağıntıdan hesaplanır:

$$s_i = q \times B \times \frac{(1 - \mu^2)}{E} I_p \quad (\text{Eşitlik 2.9})$$

q: Net gerilme artışı (kN/m²)

B: Temel genişliği (m)

E: Zeminin elastisite modülü (drenajsız)

μ : Zeminin Poisson Oranı (0.3-0.5)

I_p : Yüklenen alanın şekline bağlı olarak değişen rijitlik faktörü (Boyutsuz) (Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2)

Çizelge 2.1. Elastik bir ortamda bulunan (sonsuz derinlikte) yüklü alanlar için şekil ve rijitlik değerleri (Perloff, 1975)

Şekil	Rijidite	Uzunluk/Genişlik	Merkez	Köşe	Uzun kenarın köşesi/ortası	Ortalama
Daire	Esnek		1.00		0.64	0.85
Daire	Rijit		0.79		0.79	0.79
Kare	Esnek		1.12	0.56	0.76	0.95
Kare	Rijit		0.82	0.82	0.82	0.82
Dikdörtgen	Esnek	L/B= 2	1.53	0.76	1.12	1.30
Dikdörtgen	Esnek	L/B= 5	2.10	1.05	1.68	1.82
Dikdörtgen	Esnek	L/B= 10	2.56	1.28	2.10	2.24
Dikdörtgen	Rijit	L/B= 2	1.12	1.12	1.12	1.12
Dikdörtgen	Rijit	L/B= 5	1.60	1.60	1.60	1.60
Dikdörtgen	Rijit	L/B= 10	2.00	2.00	2.00	2.00

Çizelge 2.2. Rijit bir taban üzerindeki (sınırlı bir derinlikte) yüklü alanlar için şekil ve rijitlik değerleri (Harry, 1966)

H/B	Rijit dairesel alanın merkezi (çap= B)	Esnek dikdörtgen alanın köşesi				
		L/B= 1	L/B= 2	L/B= 3	L/B= 5	L/B= ∞
μ= 0						
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.14	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04
1.0	0.35	0.15	0.12	0.10	0.10	0.10
1.5	0.48	0.23	0.22	0.18	0.18	0.18
2.0	0.54	0.29	0.29	0.27	0.26	0.26
3.0	0.62	0.36	0.40	0.39	0.38	0.37
5.0	0.69	0.44	0.52	0.55	0.54	0.52
10.0	0.74	0.48	0.64	0.76	0.77	0.73
μ= 0.33						
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.5	0.20	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08
1.0	0.40	0.19	0.18	0.16	0.16	0.16
1.5	0.51	0.27	0.28	0.25	0.25	0.25
2.0	0.57	0.32	0.34	0.34	0.34	0.34
3.0	0.64	0.38	0.44	0.46	0.45	0.45
5.0	0.70	0.46	0.56	0.60	0.61	0.61
10.0	0.74	0.49	0.66	0.80	0.82	0.81

Buradaki bağıntıda kullanılan Poisson Oranı 0.3-0.5 arasında değişir. Bu parametrelerin en büyük değeri yükleme esnasında hacim değişikliğinin meydana gelmediği doymuş zeminlerde kullanılır. Şekil ve rijite faktörü değerleri Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’den bulunur. Drenajsız elastisite modülü, laboratuvar ya da arazi deneyleri sonuçlarından elde edilir. Eğer gerçek değerleri deneysel olarak belirlemek mümkün değilse, arazi ölçümlerinden elde edilen ampirik ilişki drenajsız elastisite modülünü belirlemek için kullanılabilir (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Aşırı konsolidasyon oranı ve plastisite indeksine bağlı elastisite modülü değeri (Duncan ve Buchignani, 1976)

OCR	E/c		
	PI<30	30<PI<50	PI>50
<3	600	300	125
3-5	400	200	75
>3	150	75	50

2.1.1.2. İri taneli zeminlerin ani oturması

İri taneli zeminlerde ani oturma, temelin derinliğine ve genişliğine, su tablası seviyesine ve temelin (sömel) etkilediği derinlik içindeki düşey yatak katsayısı (K_{vi}) gibi faktörlere bağlıdır (Tosun, 1993). İri taneli zeminler için K_{vi} değerleri, zemin suyunun temel tabanının en az 1.5B kadar derinde olduğunda geçerlidir. Eğer zemin suyu temel tabanında ise, oturma hesabında kullanılan K_{vi} değerleri 2 ile bölünmek suretiyle hesaplanır.

Zemin deformasyon özelliklerinin derinliklere bağlı olarak önemli oranda değiştiği veya temel altındaki taneli zeminin kalınlığının, yüklü alanın genişliğinin küçük bir kısmını oluşturduğu temellerde oturmalar aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır:

$$S_i = \frac{4qB^2}{K_{vi}(B+0.3)^2} \quad (\text{Eşitlik 2.10})$$

Yüzeysel temellerde (temel derinliği, temelin genişliğinden küçük olan temel) temel genişliği 6 metreden küçük veya eşit ise eşitlik 2.10 kullanılır. Yüzeysel temellerde eğer temel genişliği 12 metreden büyük veya eşit ise;

$$s_i = \frac{2qB^2}{K_{vi}(B+0.3)^2} \quad (\text{Eşitlik 2.11})$$

bağıntısı kullanılır. Burada;

s_i = Sömelin ani oturması (m)

q : Sömelin birim yükü (kN/m^2)

B : Sömelin genişliği (m)

K_{vi} : Düşey yatak katsayısı modülü (kN/m^3)

2.1.2. Konsolidasyon oturması

Kohezyonlu zeminlerde, toplam oturmanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Suya doymun olan kil tabakasına aktarılan düşey gerilmeler sonucunda zeminin boşluk suyu basıncı artar. Zeminin düşük geçirimli olmasından dolayı boşluk suyunun bir kısmı uzun sürede ortamdan dışarı çıkar. Böylece sabit gerilme altında uzun sürede meydana gelen oturmaya konsolidasyon oturması denir (Akbulut, 2005).

Zeminlerin konsolidasyon karakteristiklerinin belirlenmesinde üç farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler ile ilgili sınıflandırmalar Çizelge 2.4'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Zeminlerin konsolidasyon karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılan değişik yöntemler (Tosun,1993)

		Standart Ödometre	Rowe Hücresi	Üç Eksenli Cihaz
Numune	Yükseklik	20 mm	25, 50 ve 90 mm	200 mm
Numune	Çap	76 mm	76, 152 ve 254 mm	100 mm
Drenaj	Kontrol	Hayır	Evet	Evet
Drenaj	Yön	Düşey (İki yönlü)	Düşey (tek veya iki yönlü), ışınsal	Düşey (tek veya iki yönlü), ışınsal
Boşluk suyu basıncını ölçme kabiliyeti		Hayır	Evet	Evet
Uygulama		Zeminde sıkı bir yapı belirgin ise c_v 'nin laboratuvar değeri oldukça düşük olabilir. Oturma büyüklüğünün birinci derecede önemli olduğu rutin oturma analizleri için uygundur. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ve arazi permeabilite değerinden, konsolidasyon katsayısının belirlenmesinde gerekli olabilir.	Diğer iki yöntemin avantajlarına sahiptir. Geniş hücreler çakıl ihtiva eden zeminler için uygundur. Oturmanın birinci derece önemli olduğu detaylı oturma çalışmaları için kullanılır.	Boşluk suyu basıncının, uygulanan gerilmeye eşit olmadığı doygun olmayan zeminler ile hacim değişikliklerinin küçük olduğu katı zeminlerde konsolidasyon katsayısının belirlenmesi için faydalıdır.

Konsolidasyon oturması birincil (primer) ve ikincil (sekonder) oturma olmak üzere ikiye ayrılır.

2.1.2.1. Birincil konsolidasyon oturması (s_c)

Kil içindeki boşlukların sıkışması sonucunda birincil konsolidasyon oturması meydana gelir. Konsolidasyon oturması aylardan başlayarak yıllarca sürebilir, genel olarak 3 ile 10 yıl arasında gerçekleşmektedir. Yükleme sonrasında önce boşluklarda bulunan havanın sıkışması ve sonra boşluklarda bulunan suyun oluşturduğu basınç ile oturmalar meydana gelir. Bu oturmalar, deney verilerine bağlı olarak sınırlandırılmış bir zemin tabakası için aşağıdaki bağıntıdan hesaplanır.

$$s = H_t \frac{C_c}{1+e_o} \log \frac{P_o + \Delta P}{P_o} \quad (\text{Eşitlik 2.10})$$

s: Toplam oturma (m)

H_t : Tabakanın ilk kalınlığı (m)

C_c : Sıkışma indisi

e_o : Başlangıçtaki boşluk oranı

P_o : Başlangıçtaki ortalama efektif gerilme (kN/m^2)

ΔP : Sıkışabilir tabakaya etkiyen basınçtaki ortalama değişiklik (kN/m^2)

Bağıntıdaki başlangıçtaki boşluk oranı ve sıkışma indisi değerleri, laboratuvar deneylerinden elde edilir. Doygun zeminlerde e_o değeri, su muhtevası ile ilgilidir. Sıkışma indisi, laboratuvar yöntemleri kullanılarak konsolidasyon deneyinden elde edilir.

Konsolidasyon deneyi sonucu, boşluk oranı-gerilme (log) grafiğindeki bakir eğrinin eğimi, zeminin sıkışabilirliğini (C_c) belirtir. Eğer C_c eğrisi dik ise zemin yüksek sıkışabilir, düşük eğimli ise az sıkışabilir olarak ifade edilir. Kısacası zeminde oturma, sıkışma indisine doğrudan bağlıdır.

Konsolidasyon oturma hesabı iki farklı yöntemle bulunur. Birinci yöntem; fazla kalınlık göstermeyen kil tabakasının sıkışmasının bulunmasında kullanılır ve tüm tabaka kalınlığı dikkate alınır. İkinci yöntemde; kil tabakası kalınlığı artıkça gerilmenin yaklaşık hiperbolik biçimde azalması ve sıkışabilirlik katsayı değerlerinin değişmesi nedeni ile kili 'n'sayıda tabakaya bölerek her tabaka için ayrı ayrı oturma hesabı yapılır ve bunların toplamı son oturma miktarını belirler.

a) Konsolidasyon oturmasının hesabında birinci yöntemin uygulanması

Yük uygulanmadan önce kil tabakasında toplam efektif gerilme (σ'_o) hesaplanır. Uygulanan yük nedeni ile kil tabakası üstünde ($\Delta\sigma_t$), ortasında ($\Delta\sigma_m$) ve altında ($\Delta\sigma_b$) düşey gerilme artışları bulunur (Şekil 2.3). Kil tabakasındaki ortalama gerilme artışı ($\Delta\sigma_{av}$);

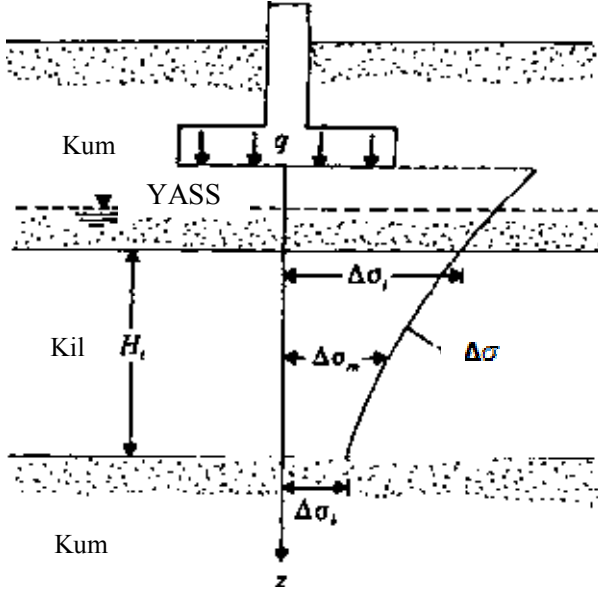
$$\Delta\sigma_{av} = 1/6 (\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b) \quad (\text{Eşitlik 2.11})$$

eşitliğinden hesaplanır.

$\Delta e = (C_c \log(\Delta \sigma + \sigma_o)) / \sigma_o$ eşitliğinde σ_o ve $\Delta \sigma_{av}$ yerine yazılarak Δe hesaplanır.

$$s = (\Delta e / (1 + e_o)) H \quad (\text{Eşitlik 2.12})$$

bağıntısında Δe yerine yazılarak konsolidasyon oturması hesaplanır.



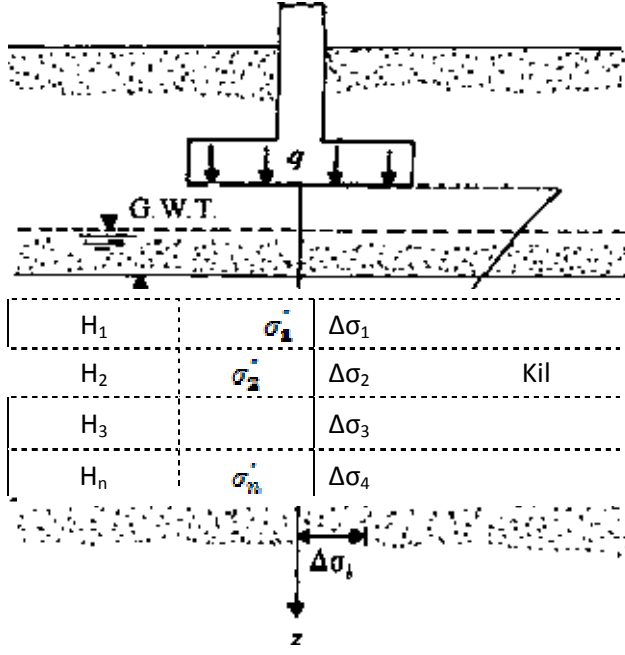
Şekil 2.3. Ortalama gerilme artışından oturmanın bulunması (Birinci yöntem) (Das,1983)

b) Konsolidasyon oturmasının hesabında ikinci yöntemin uygulanması

Şekil 2.4'te belirtildiği gibi H kalınlığındaki kil tabakasının 'n' sayıda tabakaya bölünmesi ve her tabaka için ayrı ayrı oturma hesabının yapılması daha iyi ve doğruya yakın sonuçlar sağlar.

Her tabaka ortasında efektif gerilme (σ_o) belirlenir. Her tabaka ortasında uygulanan yük nedeni ile oluşan gerilme artışı ($\Delta \sigma$) bulunur.

Her tabaka için boşluk oranı azalması bulunur ve eşitlik 2.12'den konsolidasyon oturması hesaplanır. Kısacası tüm kil tabakası kalınlığı için oturma, hesaplanan n sayıdaki tabaka oturmalarının toplamıdır.



Şekil 2.4. Tabakalara bölünerek oturmanın bulunması (İkinci Yöntem) (Das,1983)

A) Skempton-Bjerrum (1957) düzeltilmesi

Sonsuz boyutlu alanların yüklenmesi durumunda, tek eksenli konsolidasyon deneyinde, zemin numunelerinde yanal deformasyona izin verilmediği öngörülerek asal ve yanal gerilmelerin oranı (K_0) değişmez. Bu durumda boşluk suyu basıncı, gerilme artışına eşdeğerdir ($\Delta u = \Delta \sigma$).

Ayrıca, belirli bir noktada belirli bir yükleme sonucunda yanal deformasyona neden olan yanal ve asal gerilmeler K_0 değerine eşit kalmaz (Şekil 2.5). Uygulanan yük nedeniyle boşluk suyu basıncındaki artış;

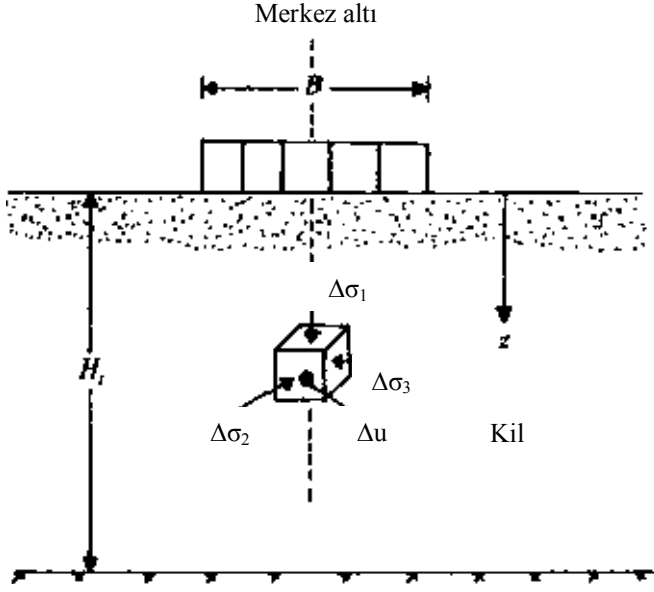
$$\Delta u = \Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad (\text{Eşitlik 2.13})$$

bağıntısından bulunur.

Daire şeklinde bir temelin merkezi altında oluşan boşluk suyu basıncı için üç eksenli deneyle benzerliğinden ilişki kurduğumuzda;

$$\Delta u = B(\Delta \sigma_3 + A(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)) \quad (\text{Eşitlik 2.14})$$

bağıntısı yazılabilir. A ve B boşluk suyu basıncı parametreleri olarak ifade edilirken doymun zeminlerde $B=1$ 'dir.



Şekil 2.5. Daire şeklindeki temelin merkezi altında oluşan boşluk suyu basıncının gelişimi (Das, 1983)

Skempton ve Bjerrum (1957) boşluk suyu basıncı artışı sonucu oluşan oturmayı;

$$dS_c = m_u \times \Delta u \times d_z = m_u \Delta \sigma_1 \left[A + \frac{\Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1} (1 - A) \right] d_z \quad (\text{Eşitlik 2.15})$$

bağıntısı ile ifade etmişlerdir.

m_u : Hacimsel sıkışma katsayısı (m^2/kN)

Δu : Boşluk suyu basıncı

d_z : Zemin kalınlığı (m)

Toplam konsolidasyon oturması ise;

$$S_c = \int_0^{H_t} m_u \Delta \sigma_1 \left[A + \frac{\Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1} (1 - A) \right] d_z \quad (\text{Eşitlik 2.16})$$

bağıntısı ile ifade etmişlerdir.

Genel olarak tek eksenli konsolidasyon (K_o);

$$S_{c(oed)} = \int_0^{H_t} \frac{\Delta e}{1+e_o} d_z = \int_0^{H_t} \frac{\Delta e}{\Delta \sigma_1} \times \frac{1}{1+e_o} \Delta \sigma_1 d_z = m_u \Delta \sigma_1 d_z \quad (\text{Eşitlik 2.17})$$

ifade edilir.

Oturma oranı;

$$\mu = \frac{S_c}{S_{c(oed)}} \quad (\text{Eşitlik 2.18})$$

bağıntısı ile hesaplanır.

S_c ve $S_{c(oed)}$ değerleri yerine bırakılıp sadeleştirilirse;

$$\mu = \frac{S_c}{S_{c(oed)}} = \frac{\int_0^{H_t} m_u \Delta \sigma_1 \left[A + \frac{\Delta \sigma_3}{\Delta \sigma_1} (1 - A) \right] d_z}{\int_0^{H_t} m_u \Delta \sigma_1 d_z} = A + (1 - A) \frac{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_3 d_z}{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_1 d_z}$$

$$\mu = A + (1 - A)M_1$$

elde edilir.

$$M_1 = \frac{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_3 d_z}{\int_0^{H_t} \Delta \sigma_1 d_z} \quad (\text{Eşitlik 2.19})$$

ile tanımlanır.

Oturma katsayısı (μ), yüklenen alanın şekline ve boyutuna, kil tabakasının kalınlığına ve boşluk suyu basıncı parametresine (A) bağlıdır.

B) Normal konsolide kilde oturma

Kil tabakasında konsolidasyon oturması;

$$S_c = C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{\Delta \sigma + \sigma'}{\sigma'} \quad (\text{Eşitlik 2.20})$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada;

C_c : Sıkışma indisi

σ' : Efektif gerilme (kN/m^2)

H : Oturabilir tabaka kalınlığı (m)

e_0 : Boşluk oranı

$\Delta \sigma$: Yüklemeden kaynaklanan gerilme artışı (kN/m^2).

Eğer oturma, hacimsel sıkışma katsayısına (m_v) bağlı olarak belirlenmek istenirse;

$$s_c = m_v \Delta \sigma H \quad (\text{Eşitlik 2.21})$$

eşitliğinden yararlanır.

C) Aşırı konsolide kilde oturma

Önceden yüklenmiş olan aşırı konsolide killerin sıkışması, efektif gerilme ile gerilme artışının toplamının ön konsolidasyon basıncından küçük veya büyük olmasına bağlıdır. Buna bağlı olarak aşırı konsolide killerde oturma miktarının belirlenmesinde iki durum söz konusudur:

Durum 1: $(\sigma' + \Delta \sigma) < \sigma'_p$

Efektif gerilme (σ') ile gerilme artışının ($\Delta \sigma$) toplamı, ön konsolidasyon basıncından (σ'_p) küçük ise sıkışma küçük olacaktır. Bu durumda oturma;

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{\Delta \sigma + \sigma'}{\sigma'} \quad (\text{Eşitlik 2.22})$$

bağıntısından bulunur.

Durum 2 $(\sigma' + \Delta \sigma) > \sigma'_p$

Efektif gerilme (σ') ile gerilme artışının ($\Delta \sigma$) toplamı, ön konsolidasyon basıncından (σ'_p) büyük ise;

$$S_c = C_r \frac{H}{1+e_0} \log \frac{\Delta \sigma + \sigma'}{\sigma'} + C_c \frac{H}{1+e_0} \log \frac{\Delta \sigma + \sigma'}{\sigma'_p} \quad (\text{Eşitlik 2.23})$$

bağıntısından hesaplanır. Burada;

C_c : Sıkışma indisi

σ' : Efektif gerilme (kN/m²)

H: Oturabilir tabaka kalınlığı (m)

e_0 : Boşluk oranı

$\Delta \sigma$: Yüklemeden kaynaklanan gerilme artışı (kN/m²)

σ'_p : Ön konsolidasyon basıncı (kN/m²)

C_r : Tekrar sıkışma indisi

D) Kumda konsolidasyon oturması

Konsolidasyon deneyi tüm zeminlere uygulanabilir. Fakat öncelikle kil ve siltlere uygulanmaktadır. Kumdan örselenmeden örnek alımı ve deney yapılması oldukça zordur. Bununla birlikte kumlar, kil ve siltlere oranla daha az sıkışabilir malzemelerdir. Kumda konsolidasyon oturmasının hesaplanması gereken durumlarda Burmister (1962) tarafından önerilen sıkışma oranı (C_c) ve rölatif sıkılık (D_r) arasındaki ilişkiden yararlanılabilir (Çizelge 2.5).

Çizelge 2.5. Doygun kumların rölatif sıkılıklarına ilişkin konsolidasyon özellikleri (Burmister, 1962)

Zemin türü	$C_c/(1+e_0)$					
	$D_r=0\%$	$D_r=20\%$	$D_r=40\%$	$D_r=60\%$	$D_r=80\%$	$D_r=100\%$
Orta-iri kum (SW)	-	-	0.005	-	-	-
Orta-iri kum (SW/SP)	0.010	0.008	0.006	0.005	0.003	0.002
İnce-iri kum (SW)	0.011	0.009	0.007	0.005	0.003	0.002
İnce-orta kum (SW/SP)	0.013	0.010	0.008	0.006	0.004	0.003
İnce kum (SP)	0.015	0.013	0.010	0.008	0.005	0.003
Çok az ince-iri siltli ince kum(SP/SM)	-	-	0.011	-	-	-
Az ince-iri siltli ince kum(SM)	0.017	0.014	0.012	0.009	0.006	0.003
İnce-iri siltli ince kum(SM)	-	-	0.014	-	-	-

Çizelge 2.5 incelendiğinde kumların sıkışma oranı, konsolidasyon özelliklerine göre baz alındığında düşük-çok düşük sıkışabilir özellikte olduğuna ulaşılmaktadır. Sıkı-çok sıkı aşırı konsolide kumlarda bu değerlerin üçte birine kadar azaldığı (0.002-0.003) görülmektedir. Yani neredeyse sıkışmaz özelliğe karşı geldiği anlaşılmaktadır. Bu yüzden kumlarda konsolidasyon oturması sıfır olarak kabul edilmektedir. Ayrıca taneli zeminlerde geçirgenlik yüksek olduğundan konsolidasyon süreci çok hızlıdır ve konsolidasyon yük uygulamasından sonra tamamlanır.

E) Zamana bağılı oturma

Killi ve siltli zeminlerde boşluklardaki suyun statik basınç altında dışarı çıkmasına bağlı olarak gelişen konsolidasyon (oturmanın) zamana bağlı artışı, boluk suyu akım hızına ($v=k.i$) bağlıdır (v ;suyun hızı, k ;permeabilite katsayısı, i ;hidrolik eğim). Bu nedenle kohezyonlu zeminlerde nihai oturma değeri yanında oturma-zaman bağıntısının da bilinmesi gerekmektedir. Bu bağıntı;

$$U=\Delta H_t/\Delta H \quad (\text{Eşitlik 2.24})$$

eşitliği ile ifade edilmektedir.

U: Konsolidasyon yüzdesi (boyutsuz)

ΔH_t : t zamanındaki konsolidasyon oturması (m)

$\Delta H(s_c)$: Nihai konsolidasyon oturması(m)

2.1.2.2. İkincil konsolidasyon oturması

Bu tür oturmalar, tanelerin sıkışmasından kaynaklanmaktadır. Bu oturmalar, efektif gerilmedeki değişikliklerden oluşmaktadır. Efektif gerilme, yükleme sonucu gelişen boşluk suyunda değişiklik olmayana kadar devam eder ve birincil konsolidasyon tamamlandığı zaman dengeye gelir. Çok yüksek plastisiteli killerde, turba ve organik zeminler, sekonder oturmanın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. İkincil konsolidasyon oturması hesabında ikincil sıkışma indisinden yararlanılır (Çizelge 2.6).

Çizelge 2.6. Zeminlerin sıkışabilirliğe göre sınıflandırılması (Coduto, 1999)

$C_c/(1 + e_0)$ yada $C_r/(1 + e_0)$	Sınıflama
0.00-0.05	Çok düşük sıkışabilir
0.05-0.10	Düşük sıkışabilir
0.10-0.20	Orta sıkışabilir
0.20-0.35	Yüksek sıkışabilir
>0.35	Çok yüksek sıkışabilir

İkincil konsolidasyon oturması hesabı;

$$s_s = \frac{C_\alpha}{1+e_p} H \log \frac{t}{t_p} \quad (\text{Eşitlik 2.25})$$

C_α : İkincil sıkışma indisi

H : Sıkışabilir tabaka kalınlığı (m)

e_p : Birincil konsolidasyonun sona erdiği zamandaki boşluk oranı (Büyük ölçekte oturmalar olmadığı zaman pratik olarak $e_p = e_o$)

t : İkincil konsolidasyon için geçen zaman (yıl)

t_p : Birincil konsolidasyonun sona erdiği zaman (yıl)

2.3. Yapıların Müsaade Edilebilir Oturması

Yapıların tolere edilebileceği en büyük hareket yapının müsaade edilebilir oturması olarak tanımlanır. Oturmaların yapılara zarar vermemesi için izin verilebilir sınırlar içinde kalması gerekir. İzin verilebilir sınırlar üzerindeki oturmalar yapıda göçmeye neden olabilir. Bu nedenle zeminin arazide ve laboratuarda belirlenen özelliklerinden ve yapı yüklerinden yararlanılarak iki ayrı oturma kriteri hesaplanır. Bunlar farklı oturma ve toplam oturmadır.

2.3.1. Farklı oturma

Farklı oturma, en düşük ve en yüksek oturma arasındaki fark olarak tanımlanır. Bu nedenle bir yapının izin verilebilir sınırlar içinde oturması dikkate alındığında, en büyük toplam oturmanın ($s_{\max}$) ve bitişik temeller arasındaki en büyük farklı oturmanın ($\Delta_{\max}$) bilinmesi gerekir. Bitişik temeller arasındaki ilişki L ile ifade edilirse, en büyük farklı oturma genellikle bir açısal rotasyon olarak belirtilir ve $\Delta_{\max}/L$ şeklinde ifade edilir.

Teoriye dayandırılan ve uygulamalarda zarar gören yapılarda yapılan gözlemlerden yola çıkarak elde edilen bilgiler, farklı oturma, toplam oturma ve eğilme olarak ifade edilen temel hareketlerin izin verilebilir oturmalar için sınır değerleri Çizelge 2.7’de belirtilmiştir.

Çizelge 2.7. İzin verilebilir oturmalar için sınır değerleri (Lambe ve Whitman, 1979)

(L: Farklı oturan komşu iki kolon ya da farklı oturan iki nokta arasındaki uzaklık)

Hareket Tipi	Sınırlayıcı Faktör	Maksimum Oturma (mm)
Toplam oturma	Drenaj	150-300
Toplam oturma	Geçit yapısı	300-600
Toplam oturma	Yığma	25-50
Toplam oturma	Çerçeve yapılar	50-100
Toplam oturma	Baca, silolar	75-300
Eğilme	Baca ve kulelerin eğilmesi	0.004L
Eğilme	Ağır araçların hareketi	0.01L
Eğilme	Malzeme stoğu	0.01L
Eğilme	Makine işleri	0.003L
Eğilme	Turbo jeneratörleri	0.0002L
Eğilme	Vinç ayakları	0.003L
Eğilme	Taban drenajı	0.01-0.02L
Farklı oturma	Yüksek tuğla duvarlar	0.0005-0.001L
Farklı oturma	Tek katlı duvar, duvar çatlaması	0.001-0.002L
Farklı oturma	Betonarme çerçeveli yapılar	0.0025-0.004L
Farklı oturma	Çelik çerçeveli yapılar	0.002L

2.3.2. Toplam oturma

Ani ve uzun süreli oturmaların bütünü toplam oturma olarak ifade edilmektedir.

Temel tipi ve zemin türüne bağlı olarak toplam oturmaya Çizelge 2.8’te belirtilmiştir (Skempton ve McDonald’s 1956).

Çizelge 2.8. Zemin tipi ve temel tipine göre izin verilebilir maksimum toplam oturma
(Skempton ve McDonald, 1956)

Temel ve zemin koşulları	Toplam oturma (mm)
Killer üzerindeki tekil temel	65
Kumlar üzerindeki tekil temel	40
Killer üzerindeki radye temel	65-100
Kumlar üzerindeki radye temel	40-65

3. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Zemin oturması görülen hasarlı veya hasarsız yapılar üzerinde yapılan gözlemler sonucu, çeşitli araştırmacılar tarafından, değişik yapılar ve koşullar için izin verilebilir oturma değerleri önerilmiştir (Skempton ve Mac Donald, 1956; Polshin ve Tokar, 1957; Bjerrum, 1963; Grant ve ark., 1974 vb.). Var olan yapılardaki hasar veya göçme nedenlerinin başında, oturmalar, özellikle de farklı oturmalar gelmektedir (Uzuner, 1984; 1985).

Skempton ve MacDonald (1956), genel olarak $\beta = 1/300$ ' ün ($\beta =$ Açısal çarpılma açısı) aşılmamasını önermişlerdir. Bu araştırmacılar, izin verilebilir farklı oturmaları; kile oturan tekil ve şerit temel sistemlerde 6.5 cm, radyelerde 6.5-10 cm; kuma oturan tekil ve şerit temel sistemlerinde 4 cm, radyelerde 4-6.5 cm olarak belirtmişlerdir. İzin verilebilir maksimum farklı oturmaları ise, tüm temel sistemleri için, kilde 4 cm, kumda 2.5 cm olarak önermişlerdir. Aynı araştırmacılar, 98 binayı oturma sebebiyle oluşan hasarlar açısından incelemiş ve açısal çarpılma değerlerini kullanarak oturma ile mimari, fonksiyonel ve yapısal olarak sınıflandırdıkları hasar seviyesi arasında bir korelasyon kurmuştur. Bu çalışma sonucunda, açısal çarpılma sınırın $1/150$ 'yi aşması durumunda çatlakların oluşacağını belirtmişlerdir, ancak bu sınır genel olarak $\beta = 1/300$ olarak ifade edilmiştir.

Polshin ve Tokar (1957), açısal çarpılma, oturma oranı ve ortalama oturmayı kriter sayarak, çeşitli zemin türleri üzerinde bulunan 100 binadaki oturma hasarlarını incelemiştir. Bu çalışma sonunda müsaade edilebilir açısal çarpımları; içi dolu çelik veya betonarme çerçeveli yapılar için $1/500$, giydirme cephesinde zarar görme olanağı olmayan yapılar için ise $1/200$ olarak belirtilmiştir.

Burmister (1962), sıkışma oranı ile rölatif sıkılık arasındaki ampirik ilişkiden yararlanılarak kumdaki konsolidasyon oturmasının hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Bjerrum (1963), apartman, ofis ve fabrika binaları gibi çeşitli yapılar için, çeşitli hasar seviyeleri tanımlayarak bir dizi açısal çarpılma limiti belirtmiştir. Hassas makinelerin çalışmasında sorunlar yaşanmaması için izin verilebilir sınır $\beta = 1/750$,

çaprazlı çerçeveler için tehlike sınırı $\beta=1/600$, çatlaklara izin verilmeyecek yapılar için tehlike sınırı $\beta=1/500$, bölmelerde çatlak başlangıcı için sınır $\beta=1/300$, yüksek, rijit yapılarda dönmenin görsel olarak belirgin olma sınırı $\beta=1/250$ ve bölme ve tuğla duvarlarda büyük ölçekli çatlaklar ile genel olarak binalarda yapısal hasar meydana gelmesi için sınır $\beta=1/150$ olarak belirlenmiştir. Aynı araştırmacı, bir dizi açısallı çarpılma limiti tanımlayarak çeşitli yapılar için (apartman, ofis ve fabrika vb.) çeşitli hasar seviyeleri tespit etmiştir. Bunlardan bazıları, çatlaklara müsaade edilmeyecek yapılar için tehlike sınırı $\beta=1/500$, bölmelerde çatlak başlangıcı için sınır $\beta=1/300$ olarak belirlenmiştir.

Broms (1976), yapı temellerinin tasarımında, temel zemininin taşıma gücünün yeterli olmasının yanında meydana gelecek oturmaların izin verilebilir sınırlar içinde kalması gerektiğini belirtmiştir. Taşıma gücünün yeterli olduğu, ancak oturmaların izin verilebilir değerleri aştığı durumda, kazıkların yüzeysel temelin altında “*oturmaya azaltıcı eleman*” olarak kullanıldığını ifade etmiştir.

Leonards (1976), ödometre deneyi ile bulunan aşırı konsolide killerdeki oturma, aşırı konsolidasyon oranı (OCR), temel genişliği ve kil tabakası kalınlığına (D) bağlı α katsayısı ile düzeltilmesi gerektiğini önermiştir.

Day (1990), ahşap çerçeveli bodrumsuz yapılara ait farklı oturma verileri sunmuş ve temel açısallı çarpılmasının $\beta=1/300$ 'ü aşması halinde alçı bölme duvarlarda çatlakların oluşacağını belirtmiştir. Aynı araştırmacı, küçük tek ailelik ahşap yapılarda, açısallı çarpılmanın, $\beta=1/100$ 'ü aşması durumunda kolon ve kirişlerde yapısal hasarın meydana geleceği sonucuna varmıştır.

Crawford ve Campanella 1991, Oakley ve Richard 1990, Kuo-Hsia ve ark. 1994, yerinde yapılan koni ve piezokon penetrasyon testinden türetilen parametreleri kullanarak zeminlerdeki konsolidasyon oturması hesabı için birçok deneme yapmışlar. Crawford ve Campanella (1991), laboratuvar konsolidasyon testleri, yerinde yapılan piezokon testleri ve dilatometre testleri ile hesaplanan oturmalar ile toprak dolgularında ölçülen oturmaları karşılaştırmış ve bu üç yöntem arasında bir uyum olduğunu ifade etmişlerdir ve mevcut oturmaların yaklaşık %60'dan fazla olduğunda hesaplandığını belirtmişlerdir. Oakley ve Richard (1990), CPT verilerini ve mevcut oturmaları kullanarak hesaplanan oturmalar arasında bir karşılaştırma yapmıştır. Kuo-Hsia ve ark. (1994), CPT ile tahmini oturmalar ile dolgu bölgelerindeki oturmaları

karşılaştırmışlardır. Yaptıkları karşılaştırmalar sonucunda, piezokon penetrasyon testinin yumuşak zemindeki toplam oturmayı ve sınırlı modülleri değerlendirmesi bakımından önemli bir kaynak olduğunu bildirmişlerdir.

Kayalar (1991), büyük bir bölümü yüksek sismik risk taşıyan ülkemizde, depremlerin bir yapının test edildiği en olumsuz yükleme koşulları olarak kabul edildiğini belirtmiştir. Ancak Afet Yönetmeliği koşullarının sağlanmasının yanı sıra, sabit yükler altında bile yapıların stabilitesini ve fonksiyonlarını bozan oturma problemlerine sıklıkla rastlandığını ifade etmiştir. Bu tür olumsuzlukların, suya doygun Kuvaterner yaşlı alüvyonlar üzerinde inşa edilmiş yapılarda, konsolidasyona bağlı toplam ve farklı oturma problemleri ile buna bağlı olarak gelişen mimari ve yapısal sorunlar tarzında geliştiğini belirtmiştir.

Ladd 1991, Yin 1999 ve Ladd ve Foott 1977, jeoteknik uygulamalarda, oturma ve duraylılığın, yumuşak zemin dolgularının tasarımı ile ilişkili iki temel faktör olduğunu ifade etmişlerdir.

Horikoshi (1995), üniform yüklü kazıklı radyede oluşacak farklı oturmaları azaltmak için tasarımda dikkat edilecek noktaları şu şekilde ifade etmiştir. Kazıkların radyenin orta kısmında bulunması ve kazık grup alanı radye alanının % 16- 25'ini kaplaması gerektiğini, kazık grubunun (eşdeğer ayak) rijitliği, radyenin rijitliğine eşit olması ve zeminin poisson oranı ve kazık grup alanı oranına bağlı olarak toplam kazık kapasitesi, tasarım yükünün % 40-70'i arasında olması şeklinde ifade etmiştir.

Yılmaz ve Karacan (1997), mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların birçoğunun, zemin hareketlerinden kaynaklandığını belirtmiştir. Özellikle de zeminlerin şişme özelliklerinden kaynaklanan temel hareketleri, üzerlerindeki yapının elemanlarını kırmakta, çatlatmakta ve birçok deformasyonlar oluşturmaktadır. Aynı araştırmacılar zeminlerin, farklı mineralojik, dokusal, kimyasal bileşim ve konsolidasyon özelliklerine bağlı olarak değişik şişme yüzdesi ve şişme basıncı değerleri gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Bu özelliklere bağlı olarak şişme basıncı değerleri birkaç kg/cm^2 den birkaç ton/m^2 ye kadar değişebilir. Eğer bu şişme basıncı, kil üzerine etkiyen inşaat yükünü aşarsa, zeminde oluşacak kabarmanın önemli temel sorunlarına neden olabileceği vurgulanmıştır.

Çamlıbel (2000), temel oturmalarının başlıca nedenlerini; yeraltı suyunun alçalıp yükselmesi, yapıdaki yük sisteminin değişmesi veya yapıda yapılacak değişiklikler, kazıkların deformasyonu, hava ile teması veya çevre faktörleri sonucu çürümesi, yapı çevresinde yapılan kazılar, etrafında bırakılan çukurlar ve dinamik etkiler, titreşimler gibi faktörler olarak belirtmiştir.

Yılmaz (2000), zeminlerde meydana gelecek toplam oturmaların veya farklı oturmaların müsaade edilebilir oturma değerlerini aşmaması gerektiğini belirtmiştir. Bu sınır değerlerin aşılması durumunda yapılarda çatlakların, ağır hasarların, hatta yıkılmaların meydana gelebileceğini ifade etmiştir.

Katzenback ve Moorman (2001), kazıklı radyenin bir elemanı olarak kazık gruplarının yük-oturma davranışının tekil kazığın davranışından farklı olacağını ifade etmiştir.

Namlı (2001), yapı altındaki zeminin yanlara doğru deformasyonunun, vadi sırtı ve tepe gibi yerlerde inşa edilmiş yapıların, kenar kısımlarında merkeze oranla daha fazla oturmaların meydana gelmesine neden olacağını ifade etmiştir. Kenarlardaki zeminin deformasyonun, üst yapının yukarı kısımlarında uzama tarzında zorlanmaya neden olacağından düşey yönlü çekme çatlakların oluşacağını belirtmiştir.

Tomlinson (2001), kazık grubunun oturmasının hesaplanmasında sürtünme kazıkları için önerilen gerilme yayılımının kullanılabileceğini ifade etmiştir. Bu yöntemle göre, kazık grubunun taşıdığı yükün, kazık boyunun $2/3$ 'ü derinliğine kadar 4 düşey/1 yatay eğimle yayıldığı kabul edilmiştir ve bu seviyede oluşacak gerilme yayılımı (eşdeğer radye) dikkate alınarak kazık grubunun oturmasının hesaplanabileceğini belirtmiştir.

Viggiani (2001), kazıklı radye temelin, radyedeki oturma ve/veya farklı oturmaları azaltmak amacıyla kullanıldığını ifade etmiştir. Taşıma gücünün yeterli olduğu ancak oturmaların, özellikle de farklı oturmaların kabul edilebilir değerleri aştığı büyük boyutlu radyelerde ($B > 15m$) kazıklar, farklı oturmaları azaltmak amacıyla, yükleme durumuna uygun bölgelere yerleştirildiğini ve bu kazıkların toplam oturmaya etkisinin çok fazla olmadığını ifade etmiştir. Ancak daha küçük boyutlu radyelerde ($5m < B < 15m$) kazık grup alanı/radye alanı ve kazık boyu/ radye kenar uzunluğu

oranlarına bağılı olarak toplam oturmalarda önemli azalmaların elde edilebileceğini belirtmiştir.

Bartolomei ve Omel'chak (2003), kazıkların bulunduğu zeminin yüksek plastisiteli kil olması halinde aynı yük kademesinde oturma miktarlarının düşük plastisiteli kile göre daha fazla olacağını belirtmişlerdir.

Small ve Liu (2008), kazıklı radye temellerin kullanımının son zamanlarda arttığını belirterek kazıklar ve radyenin birlikte kullanımı ile taşıma kapasitesinin arttığını, oturmanın azaldığını vurgulamıştır. Bu nedenle kazıklı radye temellerin tercih sebebi olduğunu belirtmişlerdir.

Gök ve Toğrol (2009), birçok projede, taşıma gücü problemi nedeniyle değil oturma miktarlarının kabul edilebilir sınır değerlerini aştığı için radye temelin altında oturmayı azaltıcı kazıkların kullanılmasının ekonomik bir gereklilik haline geldiğini ifade etmişlerdir. Bu sistemlerin çok sık kullanılması ve zamanla oturmayı azaltıcı kazıklar olarak ifade edilmesi “kazıklı radye temel” gibi daha geniş bir tanımlamanın oluştuğunu belirtmişlerdir.

Cai ve ark. (2011), zeminlerin konsolidasyon katsayısını(c_v), hem jeoteknik hem de jeo-çevre mühendisliğinde önemli bir parametre olduğunu ifade etmişlerdir. Genel olarak ödometre deneyinin, zaman alıcı olduğunu ve sınırlı sayıdaki örnekler üzerinde yapıldığından bu deneyde sınırlı doğruluk elde edildiğini ifade etmişlerdir. Bu zorlukların zaman-boşluk suyu basıncının sürekli ölçümü için yerinde yapılan pizeokon dağılımı testleri ile aşılabildiğini belirtmişler. Bu araştırmacılara göre, piezokon, zemin etüdü için en yaygın olarak kullanılan en yararlı araştırma aracıdır.

Liu ve ark. (2011), CPTU testini kullanarak deniz killeri üzerindeki dolgu oturmalarını incelemişler. Lianyungang (Çin, Jiangsu bölgesi) deniz killeriindeki 8 dolgu bölgesinden örnekler almışlardır. Piezokon penetrasyon testini (CPTU) kullanarak, zeminlerin konsolidasyon hesabında kullanılan deformasyon modülünü tahmin etmek için farklı yorumlama yöntemlerinden yararlanmışlar ve bu yöntem ile tahmini sınırlı modül (M) değerlerini, laboratuarda konsolidasyon testlerinden belirlenen referans değerler ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca CPTU testini kullanarak, zeminlerdeki konsolidasyon oturması büyüklüğünü tahmin etmek için net koni direncine ($q_t - r_{v0}$) dayalı yeni bir ilişki de geliştirmişlerdir. Bu çalışmalarının sonucu olarak da, seçtikleri 2 bölgede ölçülen oturmalar ile CPTU yöntemi ile önerilen tahmini

konsolidasyon oturmalarının büyüklüğünü karşılaştırarak teyit etmişlerdir. Aynı araştırmacılar, elastik teoriyi, zeminlerin deformasyon modülünü ve konsolidasyon katsayısına dayalı oturmalarının hesaplanmasında yararlanmışlardır. Bu parametrelerin her ikisi de farklı derinlik bölgesinden alınan numuneler üzerinde yapılan tek boyutlu (1-D) konsolidasyon testi gibi laboratuvar testleri ile tahmin edilebildiğini ifade etmişlerdir.

4. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışması sürecinde kullanılan materyaller ile bu materyallerin kullanım yerleri ile izlenen yöntemlerden genel özellikleri ile bahsedilmiştir.

4.1. Materyal

Tez çalışması ile ilgili, konuya ilişkin yerli ve yabancı literatür, araştırma alanına ilişkin kamu kurum ve kuruluşlarıyla üniversitelerin oluşturmuş oldukları veriler, internet aracılığıyla literatür bilgileri ve Van ili, Özalp ilçesinde ve yakın çevresinde yapılmış olan çalışmalara ait yayınlar derlenmiş, incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Çalışmanın prensiplerine uygun şekilde yürütülen laboratuvar ve saha çalışması; Jeolojik harita ve laboratuvar deneyleri çalışmalarından oluşmaktadır.

4.1.1. Jeoloji haritası

Bölgede daha önce yapılmış genel jeoloji ve mühendislik jeolojisi çalışmaları incelenmiş ve daha sonra Van ili, Özalp ilçesi Emek Köyü, K51-C3 paftasının kapsadığı alan içinde bulunan çalışma alanının 1/1000 ölçekli genel jeoloji haritası hazırlanmış ve gölet yerine ait jeolojik kesit çizilmiştir.

4.1.2. Laboratuvar verileri

İlgili kuruluş tarafından göletin zemin özelliklerini belirlemek amacıyla, göletin aksı üzerinde YSK-1, YSK-2, YSK-3 ve YSK-4 olmak üzere 4 adet temel sondaj

kuyusu açılmıştır. Arazi çalışmaları sırasında zemin sondaj kuyularından 53 adet örselenmemiş zemin numunesi alınmıştır ve bunlar üzerinde laboratuvar deneyleri; zemin sınıflandırılması, kıvam limit deneyleri, bağıl yoğunluk (G_s), doğal birim hacim ağırlık (γ_n), boşluk oranı (e), su içeriği (W_n), gözeneklilik (n), doygunluk yüzdesi (s) ve şişme/oturma deneyleri yapılmıştır (Çizelge 4.1).

4.2. Yöntem

Gölet gövdesi üzerine ilave 3m'lik ilave bir dolgunun yapılması planlandığından, mevcut gövde içerisinde oluşabilecek oturma miktarı bu çalışma kapsamında ampirik yöntemlerle hesaplanmıştır. Buna göre gölet gövdesi içerisinde 3m'lik dolgu sonrasında oluşabilecek konsolidasyon oturmaları, gölet gövdesi üzerinde açılan 4 ayrı sondaj (YSK-1, YSK-2, YSK-3, YSK-4) noktası için ayrı ayrı ele alınmıştır. Kil tabakasının kalınlığının artması sonucunda, gerilmenin yaklaşık hiperbolik biçimde azalması ve sıkışabilirlik katsayı değerlerinin değişmesi nedeni ile daha hassas sonuçlar elde etmek için mevcut dolgu yüksekliği 2. Bölüm'de belirtildiği gibi 'n'sayıda tabakaya ayrılmış ve her tabaka için ayrı ayrı oturma hesabı yapılmış ve bunların toplamından son oturma miktarı belirlenmiştir.

Çizelge 4.1. Laboratuvar sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Sıra No	Numune No	Tane Dağılımı			Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı	Bağıl Yoğunluk G_s	Tabii Birim Ağırlık	Su İçeriği	Tabii Boşluk Oranı	Tabii Gözeneklilik	Doygunluk Yüzdesi	Şişme/Oturma	
		0.075	4.75	75	LL	PL	PI			γ_n	W_n	e	n	S	Basıncı	Yüzdesi
		mm	mm	mm	%	%	%			kN/m ³	%	%	%	%	kPa	%
		Geçen %	geçen %	geçen %												
1	YSK-1 (5.00-5.70 m)	57.8	93.8	100.0	Numune yetersizliğinden				2.71	19.91	20.1	60.3	37.6	90.1	18.5	1.09
2	YSK-1 (6.00-6.70 m)	66.4	97.3	100.0	sınıflandırma belirlenememiştir.				2.70	20.40	20.4	56.3	36.0	97.8	1.7	0.53
3	YSK-1 (7.00-7.70 m)	61.2	94.9	100.0	Numune yetersizliğinden				2.73	20.70	19.9	55.1	35.5	98.6	6.0	0.69
4	YSK-1 (8.00-8.70 m)	61.2	96.4	100.0	sınıflandırma belirlenememiştir.				2.71	20.10	22.0	61.4	38.0	97.2	6.9	0.79
5	YSK-1 (9.00-9.70 m)	66.5	97.5	100.0	Numune yetersizliğinden				2.75	19.91	22.4	65.8	39.7	93.5	5.8	0.78
6	YSK-1 (10.00-10.70 m)	67.1	95.5	100.0	sınıflandırma belirlenememiştir.				2.74	20.11	21.5	62.4	38.4	94.4	6.3	0.80
7	YSK-1 (11.00-11.70 m)	71.6	96.0	100.0	45.7	24.9	20.8	CL	58.9	20.21	19.9	15.7	0.91	92.3	15.7	0.91
8	YSK-1 (12.00-12.70 m)	69.7	94.3	100.0	40.0	23.7	16.3	CL	67.5	19.72	23.8	10.1	0.77	95.9	10.1	0.77
9	YSK-1 (13.00-13.70 m)	69.4	95.5	100.0	38.9	23.5	15.4	CL	66.2	19.52	22.5	13.4	0.33	91.7	13.4	0.33
10	YSK-1 (14.00-14.70 m)	76.3	98.7	100.0	41.3	24.3	17.0	CL	73.2	19.33	25.9	3.1	0.19	95.9	3.1	0.19
11	YSK-1 (15.00-15.70 m)	74.3	98.6	100.0	41.0	23.3	17.7	CL	68.0	19.82	23.9	11.6	0.47	96.3	11.6	0.47
12	YSK-1 (16.00-16.70 m)	88.9	98.4	100.0	43.1	24.3	18.8	CL	54.1	20.70	20.0	10.6	35.1	100.0	10.6	0.14
13	YSK-2 (5.00-5.70 m)	62.7	98.6	100.0	36.7	23.0	13.7	CL	52.9	20.70	18.2	3.2	34.6	93.9	3.2	1.07
14	YSK-2 (6.00-6.70 m)	67.7	99.3	100.0	44.3	24.0	20.3	CL	85.4	18.05	25.4	3.0	46.1	80.9	3.0	0.46
15	YSK-2 (7.00-7.70 m)	62.1	95.8	100.0	37.8	23.2	14.6	CL	49.9	20.80	17.3	15.0	33.3	93.9	15.0	1.98
16	YSK-2 (8.00-8.70 m)	59.2	95.63	100.0	34.6	22.8	11.8	CL	54.7	20.60	19.4	21.7	35.3	96.5	21.7	0.70
17	YSK-2 (9.00-9.70 m)	68.1	94.8	100.0	37.4	24.7	12.7	ML	79.3	19.23	29.7	79.3	44.2	100.0	---	-0.39
18	YSK-2 (10.00-10.70 m)	54.4	90.3	100.0	36.8	24.4	12.4	CL	55.8	21.19	24.2	55.8	35.8	100.0	---	-0.07
19	YSK-2 (11.00-11.70 m)	63.8	97.5	100.0	38.3	24.4	13.9	CL	85.5	18.84	31.0	85.5	46.1	98.6	---	-0.16
20	YSK-2 (12.00-12.70 m)	71.2	97.8	100.0	39.3	24.3	15.0	CL	2.72	19.62	23.6	68.1	40.5	94.3	----	-0.19

Çizelge 4.1. (Devam) Laboratuar sonuçları

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Sıra No	Numune No	Tane Dağılımı			Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı	Bağıl Yoğunluk G_s	Tabii Birim Ağırlık	Su İçeriği	Tabii Boşluk Oranı	Tabii Gözeneklilik	Doygunluk Yüzdesi	Şişme/Oturma	
		0.075 mm	4.75 mm	75 mm	LL %	PL %	PI %			γ_n kN/m^3	W_n %	e	n %	S %	Basıncı kPa	Yüzdesi %
		Geçen %	geçen %	geçen %												
21	YSK-2 (13.00-13.70 m)	66.9	97.6	100.0	35.9	25.0	10.9	ML	2.73	16.97	31.8	108.0	51.9	80.4	----	-0.14
22	YSK-2 (15.00-15.70 m)	70.8	100.0	100.0	37.4	25.1	12.3	ML	2.75	20.50	22.0	60.5	37.7	99.9	16.5	0.88
23	YSK-2 (16.00-16.70 m)	64.1	94.2	100.0	39.9	23.6	16.3	CL	2.68	20.01	27.4	67.4	40.3	100.0	----	-0.17
24	YSK-2 (17.00-17.70 m)	67.5	97.8	100.0	41.1	25.5	15.6	CL	2.75	16.78	37.5	121.1	54.8	85.2	-----	-0.44
25	YSK-2 (18.00-18.70 m)	66.9	96.9	100.0	40.9	25.5	15.4	CL	2.72	15.99	37.7	129.8	56.5	79.0	-----	-0.67
26	YSK-2 (19.00-19.70 m)	64.6	91.7	100.0	38.7	24.5	14.2	CL	2.73	18.44	33.9	94.5	48.6	98.0	-----	-0.30
27	YSK-2 (20.00-20.70 m)	59.9	95.2	100.0	40.3	23.9	16.4	CL	2.73	17.36	27.3	96.4	49.1	77.3	-----	0.08
28	YSK-3 (5.00-5.70 m)	59.8	92.5	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.68	19.72	19.9	59.9	37.4	89.1	5.1	0.44
29	YSK-3 (6.00-6.70 m)	62.3	95.3	100.0	38.1	22.1	16.0	CL	2.72	20.60	20.9	56.6	36.1	100.0	22.0	0.49
30	YSK-3 (7.00-7.70 m)	62.6	93.3	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.70	20.99	17.3	48.0	32.4	97.3	26.9	0.96
31	YSK-3 (8.00-8.70 m)	60.4	93.2	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.73	19.91	19.7	61.0	37.9	88.2	20.3	0.51
32	YSK-3 (9.00-9.70 m)	66.5	98.1	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.70	19.72	23.2	65.5	39.6	95.7	8.7	0.31
33	YSK-3 (10.00-10.70 m)	74.2	99.5	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.72	19.82	22.6	65.1	39.4	94.5	3.4	0.40
34	YSK-3 (11.00-11.70 m)	67.2	96.8	100.0	51.3	24.5	26.8	CH	2.71	2.60	18.6	112.7	91.8	4.5	11.7	0.51
35	YSK-3 (12.00-12.70 m)	69.9	93.9	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.68	19.52	20.9	62.8	38.6	89.1	11.9	0.48
36	YSK-3 (13.00-13.70 m)	74.4	92.5	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.67	19.91	23.6	62.6	38.5	100.0	12.0	0.62
37	YSK-3 (14.00-14.70 m)	72.0	99.3	100.0	42.5	22.6	19.9	CL	2.71	19.82	21.7	63.2	38.7	93.0	16.7	0.35
38	YSK-3 (15.00-15.70 m)	69.3	95.7	100.0	41.6	23.9	17.7	CL	2.69	19.23	28.2	75.9	43.2	99.9	6.9	0.37
39	YSK-3 (16.00-16.70 m)	69.3	95.4	100.0	43.7	25.0	18.7	CL	2.72	19.82	23.4	66.1	39.8	96.2	11.7	0.53
40	YSK-3 (17.00-17.70 m)	70.9	92.5	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir.				2.70	19.72	23.7	66.1	39.8	96.7	13.5	0.42

Çizelge 4.1. (Devam) Laboratuvar sonuçları

1	2	3			4			5	6	7	8	9	10	11	12	
Sıra No	Numune No	Tane Dağılımı			Kıvam Limitleri			Zemin Sınıfı	Bağıl Yoğunluk G_s	Tabii Birim Ağırlık γ_n kN/m ³	Su İçeriği W_n %	Tabii Boşluk Oranı e %	Tabii Gözeneklilik n %	Doygunluk Yüzdesi S %	Şişme/Oturma	
		0.075	4.75	75	LL	PL	PI								Basıncı kPa	Yüzdesi %
		mm	mm	mm	%	%	%									
		Geçen %	geçen %	geçen %												
41	YSK-3 (18.00-18.70 m)	76.7	95.5	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir				2.61	19.33	25.4	66.1	39.8	100.0	20.1	0.41
42	YSK-3 (19.00-19.70 m)	80.3	98.5	100.0	51.6	26.5	25.1	CH	2.61	19.03	25.0	68.2	40.5	95.7	23.6	0.61
43	YSK-3 (20.00-20.70 m)	72.7	96.1	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir				2.70	19.52	37.6	86.7	46.4	100.0	10.2	0.13
44	YSK- (3.00-3.70 m)	61.8	92.6	100.0	Sınıflandırma belirlenememiştir				2.65	19.52	20.9	61.0	37.9	90.8	9.4	0.53
45	YSK-4 (4.00-4.70 m)	61.8	93.4	100.0	44.3	23.6	20.7	CL	2.67	19.33	21.7	64.9	39.4	89.3	8.3	1.32
46	YSK-4 (5.00-5.70 m)	60.0	94.9	100.0	44.0	24.3	19.7	CL	2.68	19.42	21.4	64.4	39.2	89.1	5.2	0.55
47	YSK-4 (6.00-6.70 m)	64.8	97.0	100.0	48.5	23.2	25.3	CL	2.70	20.21	19.2	56.2	36.0	92.2	13.4	0.36
48	YSK-4 (7.00-7.70 m)	63.2	96.6	100.0	41.2	22.7	18.5	CL	2.69	18.44	21.9	74.4	42.7	79.1	11.3	0.41
49	YSK-4 (8.00-8.70 m)	65.1	95.2	100.0	41.3	22.9	18.4	CL	2.73	20.01	24.2	66.2	39.8	99.8	-----	0.50
50	YSK-4 (9.00-9.70 m)	64.9	93.4	100.0	43.2	24.3	18.9	CL	2.72	19.52	23.7	69.1	40.9	93.3	3.0	0.12
51	YSK-4 (10.00-10.70 m)	69.7	94.7	100.0	42.9	24.1	18.8	CL	2.75	20.10	21.7	63.3	38.8	94.2	20.4	0.71
52	YSK-4 (11.00-11.70 m)	76.2	98.6	100.0	43.2	23.7	19.5	CL	2.74	18.84	25.2	78.6	44.0	87.8	15.5	0.47
53	YSK-4 (12.00-12.70 m)	72.7	97.3	100.0	45.0	25.3	19.7	CL	2.67	19.72	21.9	61.9	38.2	94.4	1.8	0.61

5. BULGULAR

5.1. Gölet Alanının Jeolojisi

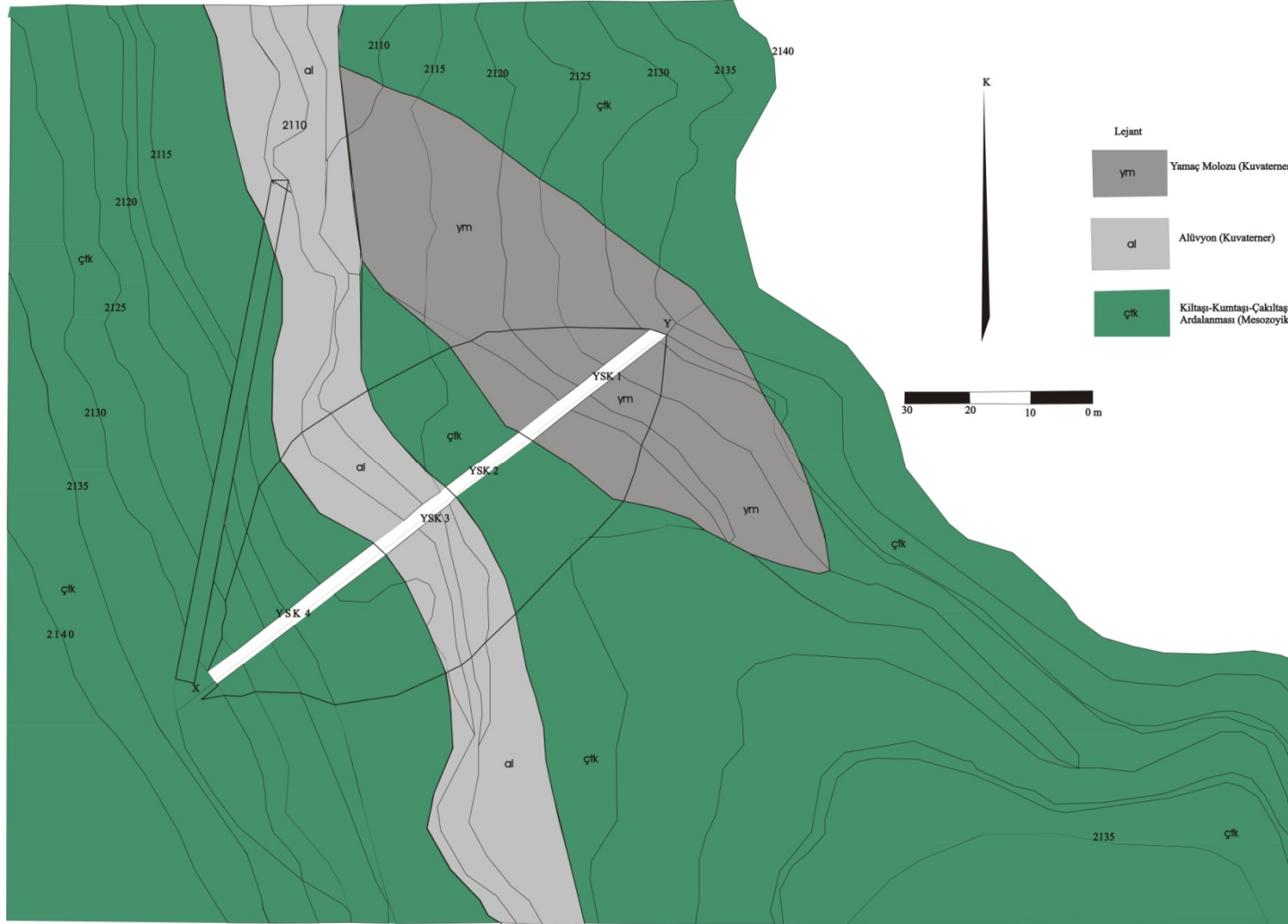
İnceleme alanında gözlenen birimler eski çalışmalara göre Mesozoyik ve Kuvaterner yaşlıdır.

Mesozoyik yaşlı birimler ofiolitik kompleksle beraber kilitaşı-kumtaşı ve çakiltası aralanmalı oluşum göstermektedirler. Aynı zamanda gölet alanı yakın çevresinde konglomeratik kireçtaşları da bulunmaktadır. Bu konglomeratik kireçtaşları ofiolitik birim tarafından ötelenip itildiği için parçalanıp adacıklar halinde oluşum göstermektedirler. Renkleri açık-koyu gri ve kırmızımsı tonlardadır. Bazı seviyelerde çamurtaşı-kireçtaşı aralanmalar olduğu gözlenir. Eski çalışmalara göre Mesozoyik birimlerin kalınlığı 45-60 m arasında değişmektedir. Bu birimlerin üst kısımlarını Kuvaterner oluşukları örtmektedir. Alüvyon ve yamaç molozuna taşınan malzemenin çoğunluğunu Mesozoyik birimleri oluşturmaktadır. Bu sebeple yamaç molozu ve alüvyondaki malzemenin kil oranı fazladır.

Kuvaterner yaşlı oluşuklar alüvyon ve yamaç molozu ile temsil edilir. Alüvyon birimi vadi tabanında gözlenmiş olup %60 kum ve %40 irili ufaklı çakıllardan oluşmaktadır.

Yamaç molozu ise dere kenarındaki sırtlarda gözlenmekte olup kalın ve geniş yayılım gösterirler. Yamaç molozunu oluşturan malzeme çevre kayalardan oluşmaktadır. Blok boyutundan kil boyutuna kadar her türlü malzeme bulunmaktadır. Eski çalışmalara göre kalınlığı 17-18 m arasında değişkenlik sunmaktadır .

Gölet yeri ve yakın çevresinin jeolojik haritası Şekil 5.1’de, gölet yerine ait jeolojik kesit ise Şekil 1.3’te verilmiştir.



Şekil 5.1. İnceleme alanının jeoloji haritası

5.2. Konsolidasyon Oturması Hesapları

215 m uzunluğa ve 6 m genişliğe sahip olan gölette zamana bağlı olarak siltlenme sorunu oluştuğundan göl hacminde azalma meydana gelmiştir. Gölet gövdesi üzerine ilave 3m’lik ilave bir dolgunun yapılması planlandığından (Şekil 5.2), mevcut gövde içerisinde oluşabilecek oturma miktarı bu çalışma kapsamında ampirik yöntemlerle hesaplanmıştır. Buna göre gölet gövdesi içerisinde 3m’lik dolgu sonrasında oluşabilecek konsolidasyon oturmaları, gölet gövdesi üzerinde açılan 4 ayrı sondaj (YSK-1, YSK-2, YSK-3, YSK-4) noktası için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Göletin aksı üzerinde açılan 4 temel sondaj kuyusundan elde edilen örnekler üzerindeki laboratuvar sonuçlarına göre; gölet gövdesinde orta plastisiteli KİL ve az KUM (CL), kumlu orta plastisiteli KİL (CL), orta plastisiteli KİL (CL), kumlu düşük plastisiteli KİL (CL), kumlu orta plastisiteli SİLT (ML), orta plastisiteli SİLT ve az KUM (ML), yağlı KİL ve az KUM (CH) ve kumlu yağlı KİL (CH) birimleri yer almaktadır. Bulunan sonuçlara göre gölet gövdesini oluşturan malzemeler ince taneli zemin sınıfına girmektedir.

Kil tabakasının kalınlığının artması sonucunda, gerilmenin yaklaşık hiperbolik biçimde azalması ve sıkışabilirlik katsayı değerlerinin değişmesi nedeni ile daha hassas sonuçlar elde etmek için mevcut dolgu yüksekliği 2. Bölüm’de belirtildiği gibi tabakalara ayrılmıştır. Göleti oluşturan kil tabakası YSK-1 nolu lokasyon için 3 eşit kalınlıkta tabakaya, YSK-2 nolu lokasyon için 5 tabakaya, YSK-3 nolu lokasyon için 7 tabakaya ve YSK-4 nolu lokasyon için 4 tabakaya ayrılmıştır ve her tabaka için ayrı ayrı efektif gerilme, efektif gerilmedeki azalma ve oturma hesapları yapılmıştır.

Yeni yapılacak olan 3m’lik kil dolgudan kaynaklanan net efektif gerilmeyi bulmak için;

$$q_{kil} = \gamma_n \times h \quad (\text{Eşitlik 5.1})$$

formülü kullanılmıştır.

Dolgu kaynaklı gerilmenin derinliğe bağlı azalması için;

$$\Delta p_1 = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)} \quad (\text{Eşitlik 5.2})$$

formülü kullanılmıştır.

Her bir tabaka ortasındaki efektif gerilme değişimi için;

$$\sigma_1 = \Delta p_1 + \left(\frac{h}{2} \times \gamma_t\right) \quad (\text{Eşitlik 5.3})$$

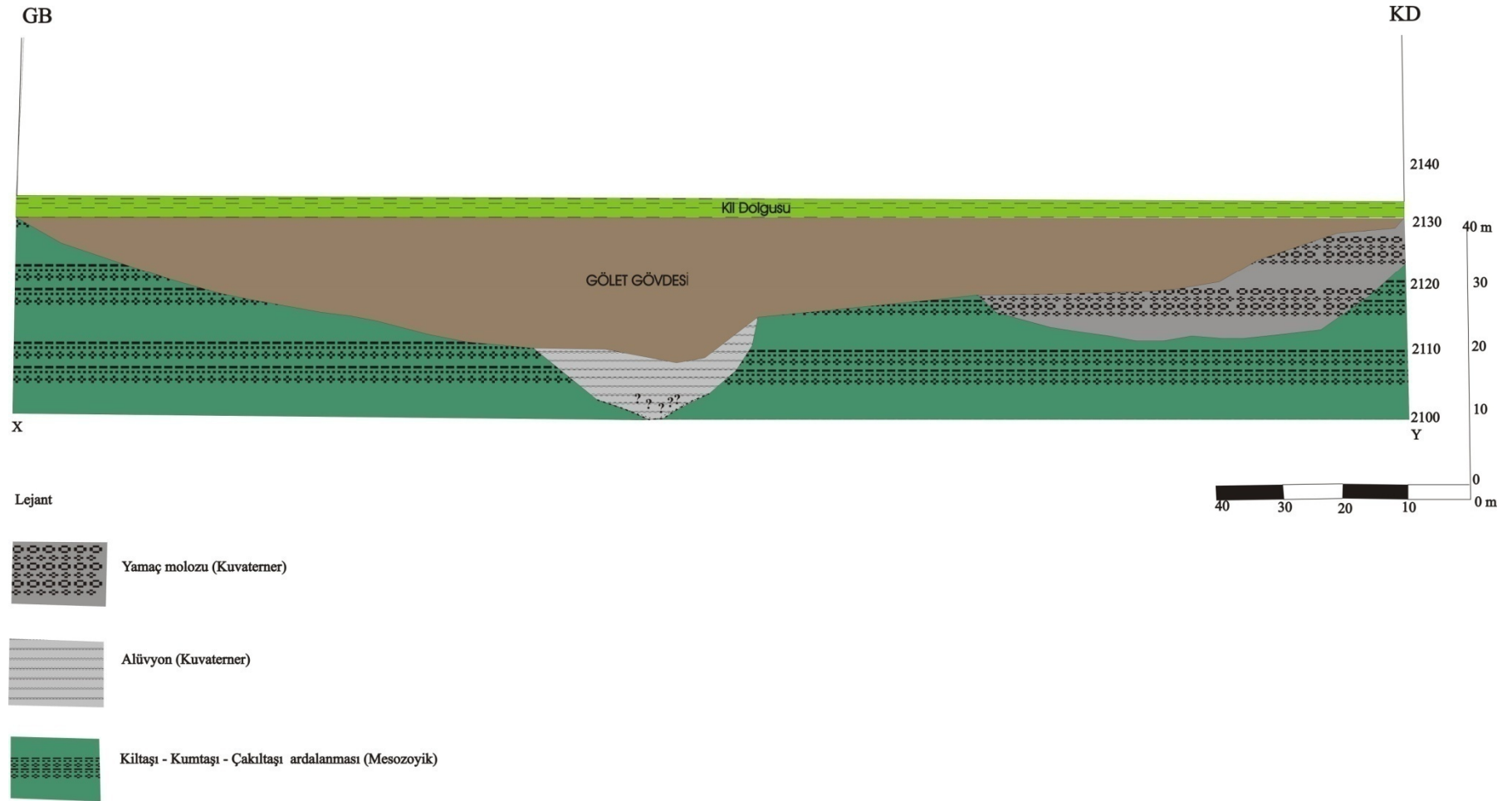
formülü ve oturma miktarı için konsolidasyon oturması Eşitlik 2.22 formülü kullanılmıştır. Her bir tabaka için hesaplanan konsolidasyon oturması değerlerinin toplamından son oturma miktarı belirlenmiştir. Konsolidasyon deneyleri sonucunda belirlenen hacimsel sıkışma katsayısı Çizelge 5.1 de verilmiştir.

Çizelge 5.1. m_v değerleri (m^2/kN)

Numune No	Yükler (kPa)								
	0-25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800	800-1600	1600-400	400-100
YSK-1 (5.00-5.70 m)	4.19	2.19	1.51	1.32	0.80	0.59	0.48	0.06	0.26
YSK-1 (6.00-6.70 m)	2.20	1.68	1.62	1.67	1.45	0.87	0.49	0.05	0.25
YSK-1 (7.00-7.70 m)	3.06	2.05	1.76	1.30	1.01	0.75	0.53	0.06	0.28
YSK-1 (8.00-8.70 m)	2.99	2.50	3.47	3.49	2.21	1.13	0.58	0.05	0.24
YSK-1 (9.00-9.70 m)	3.24	2.26	1.82	1.98	1.94	1.13	0.65	0.05	0.30
YSK-1 (10.00-10.70 m)	4.68	3.37	4.98	4.74	2.72	1.36	0.65	0.05	0.34
YSK-1 (11.00-11.70 m)	3.05	1.75	1.72	1.49	1.45	1.09	0.62	0.06	0.40
YSK-1 (12.00-12.70 m)	3.22	2.04	1.85	1.41	1.16	0.83	0.50	0.05	0.31
YSK-1 (13.00-13.70 m)	2.65	1.82	1.51	1.33	1.07	0.7	0.42	0.05	0.29
YSK-1 (14.00-14.70 m)	8.59	6.79	5.09	3.49	1.94	1.08	0.58	0.04	0.30
YSK-1 (15.00-15.70 m)	3.56	2.65	2.27	1.96	1.44	0.93	0.57	0.04	0.38
YSK-1 (16.00-16.70 m)	5.05	5.42	5.29	3.81	2.04	1.07	0.56	0.04	0.34
YSK-2 (5.00-5.70 m)	3.01	2.01	1.65	0.89	0.52	0.36	0.29	0.05	0.23
YSK-2 (6.00-6.70 m)	3.48	3.81	4.69	3.82	1.88	0.91	0.52	0.05	0.25
YSK-2 (7.00-7.70 m)	2.64	1.89	1.40	1.07	0.62	0.41	0.35	0.05	0.33
YSK-2 (8.00-8.70 m)	2.92	1.72	1.20	0.91	0.74	0.53	0.35	0.05	0.23
YSK-2 (9.00-9.70 m)	12.00	4.78	3.57	2.27	1.24	0.76	0.42	0.06	0.22
YSK-2 (10.00-10.70 m)	11.46	4.38	3.15	1.95	1.13	0.72	0.42	0.06	0.21
YSK-2 (11.00-11.70 m)	15.25	6.85	5.23	3.16	1.70	0.94	0.50	0.06	0.26
YSK-2 (12.00-12.70 m)	14.61	5.53	3.99	2.42	1.32	0.78	0.43	0.05	0.23
YSK-2 (13.00-13.70 m)	13.40	6.26	4.16	2.59	1.41	0.78	0.44	0.05	0.24
YSK-2 (15.00-15.70 m)	3.69	2.09	1.52	1.21	0.93	0.70	0.44	0.04	0.33
YSK-2 (16.00-16.70 m)	5.37	3.59	2.45	1.62	0.99	0.59	0.35	0.04	0.18
YSK-2 (17.00-17.70 m)	14.95	7.44	4.97	3.76	1.74	0.97	0.48	0.05	0.24
YSK-2 (18.00-18.70 m)	13.56	9.58	6.48	3.79	1.95	1.00	0.52	0.05	0.33
YSK-2 (19.00-19.70 m)	11.68	3.97	2.45	1.28	0.69	0.42	0.25	0.04	0.16
YSK-2 (20.00-20.70 m)	14.55	8.93	6.00	3.43	1.72	0.89	0.45	0.05	0.27
YSK-3 (5.00-5.70 m)	2.37	2.52	2.37	1.89	1.49	0.93	0.51	0.05	0.26
YSK-3 (6.00-6.70 m)	5.57	2.52	2.37	1.89	1.49	0.93	0.51	0.05	0.26
YSK-3 (7.00-7.70 m)	4.38	2.24	2.08	1.62	1.27	0.85	0.48	0.05	0.28

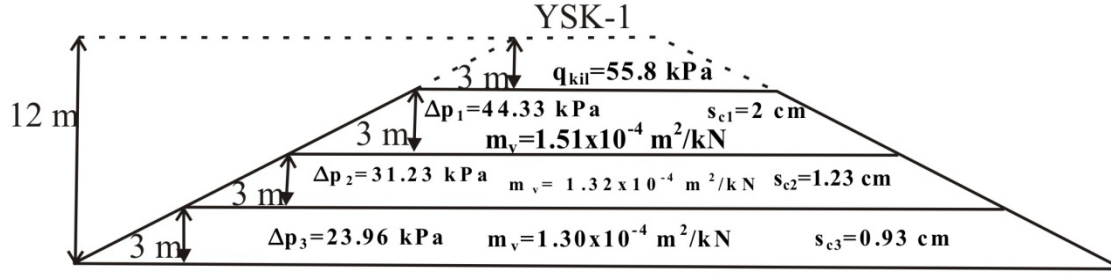
Çizelge 5.1. (Devam) m_v değerleri (m^2/kN)

Numune No	Yükler (kPa)								
	0-25	25-50	50-100	100-200	200-400	400-800	800-1600	1600-400	400-100
YSK-3 (8.00-8.70 m)	3.30	1.82	1.42	1.07	0.82	0.62	0.43	0.05	0.25
YSK-3 (9.00-9.70 m)	3.12	2.04	1.63	1.10	0.81	0.61	0.45	0.05	0.27
YSK-3(10.00-10.70 m)	3.47	2.30	1.88	1.85	1.97	1.35	0.75	0.05	0.43
YSK-3 (11.00-11.70 m)	3.67	2.08	1.70	1.47	1.25	0.91	0.55	0.05	0.40
YSK-3 (12.00-12.70 m)	3.09	1.75	1.71	1.51	1.24	0.95	0.64	0.05	0.43
YSK-3(13.00-13.70 m)	1.95	1.54	1.46	1.88	1.64	1.21	0.71	0.05	0.38
YSK-3 (14.00-14.70 m)	2.86	2.43	2.61	2.37	1.90	1.18	0.62	0.04	0.35
YSK-3 (15.00-15.70 m)	5.32	3.39	2.54	1.98	1.41	0.94	0.58	0.06	0.27
YSK-3 (16.00-16.70 m)	4.40	3.57	2.72	2.25	1.61	0.99	0.57	0.05	0.32
YSK-3(17.00-17.70 m)	2.00	1.45	1.52	1.48	1.44	1.04	0.58	0.05	0.36
YSK-3(18.00-18.70 m)	3.68	2.20	1.88	1.53	1.31	0.91	0.54	0.06	0.32
YSK-3 (19.00-19.70 m)	1.74	1.30	1.65	1.22	1.01	0.83	0.58	0.05	0.46
YSK-3 (20.00-20.70 m)	3.64	5.21	5.09	3.88	2.29	1.20	0.61	0.05	0.31
YSK-4 (3.00-3.70 m)	2.45	1.49	1.30	0.96	0.74	0.62	0.50	0.07	0.27
YSK-4 (4.00-4.70 m)	4.31	2.99	2.07	1.11	0.74	0.69	0.49	0.05	0.31
YSK-4 (5.00-5.70 m)	3.58	2.22	1.85	1.58	1.28	0.81	0.42	0.04	0.28
YSK-4 (6.00-6.70 m)	3.38	2.43	2.68	2.80	1.97	1.10	0.55	0.05	0.30
YSK-4 (7.00-7.70 m)	2.53	1.57	1.11	0.80	0.61	0.49	0.33	0.05	0.22
YSK-4 (8.00-8.70 m)	4.95	3.42	2.48	1.62	1.02	0.64	0.38	0.06	0.23
YSK-4 (9.00-9.70 m)	3.91	3.14	3.59	2.72	1.69	0.95	0.49	0.06	0.28
YSK-4 (10.00-10.70 m)	2.87	1.74	1.39	1.00	0.82	0.63	0.45	0.07	0.37
YSK-4 (11.00-11.70 m)	2.18	1.61	1.56	1.61	1.52	0.91	0.46	0.04	0.32
YSK-4(12.00-12.70 m)	4.19	2.05	1.88	1.90	1.76	1.02	0.52	0.05	0.38
YSK-4 (10.00-10.70 m)	2.87	1.74	1.39	1.00	0.82	0.63	0.45	0.07	0.37
YSK-4 (11.00-11.70 m)	2.18	1.61	1.56	1.61	1.52	0.91	0.46	0.04	0.32
YSK-4(12.00-12.70 m)	4.19	2.05	1.88	1.90	1.76	1.02	0.52	0.05	0.38



Şekil 5.2. Gölet aksı üzerinde yapılması planlanan 3m'lik ilave kil dolgusu

5.2.1. YSK-1'olu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları



Şekil 5.3. YSK-1 kuyusu için gölet gövdesi kesiti

$$q_{kil} = \gamma_n \times h = 18.6 \times 3 = 55.8 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.1})$$

$$\Delta p_1 = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)} = \frac{55.8 \times 6 \times 215}{(6+1.5)(215+1.5)} = 44.33 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.2})$$

$$\sigma_1 = 44.33 + (1.5 \times 19.91) = 74.195 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.3})$$

$$s_{c1} = m_v \times H \times \Delta p_1 = 1.51 \times 10^{-4} \times 3 \times 44.33 = 0.020 \text{ m} = 2 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 2.22})$$

$$\Delta p_2 = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)} = \frac{55.8 \times 6 \times 215}{(6+4.5)(215+4.5)} = 31.23 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.2})$$

$$\sigma_2 = 31.23 + (4.5 \times 19.91) = 120.82 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.3})$$

$$s_{c2} = m_v \times H \times \Delta p_2 = 1.32 \times 10^{-4} \times 3 \times 31.23 = 0.0123 \text{ m} = 1.23 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 2.22})$$

$$\Delta p_3 = \frac{q \times B \times L}{(B+z)(L+z)} = \frac{55.8 \times 6 \times 215}{(6+7.5)(215+7.5)} = 23.96 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.2})$$

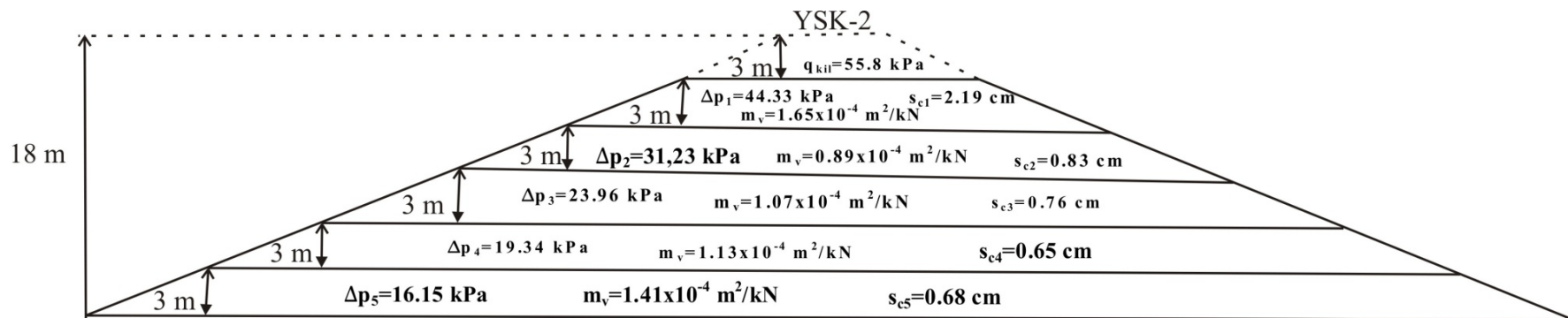
$$\sigma_3 = 23.96 + (6 \times 19.91 + 1.5 \times 20.70) = 174.47 \text{ kPa} \quad (\text{Eşitlik 5.3})$$

$$s_{c3} = m_v \times H \times \Delta p_3 = 1.30 \times 10^{-4} \times 3 \times 23.96 = 9.34 \times 10^{-3} m = 0.93 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 2.22})$$

$$s_{top} = s_{c1} + s_{c2} + s_{c3} = 2 + 1.23 + 0.93 = 4.16 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 5.4})$$

Buna göre YSK-1 nolu kuyunun bulunduğu lokasyonda 3 m'lik kil dolgu sebebiyle oluşabilecek konsolidasyon oturması 4.16 cm'dir.

5.2.2. YSK-2 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları

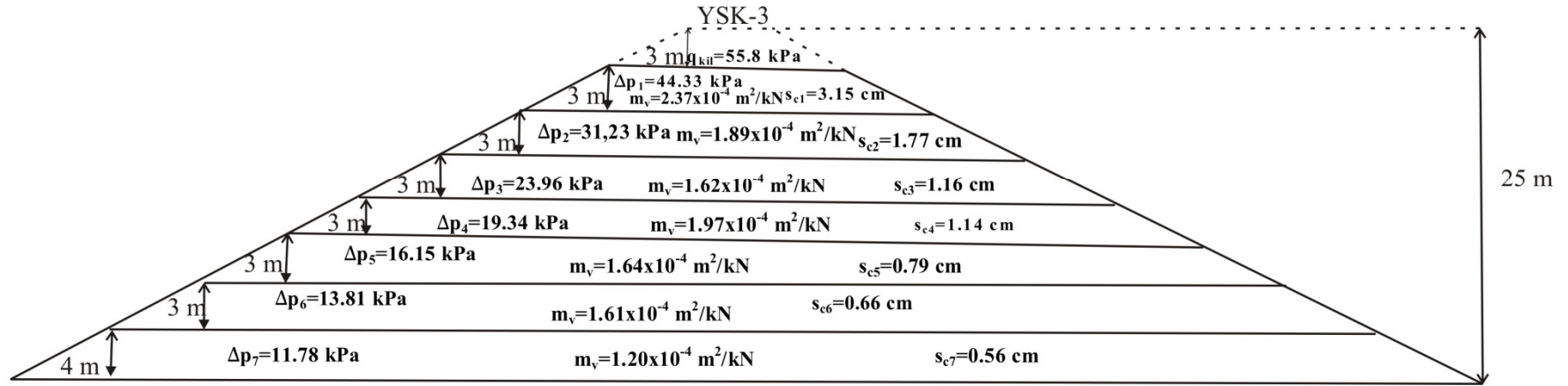


Şekil 5.4. YSK-2 kuyusu için gölet gövdesi kesiti

$$s_{top} = s_{c1} + s_{c2} + s_{c3} + s_{c4} + s_{c5} = 2.19 + 0.83 + 0.76 + 0.65 + 0.68 = 5.11 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 5.4})$$

Buna göre YSK-2 nolu kuyunun bulunduğu lokasyonda 3 m'lik kil dolgu sebebiyle oluşabilecek konsolidasyon oturması 5.11 cm'dir.

5.2.3. YSK-3 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları

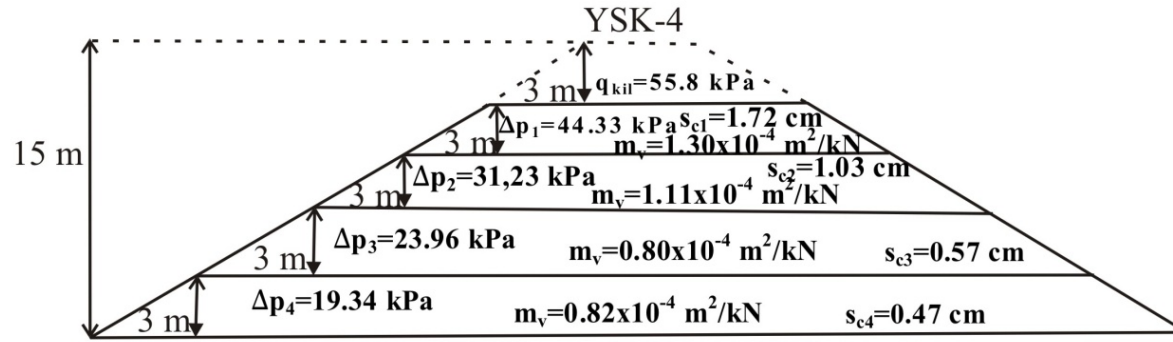


Şekil 5.5. YSK-3 kuyusu için gölet gövdesi kesiti

$$s_{top} = s_{c1} + s_{c2} + s_{c3} + s_{c4} + s_{c5} + s_{c6} + s_{c7} = 3.15 + 1.77 + 1.16 + 1.14 + 0.79 + 0.66 + 0.56 = 9.23 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 5.4})$$

Buna göre YSK-3 nolu kuyunun bulunduğu lokasyonda 3 m'lik kil dolgu sebebiyle oluşabilecek konsolidasyon oturması 9.23 cm'dir.

5.2.4. YSK-4 nolu kuyu lokasyonu için konsolidasyon oturması hesapları



Şekil 5.6. YSK-4 kuyusu için gölet gövdesi kesiti

$$s_{top} = s_{c1} + s_{c2} + s_{c3} + s_{c4} = 1.72 + 1.03 + 0.57 + 0.47 = 3.79 \text{ cm} \quad (\text{Eşitlik 5.4})$$

Buna göre YSK-4 nolu kuyunun bulunduğu lokasyonda 3 m'lik kil dolgu sebebiyle oluşabilecek konsolidasyon oturması 3.79 cm'dir.

4 kuyuda beklenen oturma miktarı Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. YSK-1, YSK-2, YSK-3, YSK-4 nolu lokasyonlarda beklenen oturma miktarı

Lokasyon	Toplam konsolidasyon oturması (cm)
YSK-1	4.16
YSK-2	5.11
YSK-3	9.23
YSK-4	3.79

5.3. Gölet Gövdesinde Meydana Gelebilecek Konsolidasyon Oturmalarının Değerlendirilmesi

Yapılan hesaplamalara göre Lambe ve Whitman (1979) tarafından belirtilen esaslar göz önüne alındığında (yığma yapılarda 25-50 mm) 3 m’lik ilave dolgu gölet gövdesi içinde YSK-1 ve YSK-4 nolu lokasyonlarda hesaplanan konsolidasyon oturma miktarı izin verilebilir sınırlar içinde kaldığı için gölet üzerinde olumsuz bir etkisinin olmayacağı saptanmıştır. Ancak YSK-2 ve YSK-3 nolu lokasyonlarda hesaplanan konsolidasyon değeri izin verilebilir sınırları aştığından mevcut gölet dolgusunda deformasyon meydana gelmesine neden olabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında ampirik yöntem kullanılarak yapılan konsolidasyon hesapları, yapılması planlanan 3 m’lik yeni dolgunun göletin özellikle su içeriği yüksek killi bazı bölümlerde aşırı deformasyona neden olabileceğini işaret etmektedir. Bu nedenle ilave dolgunun yapım aşamasına geçilmeden önce nümerik modellemeler yardımıyla gölet gövdesindeki olası deformasyonlar daha detaylı olarak ortaya konmalıdır. Konsolidasyon oturmasının zamana bağlı olarak gelişecek bir olgu olduğu hatırlanarak, uzun vadede gölet gövdesinde istenmeyen sorunlar ortaya çıkabileceği dikkate alınmalıdır.

6. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

1. Van İli, Özalp İlçesi Emek köyünün kuzeydoğusunda yer alan ve 1984 yılında sulama amaçlı olarak yapılan gölette zamana bağlı olarak siltlenme sorunu meydana geldiğinden göl hacminde bir azalma oluşmuştur. Bu nedenle, ilgili kurum tarafından göletten daha fazla yararlanmak için gövde yüksekliğin arttırılması uygun görülmüştür.

2. Gölet üzerinde yapılacak ilave dolgu yüksekliği yeni gerilim koşullarına bağlı olarak, su içeriği yer yer yükselmiş olan göletin mevcut kil dolgusunda oturmaları neden olabileceğinden, bu tez çalışması kapsamında mevcut gölet gövdesinde oluşabilecek konsolidasyon oturmaları ampirik yaklaşımla belirlenmiştir.

3. İncelenen gölet yerinde farklı lokasyonlarda farklı değerlerde konsolidasyon oturması değerleri bulunmuştur. Buna göre, yapılan hesaplamalar sonucunda YSK-1 nolu lokasyonda 4.16 cm, YSK-2 nolu lokasyonda 5,11 cm, YSK-3 nolu lokasyonda 9.23 cm ve YSK-4 nolu lokasyonda 3.79 cm konsolidasyon oturması beklenmektedir.

4. Gölet gövdesinde açılmış olan sondaj lokasyonlarındaki farklı oturma miktarının bulunması, gölet gövdesi içerisinde farklı sıkışabilir özelliklere sahip birimlerin yer alması ve su içeriğinin değişkenlik göstermesi gibi faktörlerin aynı olmaması gibi nedenlere bağlı olabilir.

5. Laboratuvar deney sonuçları dikkate alındığında, gölet gövdesini oluşturan ince taneli malzemelerin yer yer yüksek doğal su içeriğine sahip olması, gölet malzemesinin sızdırmazlık özelliklerindeki zamana bağlı azalmaya ve memba tarafından gövde içirisine su sızdırmalarına bağlanabilir.

6. Literatür değerleri göz önüne alındığında, yığma yapılarda izin verilebilir toplam oturma 25-50 mm arasında olduğundan YSK-1 ve YSK-4 nolu lokasyonlarda hesaplanan konsolidasyon oturma miktarı izin verilebilir sınırlar içinde kalmakta ve gölet duraylılığı üzerinde bir etkisinin olmayacağı düşünülmektedir. Ancak YSK-2 ve YSK-3 nolu lokasyonlarda hesaplanan konsolidasyon değeri izin verilebilir sınırları aştığından gölet gövdesinde aşırı deformasyonlar oluşabilir.

7. Ampirik yöntem kullanılarak yapılan konsolidasyon oturması hesaplamaları, yapılması planlanan 3 m'lik yeni dolgunun göletin özellikle su içeriği yüksek killi bölümlerinde aşırı deformasyona neden olabileceğini işaret etmektedir.

8. Bu tez çalışması kapsamında gölet gövdesi için yapılan konsolidasyon oturması hesaplarında sınırlı veriye sahip olunması nedeniyle ampirik ilişkiden faydalanılmıştır. İlave dolgunun yapım aşamasına geçilmeden önce nümerik modellemeler yardımıyla gölet gövdesindeki olası deformasyonlar daha detaylı olarak ortaya konmalıdır. Elde edilecek sonuçlar karşılaştırılarak nihai sonuç ortaya konmalıdır.

9. Konsolidasyon oturmasının zamana bağlı olarak gelişecek bir olgu olduğu hatırlanarak, uzun vadede gölet gövdesinde istenmeyen sorunlar ortaya çıkabileceği dikkate alınmalıdır.

10. Yapımı planlanan yeni dolgunun, mevcut dolgunun duraylılığı üzerindeki etkisi de hesaplamalar yardımıyla ortaya konmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, İ., 2005. *Sığ Temellerde Jeoteknik Etüt.* MTA yayınları, No: 40, Ankara. 50-55.
- Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., 2003. Effect of loading character on analysis of pile and pile-foundation settlements, *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **40(5)**: 153-160.
- Bjerrum, L., 1963. Discussion in Section VI, 3rd *European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Wiesbaden, 2, 135-137.
- Broms, B.B., 1976. *Pile foundations-pile groups*, *Proceedings*, 6th ECSMFE, Vienne, Austria, Volume 2.1, 103-132.
- Burmister, D. M., 1962. *Physical Stress-Strain and Strength Responses of Granular Soils*, ASTM, STP 322.
- Cai G., Liu S., Puppala A.J., 2011. Predictions of coefficient of consolidation from CPTU dissipation tests in Quaternary clays. *Bulletin Engineering Geological Environment*, **70**: 1-14.
- Crawford CB., Campanella RG., 1991. Comparison of field consolidation with laboratory and in situ tests. *Can Geotech J*, **28(1)**: 103–112.
- Çamlıbel, N., 2000. *Temellerin Takviyesi*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Das, M. B., 1983. *Advanced Soil Mechanics*, McGraw-Hill, Singapore.
- Day, R. W., 1990. “Differential Movement of Slab-OnGrade Structures”, ASCE *Journal of Performance of Constructed Facilities*, **4(4)**: 236-242.
- Duncan, J. M., and Buchignani A.L., 1976. *An engineering manual for settlement studies*, University of California, Berkeley.
- Genç, D., 2008. *Zemin Mekaniği ve Temeller*. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası yayınları, No:100, Ankara.
- Gök S., ve Toğrol E., 2009. Basitleştirilmiş kazıklı radye hesabı, *itüdergisi*, **8(5)**: 149-156.

- Harry, M. E., 1966. *Fundamentals of Therotical Soil Mechanics*. McGraw-Hill, New York.
- Horikoshi, K., 1995. *Optimum design of pile raft foundations*. PhD thesis, University of Western Australia, Perth.
- Katzenbach, R., and Moorman, Chr., 2001. *Recommendations for the design and construction of pile, Proceedings*, 15th ICSMFE, Istanbul, Turkey, 2, 927-930.
- Kayalar, A. Ş. 1991. *Eski Gediz Deltası ve Melez Çayı Kıyı Sedimanlarının Oturma Özellikleri ve bu Sedimanların Üzerindeki Yapılarda Görülen Oturma Problemleri, Bildiriler Kitabı*, İnşaat Mühendisliğinde Zemin - İzmir'in Piza Kuleleri, İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir
- Kuo-Hsia C., William DK., Ming-Jiun W., 1994. Comparison of predicted and measured settlement of a test embankment over soft soil. In: Proceedings of the settlement '94. *ASCE geotechnical special publication*, 40: 16–18.
- Ladd CC., Foott R., 1977. Foundation design of embankments constructed on varved clays. *United States Department ofTransportation*, Report FHWA TS-77-214, 234.
- Ladd CC., 1991. Stability evaluation during staged construction. *J Geotech Eng ASCE* 117(4): 540–615.
- Lambe, T.W. and Whitman, R.V., 1979. *Soil Mechanics*. (Editör: John Wiley & Sons) Singapore.
- Leonards, G. A., 1976. *Estimating Consolidation Settlement of Shallow Foundations on Overconsolidated Clay*. Transportation Research Board, Special Report 163, Washington D.C.
- Liu S., Cai G.,Puppala A.J., Tu•Q., 2011. Prediction of embankment settlements over marine clay using piezocone penetration tests. *Bulletin Engineering Geological Environment*, 70: 401-409.
- Meyerhof, G. G., 1976. *Bearing capacity and settlement of pile foundations*. ASCE Journalof the Geotechnical Engineering Division, 102, GT3, 195-228.
- Namlı, M., 2001. *Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. İnşaat :Fakültesi, İst.

- Oakley III., Richard E., 1990. Case history: use of the cone penetrometer to calculate the settlement of a chemically stabilized landfill. In: Proceedings of the geotechnics of waste fills-theory and practice. ASTM STP 1070, *American society for testing and materials*, Philadelphia, 345–357.
- Perloff, W.H., 1975. Pressure Distribution and Settlement, *In Foundation Engineering Handbook*. Winterkorn, H.F. and Fang, H.Y. (eds). Van Nostrand Reinhold Company.
- Polshin D. E. and Tokar, R. A., 1957. “Maximum Allowable Non-Uniform Settlement of Structures”, *4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*. London, 1, 402-405.
- Skempton, A. W. and MacDonald, D.H. 1956. *Allowable Settlement of Buildings*,. Proc. Institute of Civil Engineers, Part 3, Vol.5, 727-768.
- Skempton, A. W. and Bjerrum, L. 1957. A Contribution to Settlement Analysis of Foundations in Clay, *Geotechnique*, 7: 168.
- Small J.C., Liu, H.L.S., 2008. Time-settlement behaviour of piled raft foundations using infinite elements, *Computers and Geotechnics*. 35, 187-195.
- Tomlinson, M.J., 2001. *Foundation design and construction*, 7th edition, Prentice Hall, 569.
- Tosun. H., 1993. *Temel Zemini Oturma Analizi*, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Uzuner, B. A., 1984. *Yapılarda Zemin İncelemesinin (Etüdünün) Önemi*, Türkiye’de İnşaat Mühendisliği Alanındaki Gelişmeler Kongresi 84, İTÜ; İstanbul, 71-74.
- Uzuner, B. A., 1985. *Yapılarda Oturma*. III. Mühendislik Haftası, Isparta, 11-23.
- Viggiani, C., 2001. *Analysis and design of piled foundations*, *Proceedings*, 1st Arrigo Croce Lecture, Napoli, Italy, 47-75.
- Yılmaz, I., 2000. *Mühendislik Jeolojisinde Alan Araştırması*. Mühendislik-Mimarlık Yayınları Teknik Yayınevi, Ankara. 123.
- Yılmaz, I. and. Karacan., E, 1997. *Geotechnical properties of-alluvial soils: an example from south of Sivas (Turkey)*. IAEG, *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, 55.

Yin ZZ., 1999. *Settlement and consolidation of soil*. China Electric Power Press, Beijing in Chinese

ÖZ GEÇMİŞ

Ağustos 1987 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Van'da tamamladıktan sonra 2005 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2009 yılında fakülte birincisi olarak mezun oldu. 2009 yılında Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı.