

## Şehirsal Bölgelerde Yapılan Dik Temel Kazılarının Duraylılığının İncelenmesi

*Investigation About Durability of Steep Excavated Foundation in Urban Places*

Eren Kömürlü<sup>1\*</sup>, Samet Toptaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Araştırma Görevlisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Trabzon

<sup>2</sup> Maden Mühendisi, Ordu

\* Sorumlu Yazar: [ekomurlu@ktu.edu.tr](mailto:ekomurlu@ktu.edu.tr)

### Özet

Çalışma kapsamında, temel kazısı yapılan dik toprak örtü tabakalarının duraylılığı incelenmiştir. İki adet temel çukuru çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu alanlardan biri, iki tarafından otoyol geçen, diğer iki tarafında apartman bulunan ve bu apartmanlardan birinin temel hizasından dik bir şekilde kazılmış olan tahkimatsız bir temel çukurudur. Otoyoldan, trafikten ve bina temellerinden aktarılan gerilmelerin duraylılığı nasıl etkilediği incelenmiştir. Dik örtü tabakasının 4 metreyi bulduğu bu temel çukuruna tahkimat kurulmadığı takdirde otoyolun ağır vasıtalara kapatılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Binanın altındaki zeminin mekanik parametrelerinin konsolidasyon sonucu ne derecede iyileşmiş olduğu irdelenmiştir. İncelenen diğer bir alan ise KTÜ Hukuk Fakültesi binası inşaatı için gerçekleştirilmiş bir temel kazı alanıdır. Örtü tabaka kalınlığı yer yer değişiklikler gösteren bu dik kazılmış toprak tabakasının çevresel etkilere karşı hassas olduğu belirtilmiş ve duraylılığını koruyabileceği durumlar ortaya konmuştur. Ülkemizde yaşanan, şehirsal bölgelerdeki temel kazıları sonucu gerekli önlem ve tedbirlerin alınmamasından kaynaklı meydana gelen çeşitli kazalara değinilmiştir.

*Anahtar Kelimeler: Temel çukuru, yüzey yükleri, zeminde gerilme dağılımları, yanıl gerilmeler, çatlama yüksekliği, konsolidasyon.*

### Abstract

In this work, steep excavated foundation soil layers durability is investigated in urban areas. There are two case study areas. First is a foundation cave that is between two motorway and there are two building near other two sides. And, one building has tangential foundation with one side of vertical excavated soil. Motorways'es and building's affects on the stability of steep soil is investigated. And,traffic must be locked to heavy weight vehicles, because there is an important risk for soil layer that has 4 meters heights without support. Stress distribution that is caused by a truck is examined in detail. Building cause to consolidation and soil's mechanical parameters get better under building. An other study area is a steep soil layer behind the KTU law faculty building. Soil layer's height are very changeable and this layer is very sensitive to environmental effects. There are some local instable parts of layer, described about how to remain the stability of layer. Some examples are given about stability problems for foundation excavations that are done in Turkey urban places.

*Key words: Foundation cave, surcharges, stress distribution in soil, lateral stresses, breaking height, consolidation, soil mechanics.*

## **1. Giriş**

Genel olarak zeminin kayması belli bir kayma düzlemi üzerine etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin ortaklaşa etkisi sonucu gözlemlenmektedir. Zemin kaymasının meydana gelmesi için, olası bir kayma düzlemine etkiyen normal gerilme altında kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Zeminin kayma mukavemeti ise duraysızlığa meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak tanımlanabilir (Yılmaz, 2006). Yüzey yüklemeleri ve/veya zeminin kendi ağırlığı dolayısı ile basma gerilmelerinin etkimesi sonucu zemin içerisinde kesme gerilmeleri oluşur ve kayma mukavemetinin aşıldığı bir açıya sahip düzlem üzerinde kaymanın başlaması sonucu duraysızlık yaşanır. Duraysızlığa karşı koyan kuvvetleri yani kayma mukavemetini belirleyen zeminin mekanik parametreleridir (kohezyon ve içsel sürtünme açısı). Kohezyon herhangi bir normal gerilmenin etkilediği durumda zeminin kayma direnci olarak nitelendirilebilir. Zeminin fiziksel özelliği bu parametreyi etkiler. Kohezyon, zeminin kayma direncini belirlediği gibi kayma tipini de belirleyen bir faktördür. Toprağın fiziksel özelliklerine ve dolayısı ile kohezyona bağlı olarak düzlemsel veya dairesel kayma gözlemlenir. Genellikle kil, silt tane boyutlarındaki, kohezyonlu zeminlerde dairesel kayma gözlemlenirken kohezyonu çok düşük veya kohezyonsuz olarak kabul edilebilecek olan kum ve daha iri tanelerin ağırlıklı olduğu zeminlerde düzlemsel kayma gerçekleşir (Pehlivan, 2008). Silt ve killerde tane yapısı ve taneleri çevreleyen elektriksel negatif yüke su moleküllerinin tutunması ve taneler arasında bir ara yüzey oluşturarak taneleri birbirine yapıştırması sebebiyle ortaya çıkan ilave bir kayma direnci parametresi vardır (Çinicioğlu, 2005). Plastisiteye bağlı olarak silt ve killerde belirli bir su muhtevasına kadar su içeriğinin artışı kohezyon değerinde artışa neden olsa da belirli bir orandan sonra su muhtevastaki artış kohezyon değerlerini azaltmaktadır (Fredlund, 1996). Silt ve kil gibi kohezyonlu zeminlerde belirli bir seviyede kayma mukavemeti kohezyon sebebiyle bulunmaktadır (Hoek, 2002).

İçsel sürtünme açısı arttıkça toprağın kayma gerilmelerine karşı dayanıklılık yeteneği artar. İçsel sürtünme açısı toprağı oluşturan tanelerin aralarındaki kenetlenme sonucu oluşur. Malzeme ne kadar sıkı ise o kadar iyi kenetlenmiş olur ve içsel sürtünme açısı yükselir. Malzeme gevşer ise taneler arasındaki kenetlenme azalır ve içsel sürtünme açısı düşer. Toprağın stabilite analizini yapmak için kullanılan Mohr-Coloumb yenilme zarfınının iki temel parametresi vardır. Bunlar kohezyon ve içsel sürtünme açısıdır. Bu iki parametre bilindiği takdirde malzemenin duraylılık zarfi oluşturulabilir. İçsel sürtünme açısı artışı, normal gerilme değeri karşısında malzemenin ne kadar kayma dayanımı artışı yaşayacağını

ortaya koyar. İyi kenetlenmiş nispeten boşluk oranı az zeminlerde normal gerilme artışı kayma dayanımı açısından daha büyük direnç sağlayacaktır (Özdeğer ve Kurtay, 2006).

Malzemenin tane boyu dağılımı boşluk oranını belirleyen bir faktör olup iyi derecelenmiş bir zeminde boşluk oranı azalacağı için mekanik parametreler iyileşir. Bina temelleri altındaki toprağın konsolidasyona uğraması sonucu boşluk oranında azalma yaşanır ve bu durum mekanik parametrelerde iyileşmeye neden olur (Uzuner, 2011).

Şehirsel bölgelerde yer yüzeyinde bulunan yapılar ve toplu kullanım alanları dolayısı ile temel kazıları çoğu zaman dik veya dike yakın açılarla kazılmaktadır. Bu durumda, bina temellerinden aktarılan gerilmelerden, otoyollardan, trafikten, insanların günlük yaşantıları sonucu zemine etkileyen gerilmelerden dolayı şehirsel bölgelerdeki temel çukurlarının duraylılığı olumsuz yönde etkilenir. Temel kazısı yapılan toprak tabakasının kalınlığı son derece kritiktir. Herhangi istenmeyen olayla karşılaşmamak için, zeminin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değeri gibi parametreleri elde edilerek, zeminin çatlama yüksekliği tespit edilmelidir. Bu değerden daha fazla veya yakın derinliklerde kazı yapmaktan kaçınılmalıdır. Yüzey yüklemeleri sonucu müsaade edilebilir kazılmış örtü tabakası yüksekliği azalmaktadır. Yüzey yüklemeleri çeşitlerine bağlı olarak gerilmeler zeminde farklı iletilir. Bina temellerinden aktarılan yükün, otoyolların ağırlığından kaynaklı şeritsel yükün, otoyolda ilerleyen araçların tekerlerinden aktarılan çizgisel yükün zeminde gerilme dağılımları üzerindeki etkileri farklı bağıntılara göre hesaplanmaktadır (Uzuner, 2007).

KTÜ hukuk fakültesi arkasındaki dik kazılmış toprak tabakasının üstünde bir yerleşim yoktur bu anlamda duraysızlığı etkileyen ana unsur zeminin kendi ağırlığı ve çeşitli doğal çevresel faktörlerdir (yağmur, yer altı suları, rüzgar, sıcaklık, ...). Bu bölgede toprak örtü tabakası kalınlığı yer yer büyük değişiklik göstermektedir. En yüksek örtü tabakasına sahip olan 5 metre genişliğinde bir kısımda çatlama yüksekliğinin aşılması veya bu değere yakın değerlerde bir kalınlığa sahip toprak örtüsünün doğal etkilere direnç sağlayamamasından dolayı küçük çapta duraysızlık yaşanmıştır. Zamana bağlı olarak yağmur, yeraltı suları, rüzgar, sıcaklık, gürültü, yaşamsal faaliyetlerden kaynaklanan titreşimler gibi çeşitli etkenler tahkimatsız toprağın gevşemesine sebebiyet vermesi suretiyle mekanik parametre değerlerinde düşüş yaşatabilecektir.

Trabzon Pelitli mevkiinde dik temel çukuru kazısının yapıldığı bölgedeki toprak yüksekliği 3,5-4 metre dolaylarında değişmektedir. Toprak tabakasının altında kaya tabakası bulunmaktadır. Bölgenin yanında bulunan yoldan gelen ve trafik akışının neden olmuş olduğu yüklemelerin zemin üzerindeki etkileri ve duraysızlık riskleri bulunmaktadır. Bu bölgede kazının hemen yanında bulunan binanın neden olduğu gerilmelerin duraylılık üzerinde etkileri incelenmiştir. Bina zeminde konsolidasyona neden olmuştur. Konsolide olmuş olan zeminin mekanik parametreleri zamana bağlı olarak iyileşeceğinden dolayı bina altındaki toprak malzemenin dayanımı artmıştır (Erşan ve Yıldırım, 2008).

Zeminlerde çevresel ve doğal etkenlerden kaynaklı duraysızlık problemleri incelenirken civardaki yapıların yanı sıra bölgenin depremselliği, yeraltı su hareketi gibi faktörler de göz önünde bulundurularak güvenlik faktörü hesaba katılmalıdır (Ural, 2011).

## **2. Uygulama Alanlarındaki Duraylılığın İncelenmesi Ve Deneysel Çalışmalar**

### **2.1 Yüzey Yükü Olmayan Dik Kazılmış Toprak Katmanının Çatlama Yüksekliğinin Belirlenmesi**

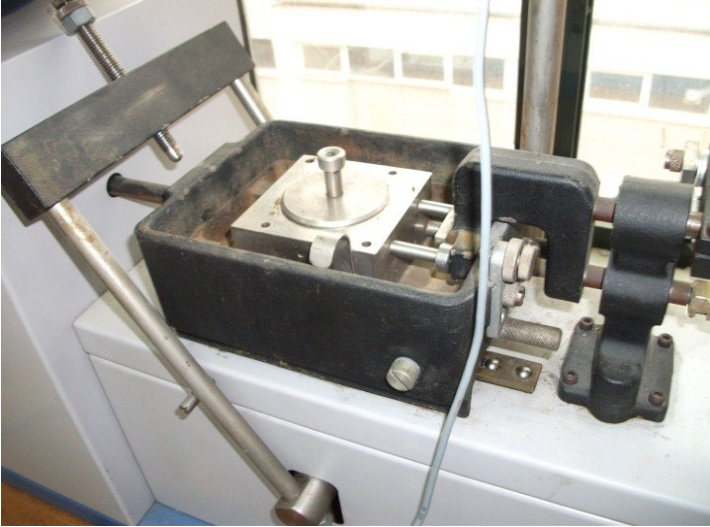
KTÜ hukuk fakültesi binasının arkasında bulunan dik kazılmış alandaki zeminin mekanik parametrelerinin belirlenmesi için kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Deneyden elde edilen veriler tablo 1’de paylaşılmıştır. Kesme kutusu deneyi ile ilgili resimler şekil 1, şekil 2 ve şekil 3’te verilmiştir.



*Şekil 1. Kesme kutusuna yerleştirilmiş numune*



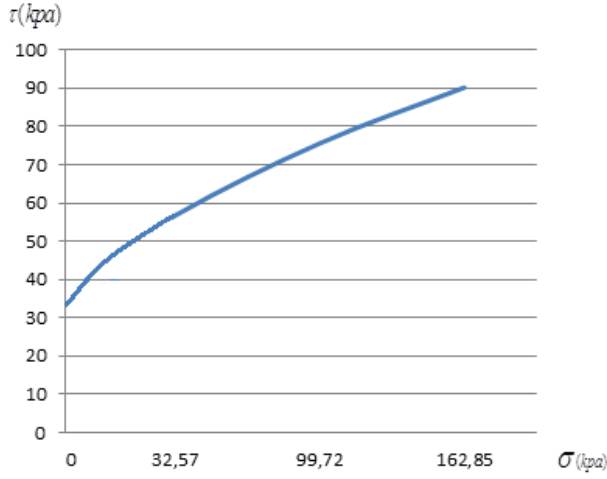
*Şekil 2. Kesme kutusunda kırılmış numune*



*Şekil 3. Kesme kutusu*

Def. (mm)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	Def. (mm)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)	$\tau$ (kPa)
0,3	5,2	8,1	11	12,9	5,4	31,2	47,2	67,3	75,6
0,6	8,3	13,2	20	21,0	6,0	32,4	49,3	69,2	78,4
1,2	11,4	23,3	32	36,8	6,8	32,1	52,1	70,8	82,3
1,8	14,6	27,4	43	45,2	7,6	30,6	54,0	73,4	85,7
2,4	17,5	35,8	56	58,1	8,4	28,5	56,2	75,3	87,5
3,0	22,1	38,7	56	62,4	9,2	26,2	53,1	74,1	89,2
3,6	25,0	41,2	63,3	65,1	10	24,0	51,7	71,3	87,8
4,2	27,2	42,7	64,9	68,0	11	23,8	50,2	69,5	84,9
4,8	28,9	44,6	66,6	71,2	$\tau_{pik}$ (kPa)	32,6	56,7	75,6	90,2

Tablo 1. Zemin numunesine ait deformasyon- kesme gerilmesi değerleri



Şekil 4. Zeminin duraylılık sınırındaki normal gerilme-kesme gerilme grafiği

Zeminin pik kohezyon ve içsel sürtünme açısı sırasıyla 39,25 kPa ve 16,5° değerlerindedir.





Şekil 5. KTÜ Hukuk Fakültesi arkasındaki toprak tabakasının görünümü.

Zeminin kendi ağırlığı dolayısı ile duraysızlık yaşayacağı çatlama yüksekliğinin belirlenmesi için doğal birim hacim ağırlık deneyleri yapılmış ve 19,129 kN/m<sup>3</sup> değeri bulunmuştur. Zeminin ağırlık parametresi olan birim hacim ağırlık değeri ve dayanımı belirleyen parametreler (içsel sürtünme açısı ve kohezyon) kullanılarak Mohr-yenilme zarfına göre zeminin yenilmeden durabileceği maksimum yüksekliği (h) Eşitlik 1’de gösterilmiştir (Uzuner, 2007).

$$h = \frac{2c \sqrt{1 + \sin \phi}}{\gamma \sqrt{1 - \sin \phi}} \quad (1)$$

$$\gamma = 19,129 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi = 16,5^\circ$$

$$c = 39,25 \text{ kPa}$$

Bu değerlere göre zeminin çatlama yüksekliği 5,46 metre olarak bulunmaktadır.

Dik kazılmış toprak örtü tabakası şekil 5’te görülmektedir. Toprak kalınlığının belli bir yükseklikten fazla olması risk oluşturmaktadır. Toprak tabakası kalınlığının 6 metre dolaylarında olduğu kısımda şekil 5’de görüldüğü gibi kaymalar gözlemlenmiştir. İncelenen kazı alanı altında herhangi bir duraysızlık nedeni ile zarar yaşanmaması için hukuk fakültesi binası arkasındaki alan insanların kullanıma yakın bir süre önce kapatılmıştır. Yaşanan ufak çaplı kaymalar zeminde gevşemeye yol açmış ve çevresel etkilere karşı direnç azalmıştır. Kayma olan yer örtü tabakasının en yüksek olduğu ve çatlama yüksekliğinin aşıldığı

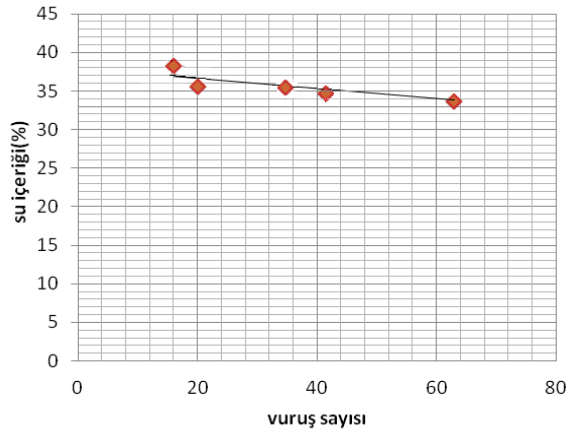
öngörülen kısımlardadır. Toprağın çevresel etkilere karşı olan direncini tartışmak amaçlı zeminin fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Bu anlamda bölgenin çok yağış alan bir bölge olmasından dolayı zeminin su muhtevası değişimi ile nasıl davranış göstereceğini incelemek için kıvam limitleri testleri yapılmıştır.

Zemin numunelerine uygulanan likit limit testlerinden elde edilen su muhtevası-vuruş sayısı değerleri Tablo 2’de verilmiştir:

Vuruş Sayısı	Su muhtevası (%)
63	33,60
42	34,57
35	35,09
20	35,63
16	38,16

Tablo 2. Zemin numunesinin vuruş sayısına göre % su içeriği değerleri.

Tablo 2’deki değerler kullanılarak oluşturulan şekil 6’daki dağılım grafiği çizilmiştir. Grafik kullanarak 25 vuruştaki su içeriğine tekabül eden likit limit değeri % 35,40 olarak bulunmuştur.



Şekil 6. Su içeriği - vuruş sayısı grafiği

Uzunluğu 8 santimetreyi geçmeyen ve 3 mm çapında çatlama başlangıçta başlayan, incelenen toprak malzemesi ile hazırlanan çubuk numunelere ait plastik limit deney verileri Tablo 3’te verilmiştir.



Yaş ağırlık	Kuru ağırlık	Su ağırlığı	Su muhtevası
3,23 gr.	2,58 gr.	0,65 gr.	% 25,19

Tablo 3. Plastik limit deney verileri

Bu değerlere göre zemin numunesinin plastik limit değeri %25,19 olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 2’de plastisite indisini veren bağıntı verilmiştir (Ertan ve Ülkü, 1978)

$$PI = LL - PL \quad (2)$$

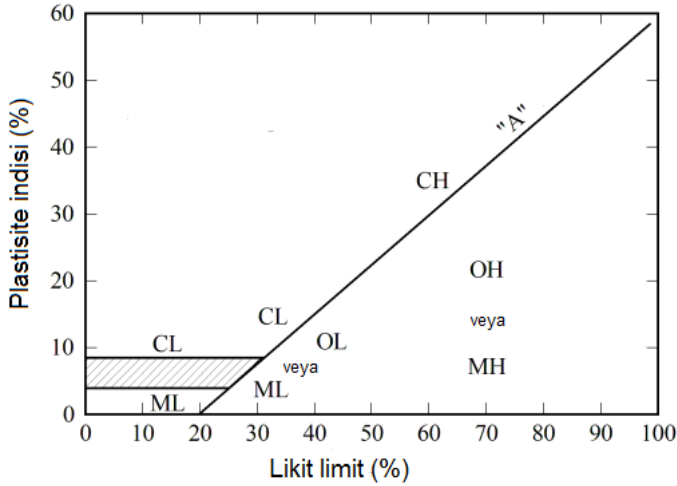
PI=Plastisite indisi

PL=Plastik limit

LL=Likit limit

Bu eşitlikten zeminin plastisite indisi %10,21 çıkmaktadır.

Likit limit ve plastisite indisi değerlerine göre zemin malzemesi Şekil 7’de gösterildiği üzere sınıflandırılmaktadır (Uzuner, 2007).



Şekil 7. Kasagrande Zemin sınıflama-Plastisite Kartı

CH: Yüksek Plastik Davranışlı Kil

CL: Düşük Plastik Davranışlı Kil

MH: Yüksek Plastik Davranışlı Silt

ML: Düşük Plastik Davranışlı Silt

OH: Yüksek Plastik Davranışlı Organik Toprak (Az Bulunur)

OL: Düşük Plastisiteli Organik Toprak

Yukarıda bulunan plastisite indisi ve likit limit değerlerine göre Şekil 7’de verilen plastisite kartına bakılarak zemin sınıflaması yapılabilir. Bu değerlere bakıldığında incelenen zeminin OL kodlamalı düşük plastik davranışlı organik toprak veya ML kodlu düşük plastik davranışlı silt olabileceği görülmektedir. Organik madde içeriği zeminin plastisitesini düşürür, çok nadir yüksek plastisiteli organik toprak bulunabilmektedir. Organik maddeler zemin malzemesinden hafiftir ve toprağın yoğunluğunu azaltır. Organik toprak bitkisel ve hayvansal organik atıkların humuslaşması ile oluşur. Organik topraklar, organik malzeme içeriğine göre mak (kütlege % 20 - 50 organik madde içeriği) ve pit (kütlege % 50 - 80 organik madde içeriği) olarak ikiye ayrılırlar. Genelde bataklıkların kuruması ile birikmiş organik maddelerin oluşturduğu topraklardır (Oğuz, 2008). Toprağın yerinde birim hacim ağırlığı değerinin  $19,129 \text{ kN/m}^3$  olarak belirlenmesinden dolayı incelediğimiz malzemenin organik toprak olmadığı yönünde değerlendirme yapılmıştır. Düşük plastisiteli malzemeler yüksek plastisiteli malzemelere göre daha kırılmandır. Plastisite yükseldikçe toprak malzemenin kırılmadan şekil alabilme özelliği artar. Plastik limit değeri altındaki toprak çatlaklar gösterme, ufalanma eğilimi göstermeye başlar (Demirel ve ark., 1991). Plastisite malzemenin belirli bir basınç altında kopmaya karşı olan direncini ifade eder. Düşük plastisiteli zeminler yüksek plastisiteli zeminlerin bir arada tutunduğu su içeriği değerlerinde ufalanırlar. Özellikle düşük plastisiteli siltler havada kurumuş haldeyken dirençleri çok düşer. Bu durumdan dolayı yaz aylarında su muhtevasının düştüğü günlerde risk oluşturabilecek çatlaklar oluşabilir. Plastik limit değeri altındaki zemin deformasyonlara pek müsaade edemez bir haldedir. Büzülme limiti altındaki zeminin ise su içeriğinde de malzeme dışarıdan bir gerilmeye maruz kalmaksızın çatlaklar gösterir (Demirel ve ark., 1991).

Bu tip dik kazılmış kalın toprak örtüleri çevresel etkiler neticesinde zamana bağlı olarak gevşeyecek ve mekanik parametrelerinde düşüş yaşanacaktır. Malzemenin plastisitesi arttıkça su içeriğindeki değişimden dolayı duraylılık daha az etkilenecektir. Yüksek plastisiteli zeminlerde malzemenin çatlama, dağılma veya akma göstermeyeceği su içeriği aralığı daha geniştir. Belirli bir orandan itibaren su içeriği yükseldikçe mekanik parametre değerlerinde düşüş yaşanacak ve likit limit değerinin üzerinde sıvılaşma yaşanacaktır. Diğer yandan, büzülme limiti altındaki su muhtevasında zemin dışarıdan bir yüke maruz kalmadan dahi kendiliğinden çatlama gösterme durumundadır. Plastik limitin altındaki toprak gerilmeler dolayısı ile plastik limitin üzerindeki toprağa göre daha az deformasyona müsaade edecek, çatlaklar gösterecektir. Dolayısı ile yazın buharlaşmaların artması sonucu istenmeyen kırılmalar, kaymalar gerçekleşebilir. Doğal yolla toprak taşınmasının, erozyonun önemli

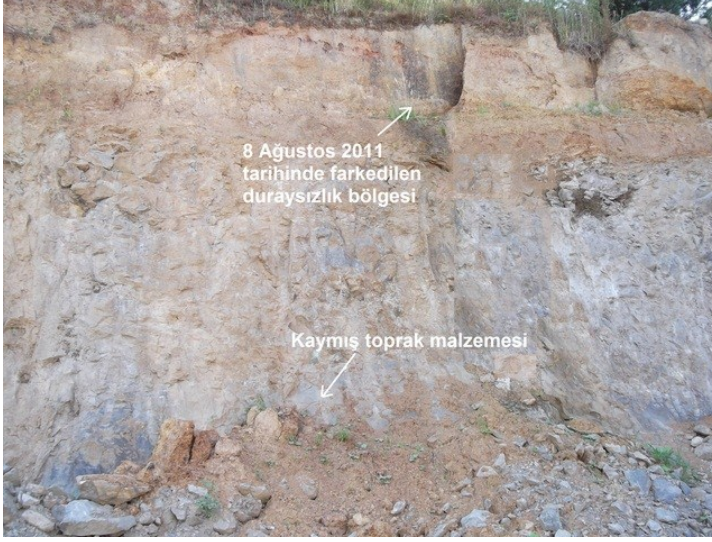
etkenlerinden biri zeminin su muhtevastındaki değişimdir. Bu anlamda hava sıcaklığı büyük role sahiptir. Haziran ayının gelmesi ile buharlaşma artmış ve KTÜ Hukuk Fakóltesi binası arkasındaki alanda Şekil 8’de görüldüğü gibi 10 Haziran 2011 tarihinde yeni bir kayma daha gerçekteşmiştir.



Şekil 8. 10 Haziran 2011 tarihinde yaşanan kayma

Kayan malzemenin atında insan olsaydı, olumsuz sonuçlar yaşanabilirdi. Hesaplanan çatlama yüksekliğinden daha kalın toprak kazısı yapılan ve kaymaların başladığı bu kazı alanını kendi haline bırakmak doğru olmayacaktır.

8 Ağustos günü de alanda yeni yaşanmış duraysızlıklar fark edildi. Hava sıcaklığının artması neticesinde daha önce duraysızlık yaşanan bölgede yeni kaymış toprak malzemesi görüldü ve bu bölgenin 20 metre yanında yeni duraysızlık yaşanan bir bölge fark edilmiştir. Mevsim dolayısı ile kurumuş olan toprakta yaşanan çatlamalar blok halinde kaymalara neden olabilmektedir. Şekil 9’da 8 Ağustos tarihinde kayma yaşanan yeni bölgenin resmi görülmektedir.



*Şekil 9. 8 Ağustos 2011 tarihinde yaşanan kayma*

Şekil 10'da Nisan ayında duraysızlığın başladığı alanda Ağustos ayında kopan yeni bloklardan birinin el ile rahatlıkla yeni parçalara bölünebildiği, düşük su muhtevassından dolayı çok sayıda çatlığa sahip olduğu, deformasyona müsaade edemeyen bir yapıda olduğu görülmektedir. Şekil 11'de elle rahatlıkla dağılabildiği, parçalanabildiği görülmektedir.



*Şekil 10. Ağustos ayında kayan toprak*





Şekil 11. Ağustos ayında kayan toprak

Bu alanda çelik hasır üzerine kalın olmayan bir püskürtme beton uygulaması zeminin çevresel etkilere karşı hassasiyetini azaltacak ve oluşabilecek olan yeni toprak kaymalarına engel olacaktır.

## 2.2 Yüzey Yükü Olan Dik Kazılmış Toprak Katmanının Duraylılığının İncelenmesi

Bina, otoyol gibi çeşitli yüzey yükleri zeminde oturmaları yol açarak mekanik parametreleri değiştirir. Bu anlamda zeminin konsolidasyon özellikleri önemlidir. İkinci inceleme alanımız olan, bir bina temeline teğet olarak kazılmış ve iki tarafından otoyol geçen Trabzon ili Pelitli mevkiinde bulunan başka bir tahkimatsız temel çukuru şekil 12’de görülmektedir. Binanın neden olduğu konsolidasyonun zemine etkilerini incelemek için ödometre deneyi yapılmıştır. Temel çukurunun diğer bir kenarından, üzerinde bir yapı, otoyol gibi yüzey yükü olmayan toprak alandan zemin numunesi alınmıştır. Numune konsolide edilmeden önce başlangıç boşluk oranı bilinmelidir. Bunun için numune hacmi, zeminin özgül ağırlığı ve kurutulmuş katı fazın ağırlığı bilindiği takdirde eşitlik 3’e göre boşluk oranı hesaplanabilir.

$$V_o = V_s(1+e) \quad (3)$$

$V_o$ : Boşluklu malzeme hacmi

$V_s$ : Katı fazın hacmi

$e$ : Boşluk oranı



*Şekil 12. Pelitli mevkiindeki temel çukuru*

Zemin numunesinden alınan örnek yoğunluk değerinin ölçülmesi için piknometre deneyine tabi tutuldu ve zemin malzemesinin özgül ağırlığı 2,51 olarak bulundu. Hacmi ve ağırlığı ölçülen numunenin birim hacim ağırlığının da 18,398 kN/m<sup>3</sup> olarak tespit edilmesi üzerine boşluk oranı tayini için kullandığımız 70,23 gramlık malzemenin hacmi 37,44 cm<sup>3</sup> olarak hesaplandı. Bu numunenin etüvden çıkarıldıktan sonraki ağırlığı 63,48 gr olarak ölçüldü ve özgül ağırlığı bilinen katı fazın hacmi 25,30 cm<sup>3</sup> olarak tespit edildi. Bu değerler ile eşitlik 3 kullanılarak numunenin başlangıç boşluk oranı % 48 olarak tespit edilmiştir. Eşitlik 4'teki boşluk oranı porozite bağıntısı kullanıldığında ise numunenin % 32 değerinde poroziteye sahip olduğu görülmektedir.

$$n = \frac{e}{e+1} \quad (4)$$

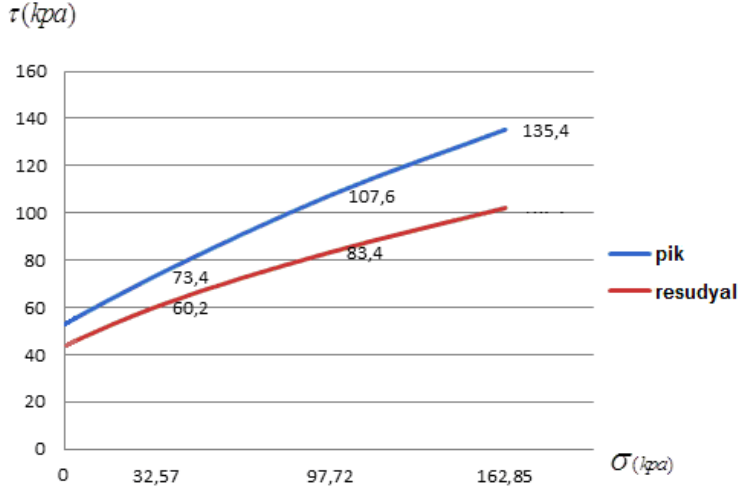
n: porozite (%)

Başlangıç boşluk oranı değeri ödometre testi kısmında kullanılmıştır. Konsolidasyonun mekanik parametreler üzerindeki iyileştirmesini görebilmek adına konsolide olmamış olan zeminin mekanik parametrelerinin belirlenmesi için kesme kutusu deneyi yapılmış, ele edilen pik ve resudyal kesme gerilmesi-normal gerilme değerleri Tablo 4'de verilmiştir:



	$\sigma=0$ kPa	$\sigma=32,57$ kPa	$\sigma=97,72$ kPa	$\sigma=162,85$ kPa
$\tau_{\text{pik}}$ (kPa)	52,67	73,45	107,6	135,4
$\tau_{\text{resudyal}}$ (kPa)	41,3	60,2	83,4	-

Tablo 4. Kesme kutusu deneyi sonucu



Şekil 13. Pelitli mevkiinden alınan numuneye ait duraylılık zarfı.

C pik	56,38 kPa
C resudiyal	48,60 kPa
$\phi$ pik	26,57°
$\phi$ resudiyal	18,43°

Tablo 5. Pik ve resudiyal değerler için okunan kohezyon ve içsel sürtünme açılışı değerleri.

Mohr duraylılık zarfından türetilen Rankine Teoremi'ne göre, aktif gerilme durumunda malzemenin kırılma anında majör ve minör asal gerilmeler arasındaki bağıntı aşağıdadır:

$$\sigma_h = \frac{\sigma_v - 2c\sqrt{N\phi}}{N\phi} \quad (5)$$

$\sigma_v$ =düşey gerilme

$\sigma_h$ =yatay gerilme

$$N_\phi = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (6)$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot h \quad (7)$$

Yatay gerilme değeri herhangi bir tahkimat sistemi uygulanmadığı için sıfır olarak alınmaktadır. Bu durumda malzemenin duraylı halde kalabileceği düşey gerilmeyi belirleyen h yüksekliği eşitlik 1’de verilmiştir:

$$h = \frac{2c \sqrt{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}}}{\gamma} \quad (1)$$

Yukarıdaki eşitlik 1’de kullanılan değerler:

$\gamma$ =Birim hacim ağırlığı: 18,398 kN/m<sup>3</sup>

$\phi$ =İçsel sürtünme açısı: 26,57°

c =Kohezyon: 56,38 kPa

(Malzemenin ilk kırılma anında pik içsel sürtünme açısı ve pik kohezyon değerleri alınmalıdır).

h=9,86 metre olarak belirlenir.

Toprağın kendi ağırlığı altında duraylılığını koruması için ne değerinde bir yanal tahkimat basıncı gerekeceği eşitlik 5 kullanılarak bulunabilir. Değer negatif çıkıyor ise tahkimat basıncına gerek yoktur. Zeminin kendi ağırlığı altında, yüzey yüklemeleri olmadığı takdirde teorik olarak 9,86 metre derinlikten sonra tahkimat basıncı gerekecektir. 3,5 metre kalınlığındaki zeminin kendi ağırlığı altında duraysızlık yaşamaması için yanal bir tahkimat basıncına gerek yoktur. 3,5 metre kalınlığındaki toprak tabakası için eşitlik 1’den çıkacak olan yanal gerilme değerleri negatif çıkacağı için temel çukurundaki malzemenin duraysızlık yaşamaması için yanal bir dış basınca ihtiyacı olmayacaktır ve bu yüzden zeminin kendi ağırlığı altında duraylılığını koruması söz konusudur. Ancak incelenen temel çukuru için yüzey yükleri dikkate alınmalıdır. Yüzey yüklemelerinin duraylılık üzerindeki etkileri sıradaki kısımda trafikten kaynaklı, otoyoldan kaynaklı ve binalardan kaynaklı gerilme artışları olmak üzere 3 başlık altında incelenmiştir.

### 2.2.1 Trafikten Kaynaklanan Gerilme Artışları

Trafikten kaynaklı gerilme artışlarına bir örnek olarak temel çukuru yanından geçen şekil 14’de yer alan, katalog rakamlarına bakıldığında yüksüz ağırlığının 2,25 ton olduğu görülen kamyonetin yüklü ve yaklaşık 3 ton olduğu varsayılarak zeminde neden olduğu gerilme dağılımları incelenmiştir. Zemine, hareket eden kamyonetin sağ ve sol taraftaki tekerlerinden iki adet çizgisel yüzey yükü etkimektedir. 3 tonluk aracın ağırlık merkezinin ortada olduğu

düşünülerek sağ ve sol tekerlerinden 1,5 tonluk kütleler etkidiği varsayılmıştır. Her bir tekerleğin zeminle temas eden alanı bulunarak çizgisel yüzey gerilmesinin miktarı bulunabilir. Yüzeyle etkiyen çizgisel yük bilindikten sonra incelenecek konumdaki düşey gerilme artışı eşitlik 8’de gösterildiği gibi Boussinesq’in bağıntısına göre hesaplanabilir (Uzuner, 2007).

$$\Delta\sigma_v = \frac{2qz^3}{\pi(x^2 + z^2)^2} \quad (8)$$

q: Yüzey yükü (kPa)

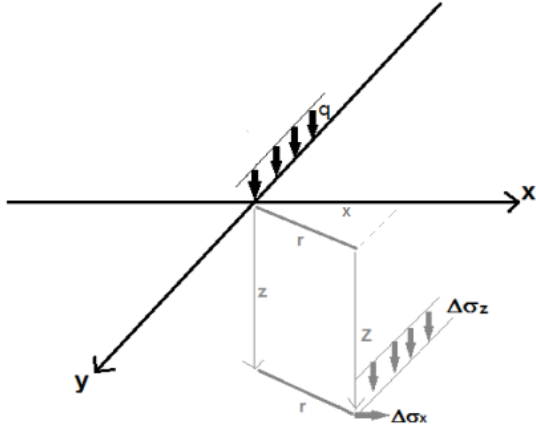
z: Düşey mesafe (metre)

x: Yatay mesafe (metre)

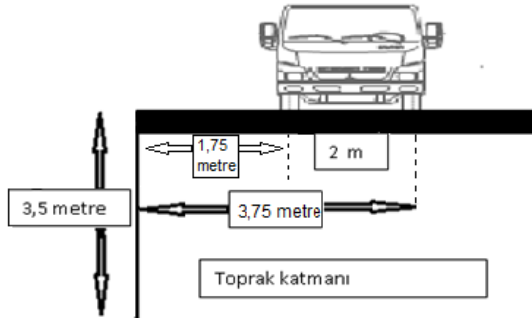


Şekil 14. Temel çukuru yanından geçen kamyonet

Her bir teker çiftinden gelen yükü 15 kN değerindedir. Tekerlerin kalınlığını 30 santimetre ve temas eden alanın eni 17 santimetre olarak alınabileceği park halindeki aynı, başka araç incelenerek değerlendirilmiştir. Buna göre tekerleğin zeminle temas eden alanı 0,051 m<sup>2</sup> değerinde kabul edilmiştir. İki tekerin sağladığı çizgisel yüzey yükü de 147,06 kPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 15. Çizgisel yük



Şekil 16. Yoldan geçen kamyonet

Şekil 16’da görüldüğü gibi iki metre genişliğindeki aracın temel çukuruna 1,75 metre mesafeden geçtiğini varsaydığımızda çizgisel yüklerin temel çukuruna olan yatay mesafeleri 1,75 metre ve 3,75 metre olarak alınır ve incelenen bir konumdaki gerilme artışının bulunması için iki yatay mesafedeki yüzey yüklerinin neden olduğu gerilme artışı toplanır. Örneğin temel çukurunun 0,5 metre derinliğinde kamyonet geçerken yaşanan düşey gerilme artışı aşağıda hesaplanmıştır:

$z = 0,5\text{metre}$  ve  $x = 1,75\text{ metre}$  için(sağ tekerler için);

$$\Delta\sigma_v = \frac{2.147,06(kPa).0,5(m)^3}{\pi(1,75m^2 + 0,5m^2)^2} = 1,067\text{ kPa}$$

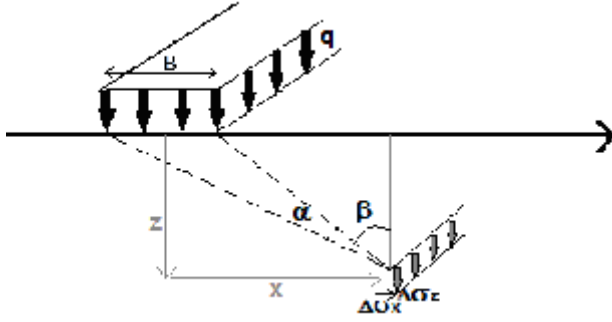
$z = 0,5\text{metre}$  ve  $x = 3,75\text{ metre}$  için(sol tekerler için);

$$\Delta\sigma_v = \frac{2.147,06(kPa).(0,5m)^3}{\pi(3,75m^2 + 0,5m^2)^2} = 0,057\text{ kPa}$$

0,5 metre derinlikte temel çukuru cidarında oluşan gerilme artışı 1,124 kPa (0,057 kPa+1,067 kPa) değerindedir. Derinliğe bağlı olarak kamyonetin (trafikten kaynaklı) temel çukurunda neden olduğu gerilme artışları Tablo 6’da verilmiştir.

### 2.2.2 Otoyolun Ağırlığından Kaynaklı Zeminde Yaşanan Gerilme Artışları

Otoyollar zemin üzerinde şeritsel yüzey yükü olarak etkiler ve konuma bağlı olarak zeminde eşitlik 9’da verildiği gibi gerilme artışına sebep olurlar (Uzuner, 2011). Eşitlik 9’da kullanılan parametrelerin şematik gösterimi Şekil 17’de verilmiştir.



Şekil 17. Uygulanan şerit yükün zemine etkisi

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} [\alpha + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + 2\beta)] \quad (9)$$

Otoyol malzemesinin yoğunluğu 2,4 ton/m<sup>3</sup> olarak alınarak birim hacim ağırlığı 23,544 kN/m<sup>3</sup> bulundu. 25 santimetre olan yol malzemesinin yüksekliği birim hacim ağırlığı ile çarpılarak şeritsel yüzey yükü 5,86 kPa olarak hesaplanmıştır. Temel çukurunda derinliğe bağlı olarak otoyolun ağırlığından kaynaklı eşitlik 9’a göre hesaplanan düşey gerilme artışları Tablo 6’da verilmiştir:

Derinlik/ (m)	Zeminden kaynaklı $\sigma_z$ (kPa)	Yoldan kaynaklı $\Delta\sigma_z$ (kPa)	Kamyonet kaynaklı $\Delta\sigma_z$ (kPa)	$\sum\sigma_z$ (kPa)
0,5	9,199	2,775	1,124	13,098
1	18,398	2,612	6,083	27,093
1,5	27,597	2,45	12,377	42,424
2	36,796	2,30	19,606	58,702
2,5	45,995	2,16	20,412	68,567
3	55,194	2,02	22,124	79,338
3,5	64,393	1,89	22,917	89,2

Tablo 6. Otoyol tarafındaki temel çukurundaki zemin üzerindeki düşey gerilme artışları.

Yukarıdaki tablodaki sonuçlardan yola çıkarak, otoyoldan ve kamyonetden kaynaklı gerilme artışları ve toplam düşey gerilme değerlerine bağlı olarak zemin malzemesinin düşey gerilmeleri yanal olarak iletme karakterizasyonu ile alakalı pasif itki katsayısına ( $K_p=N\phi$ ) bağlı olarak zemine yanal tahkimat basıncı sağlayacak olan bir dayanım duvarının gerekliliği incelenmiştir (Hoek, 2006):

$$\sigma_1 = \sigma_{cm} + k_p \sigma_3 \quad (10)$$

$\sigma_{cm}$  = Kayacın tek eksenli dayanımı (MPa)

$\sigma_1$  = Birincil (Majör) asal gerilme (MPa)

$\sigma_3$  = Minör asal gerilme (MPa)

$k_p=N\phi$  = Yanal pasif itki katsayısı

Düşey gerilme majör asal gerilme ( $\sigma_1=\sigma_v$ )

Yatay gerilme minör asal gerilme ( $\sigma_3=\sigma_h$ )

Zeminin kendi ağırlığı ve yaşanan gerilme artışları göz önünde bulundurularak Eşitlik 5'e göre farklı derinliklere göre çıkan yanal gerilme değerleri Tablo 7'de verilmiştir:

$$\sigma_h = \frac{\gamma \cdot h + \Delta\sigma_z - 2c\sqrt{N\phi}}{N\phi} \quad (5)$$



Derinlik (m)	$\sigma_h$ (kPa)
0,5	-64,95
1	-59,13
1,5	-53,17
2	-46,86
2,5	-42,04
3	-41,07
3,5	-37,87

Tablo 7. İncelenen yüzey yükleri altında duraysızlık yaşanmaması için gerekli minimum yanal gerilme

İncelenen durumda değerler negatif çıktığı için tahkimata gerek olmadığı anlaşılmaktadır. Kamyonetin yoldan geçişi dayanım duvarı olmayan bu temel çukurunda bir duraysızlık problemine neden olmamıştır. Yoldan geçen kamyonetin 5,3 kat ve daha fazla yüzey yüklemesine sahip olması durumunda, çıkan pozitif sonuçlardan görüldüğü üzere duraysızlık yaşanacağı öngörülür. Örneğin, kamyonetin neden olduğu yüzey yükü 5,5 kat daha fazla olsaydı eşitlik 5'e göre 3,5 metre derinlikte sonuç 2,109 kPa çıkmaktadır. Bu, 3,5 metre derinlikte zemine doğru 2,109 kPa değerinde bir yanal tahkimat basıncı sağlanması gerektiği anlamına gelmektedir. Ayrıca zeminin içerisinde farklı konumlarda çukur cidarına nazaran yaşanan daha fazla gerilme artışları sonucunda yüzey yükünün artması ile kayma yüzeyi oluşumunu başlatabilecek kırılmalar yaşanabilir. Yüzeyden etkiyen gerilme toprağın basma dayanımı değerinden küçüktür. Zemin malzemesinin basma dayanımı eşitlik 1'e göre 181,4 kPa olarak hesaplanmaktadır. Yüzeyden uygulanan çizgisel yük bu değerden büyük olursa tekerlerin altında kırılma gerçekleşir ve yüzey yükünün büyüklüğüne bağlı olarak belirli bir derinliğe kadar kırılmalar devam eder. Derinlik arttıkça yüzey yükünden kaynaklı gerilme değişimlerinin azalacağından dolayı gerilmelerin malzemenin dayanım değerine düştüğü derinliğe kadar kırılma devam eder. Yüzey yükünün büyüklüğüne bağlı olarak kırılmaların fazla ilerlemesi sonucu bir kayma yüzeyi oluşabilir. Dolayısı ile zemine yanal basınç sağlayarak dayanımı artırması ve zeminde kırılmalar olsa da bir kayma yüzeyinin oluşmaması açısından bu tip otoyol kenarlarındaki temel çukurlarında tahkimat kullanılması gerekmektedir. Özellikle ağır vasıtaların geçtiği, kalın toprak tabakaları içinde dik olarak yapılan bu tip temel çukurları için zaruridir. Daha önce de değinildiği gibi alternatif yollar var ise ağır vasıtalara trafiğin kapatılması ikinci bir seçenektir.

### 2.2.3 Binadan Kaynaklı Yaşanan Zemindeki Gerilme Artışları

Bir zemine dışarıdan yükleme yapıldığında zeminin mekanik özelliklerinde değişimler olacaktır. Bunların başında gelen neden zeminin yapacağı oturma ve boşluk oranındaki azalmadır. Otoyolun altındaki zeminin konsolidasyonu ihmal edilerek hesaplamalar yapılmıştı ancak bu alt başlık altında binadan kaynaklı zeminde yaşanan konsolidasyon dikkate alınacaktır. Temel çukurunun binanın temeline teğet kazılan kenarındaki zeminin konsolidasyon sebebi ile mekanik parametrelerindeki değişimi incelemek için ödometre deneyi yapılmıştır.

Eşitlik 11 kullanılarak oturma ( $\Delta H$ ) değerine bağlı olarak zeminin boşluk oranındaki değişim hesaplanabilir (Uzuner, 2007).

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{-\Delta e}{1 + e_0} \quad (11)$$

$e_0$  =Başlangıç boşluk oranı (%)  
 $\Delta e$ =Boşluk oranındaki değişim (%)  
 $H$  =Zemin malzemesinin yüksekliği (mm)  
 $\Delta H$ : Zemideki oturma (mm)

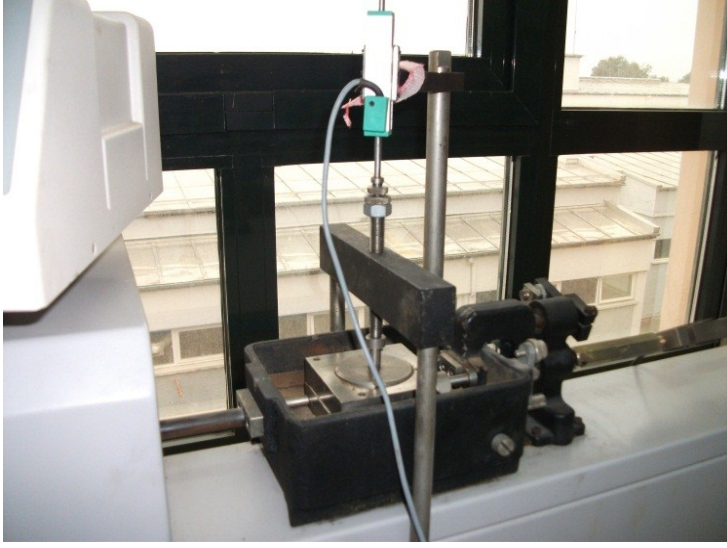
$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{\sigma_1}{\sigma_2}} \quad (12)$$

$C$  = Sıkışma indisi  
 $C_c$ = Birincil sıkışma indisi  
 $C_r$ = İkincil sıkışma indisi

Başlangıç boşluk oranı ( $e_0$ ) daha önce deneysel verilere değinerek eşitlik 3'e göre % 48 olarak bulunmuştu, dolayısı ile porozite değeri de eşitlik 4'e göre % 32 olan zeminin konsolidasyonda bırakma süresine karar verirken malzemenin ağırlıklı silt tane boyuna sahip olan bir malzeme olması göz önünde bulundurulmuş ve yapılan ön deneysel çalışmalarda % 90 oturmayı 8 saatlik süreçte tamamladığı tespit edilmiştir. Amerikan standartlarına göre önerilen yöntem zemin numunesini en az % 90 oranında boşluk oranındaki azalma süresi kadar bekletmektir. Genelde killi zeminler için 24 saat önerilen sabit gerilme altında konsolidasyon süresi incelenen silt malzemesi için 12 saat olarak belirlendi. Farklı yükler altındaki zeminin oturma miktarları konsolidasyon deneyi ile ölçülmüştür. Numunede gözlenen oturma değerleri Tablo 8'de verilmiştir:

Normal gerilme $\sigma$	65,14 kPa	130,18 KPa	195,42 kPa	260,36 kPa
oturma $\Delta H(\text{mm})$	1,148	0,932	0,877	2,582

Tablo 8. 20 mm yüksekliğinde zemin numunesinin de normal yüklemelerle meydana gelen oturma miktarı.



Şekil 14. Numunenin oturma miktarının LVDT ile ölçülmesi



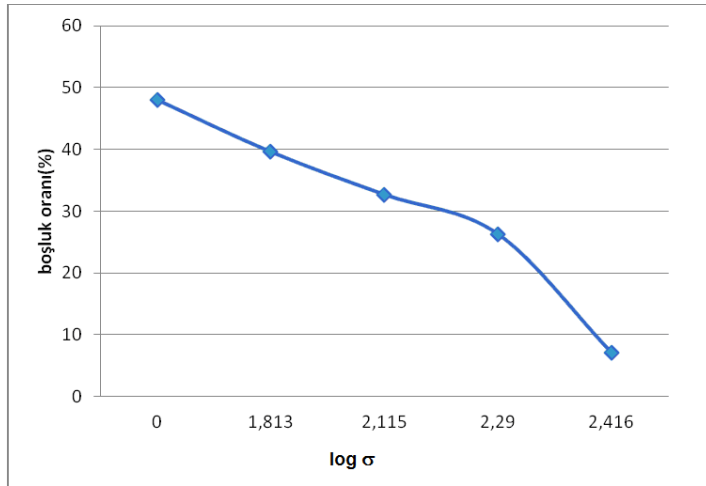
Şekil 15. Numunenin oturma miktarının LVDT ile ölçülmesi

Tablo 8'deki değerler kullanılarak başlangıç yüksekliği 20 milimetre olan numunenin eşitlik 11'e göre hesaplanan boşluk oranındaki azalma değerleri Tablo 9'da verilmiştir:

$\sigma$ (kPa)	$\text{Log}(\sigma)$ kPa	$\Delta e$
65,14	1,813	0,084
130,18	2,115	0,069
195,42	2,290	0,064
260,36	2,416	0,192

Tablo 9. Zeminin boşluk oranının değişimi

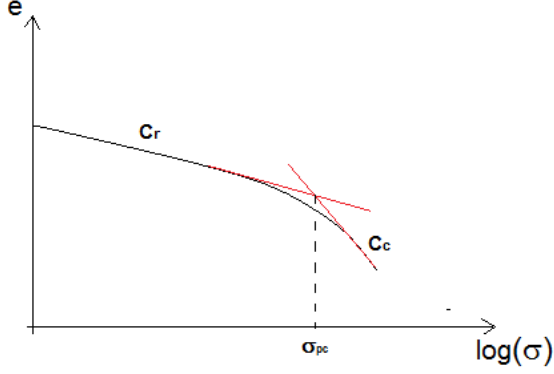
Zemin numunesinin son durumdaki boşluk oranı azalarak % 7,1 olmuştur. Uygulanan gerilme miktarına bağlı olarak numunedeki boşluk oranı değişimi grafiği şekil 16’da görülmektedir.



Şekil 16. Konsolidasyon deney sonucu zeminin boşluk oranındaki değişim.

Bu grafiğin eğimine bağlı olarak eşitlik 12 kullanılarak sıkışma indisi değerleri bulunabilir. Malzemenin belirli bir noktadan sonra grafikte daha fazla eğim gösterdiği görülmektedir. Bu durumda numune için ön konsolidasyon limit gerilme değeri aşılmıştır. Zemin daha öncesinde çeşitli jeolojik doğal nedenler dolayısı ile konsolide olduğu için ön konsolidasyon basıncına kadar gerilme artışı-boşluk oranı değişimi grafiğindeki eğim yani sıkışma indisi daha düşük çıkmaktadır. Teorik olarak zeminin daha önce maruz kaldığı maksimum gerilme ön konsolidasyon gerilmesidir. Ön konsolidasyon gerilmesi aşıldıktan sonra zeminin boşluk oranında daha hızlı azalma yaşanacak, eğim artacak ve sıkışma indisi bu gerilme şartları altında artacaktır. Dolayısı ile sıkışma indisi (C) birincil (Cc) ve ikincil (Cr) sıkışma indisi şeklinde iki başlık altında incelenmektedir. Eğer ön konsolidasyon basıncı aşılmamışsa

ikincil, aşılışsa birincil sıkışma indisi esas alınmalıdır. İncelediğimiz Trabzon Pelitli mevkiindeki 4 katlı binadan zemine gelen gerilmelerin 100 kPa dolaylarında olduğu kabul edildiğinde ön konsolidasyon gerilmesinin yarısı dolaylarında bir gerilme temel altındaki zeminde konsolidasyona neden olmaktadır. Bu yüzen katsayı olarak ikincil sıkışma indisi baz alınmalıdır.



Şekil 17. Gerilme artışına bağlı olarak boşluk oranında azalma grafiği ve sıkışma indislerinin gösterimi

Cr: İkincil sıkışma indisi  
Cc: Birincil sıkışma indisi  
 $\sigma_{pc}$ : Ön konsolidasyon basıncı

Birincil ve ikincil sıkışma indislerini veren eğimli doğruların kesiştiği noktanın x eksenini kestiği değer ön konsolidasyon gerilmesi olarak kabul edilir. Ve teorik olarak zeminin geçmişte kaldığı maksimum gerilme miktarı olarak kabul edilir (Solanki ve Desai, 2008). Laboratuvar çalışmasından elde edilen verilere göre Cr (ikincil sıkışma indisi) eşitlik 12'ye göre 0,28 olarak bulunmuştur:

$C_v$  ( $m^2 / sn$ ) konsolidasyon katsayısı olup, aynı zemin için laboratuvar koşullarında ve arazi şartlarında aynıdır.  $T_v$  ise konsolidasyon katsayısına bağlı olarak değişim gösteren birimsiz zaman faktörüdür (Atkinson, 2000).

$$T_v = \frac{C_v \cdot t}{H^2} \quad (13)$$

$$T_v = f(u)$$

$$\frac{C_v \cdot t_1}{H_1^2} = \frac{C_v \cdot t_2}{H_2^2}$$

$t_1$  = Laboratuvarda geçen zaman

H1= Laboratuardaki numune yüksekliği  
t2 = Arazi koşullarındaki zaman.  
H2= Arazideki toprak katmanı derinliği

(H1:0,02 metre, t1:12 saat, H2:2 metre)

Toprak tabakasının iki yüzü geçirimli ise arazi toprak katmanı derinliği (H<sub>2</sub>) tabaka kalınlığının yarısı kadar alınır, örneğin yüzeydeki bir toprak tabakasının altında başka bir tür toprak tabakasının olması bu duruma örnek verilebilir. Toprak tabakasının bir yüzü drenajlı ise H değeri toprak tabakasının yüksekliği olarak alınır. İncelenen alanda toprak tabakası altında kaya tabakası olduğu için ve bina altındaki kaya içerisinden aynada herhangi bir su geliri görünmediği için teorik olarak H değeri katman kalınlığı olarak alınmıştır.

Konsolidasyon katsayısı zemin malzemesine bağlı bir özellik olduğu için aynı zeminde teorik olarak laboratuvar koşullarında ve arazi koşullarında aynı olacaktır. Bu konuda en önemli durum numuneyi doğru almak ve arazideki boşluk oranını bozmadan teste taabi tutmaktır. Laboratuvardaki numunenin 12 saat sonra geldiği oturma/nihai oturma oranına (u) eşitlik 13 kullanılarak, arazideki toprak tabakasının 13,69 yılda geldiği görülmektedir.

Zemin üzerinde bulunan bina 6 yaşındadır ve yine eşitlik 13 kullanılarak arazide 6 yıldaki oturmanın laboratuvarında 5,256 saatte gerçekleştiği bulunur.

Bina temelinden aktarılan gerilmeler zeminin farklı konumlarında farklı miktarlarda gerilme artışına sebep olurlar. Aşağıdaki eşitlik 14 dikdörtgen bir yüzey yükünün köşeleri altında derinliğe bağlı olarak ne kadar gerilme artışı yaşandığını veren bağıntıdır (Uzuner, 2007).

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{4\pi} \left[ \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2.n^2 + 1} \left( \frac{m^2 + n^2 + 2}{m^2 + n^2 + 1} \right) + \tan^{-1} \frac{2mn\sqrt{m^2 + n^2 + 1}}{m^2 + n^2 - m^2.n^2 + 1} \right] = s.q \quad (14)$$

m= dikdörtgenin bir kenar uzunluğunun incelenen derinliğe oranı

n = dikdörtgenin diğer kenar uzunluğunun incelenen derinliğe oranı

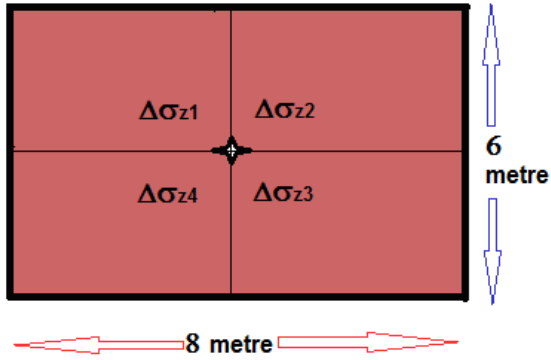
İncelenen bina Şekil 18 ve Şekil 19'da görüldüğü gibi bir kenarı 8 diğer kenarı 6 metre olan küçük bir yapıdır.





Şekil 18. Temeline teğet kazı yapılmış bina

Temel içinde kalan bir noktadaki gerilme artışını bulmak için istenilen noktadan geçecek şekilde temeli dörtgenlere bölüp bölümlerin köşelerindeki gerilme artışları hesaplanır ve toplanır (Uzuner, 2007). Örneğin şekil 19’da temelin orta noktasındaki gerilme artışını bulmak için temelin 4 eşit bölgeye ayrıldığı görülmektedir.



Şekil 19. Bina temelinin orta noktasında köşeleri kesişen 4 bölümünün ayrılması

İncelediğimiz bina temeli için her bir bölüm için m değeri 4, n değeri 3 olmaktadır. Bu değerler için s 0,245 değerini almaktadır. Her bir bölümden gelen yük genel yükün dörtte biri kadardır. Bir bölümün incelenen konum üzerindeki neden olduğu gerilme artışı 6,125 kPa olarak bulunmaktadır:

$$\Delta\sigma_{z1} = \frac{100kpa}{4} \cdot 0,245 = 6,125 kPa \quad \Delta\sigma_{z1} = \Delta\sigma_{z2} = \Delta\sigma_{z3} = \Delta\sigma_{z4}$$

$$\Sigma\Delta\sigma = 24,5 kPa$$

Yüzey yükünün etkisi aynı nokta altında derinlere indikçe azalacaktır. Zemin yüzey yükünü derinliklerine aynen aktarmaz. Görüldüğü gibi 100 kPa değerinde yüzey yükünün ,temelin orta noktasından 1 metre derinlikte 24,5 kPa olarak etkidiği hesaplanmıştır. Yüklenmelere bağlı olarak meydana gelecek nihai ( $t=\infty$ ) oturma miktarı eşitlik 15'te görüldüğü gibi hesaplanır (Arslan, 2007). Sıkışma indisi olarak  $C_r$  veya  $C_c$  alınır. Zemine etkileyen gerilme ön konsolidasyon gerilmesini geçmiş ise birincil konsolidasyon sıkışma indisi olan  $C_c$ , ön konsolidasyon gerilme miktarından küçük bir gerilme etkiyorsa ise ikincil sıkışma indisi  $C_r$  kullanılır.

$$\Delta H_{\infty} = \frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{H}{1+e_0} C_c \log \frac{\sigma_1 + \Delta\sigma}{\sigma_1} \quad (15)$$

$\sigma_2$ , yüzey yüklemesinden kaynaklanan gerilme artışı ve zeminin kendi ağırlığından kaynaklı gerilmelerin toplamına eşittir,  $\sigma_1$  ise yüzey yükü olmadan önce zeminin kendi ağırlığından kaynaklı gerilmedir.

Toprak 2 metrelik bir toprak tabakasına oturan bina temelinin orta noktasının 1 metre altındaki nihai oturma miktarı hesaplanması için etkileyen gerilmeler aşağıda hesaplanmıştır:

$$\sigma_2 = \Delta\sigma + \gamma \cdot z = \Delta\sigma + \sigma_1 = 24,5 \text{ kPa} + 18,398 \text{ kPa} = 42,898 \text{ kPa}$$

$$C_r = 0,28$$

$$\Delta H_{\infty} = 0,089 \text{ metre}$$

$$\Delta H_{\infty} = m_v \cdot h \cdot \Delta\sigma \quad (16)$$

eşitliğinden hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ ) değeri elde edilir (Sivakugan, 2001).

$$\Delta\sigma = 24,5 \text{ kPa}, H = 2 \text{ metre}, \Delta H_{\infty} = 0,089 \text{ metre}$$

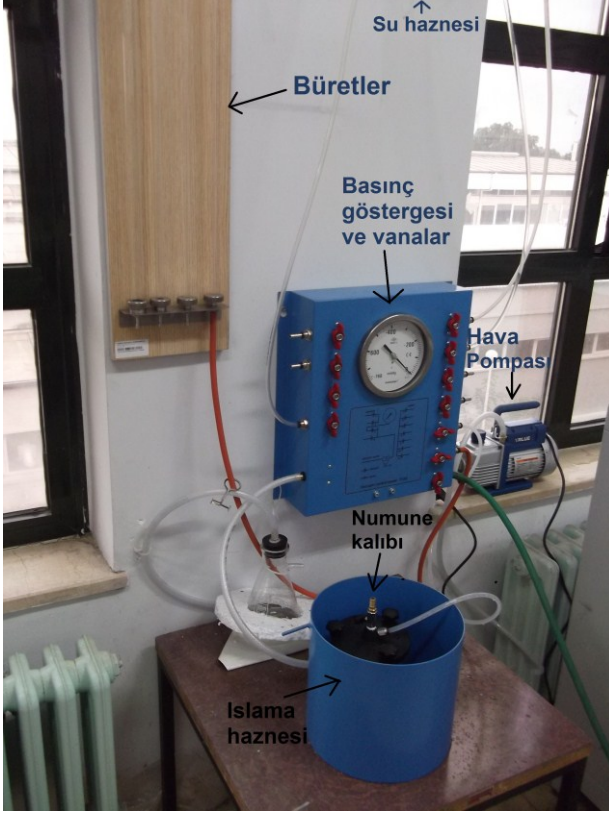
$$m_v = 0,00284 \text{ m}^2/\text{kN}$$

$$C_v = \frac{k}{m_v \cdot \gamma_{su}} \quad (17)$$

$k$  = permabilite katsayısı (metre/saniye)

$C_v$  zeminin konsolidasyon katsayısıdır, eşitlik 17'de görüldüğü gibi hesaplanır (Atkinson, 2000). Konsolidasyon katsayısı bulunduğu takdirde eşitlik 13'te görüldüğü gibi zaman faktörü bulunur ve zaman faktörüne bağlı olarak eşitlik 19 ve eşitlik 20'de görüldüğü gibi varolan oturma miktarının nihai oturmaya olan oranını yani zeminin oturmasının ne kadarını tamamladığını bulabiliriz (Uzuner, 2007). Öncelikle konsolidasyon katsayısının bulunması için gerekli olan

permabilite katsayısına ulaşmak nedeniyle zeminin geçirimliliği incelenmiştir. Bunun için düşen seviyeli permabilite testi yapılmıştır. Permabilite katsayısı eşitlik 18'e göre hesaplanmaktadır.



Şekil 20. Düşen seviyeli permabilite düzeneği

$$k = \frac{a.L}{A.\Delta T} \cdot \ln \frac{H_0}{H_1} \quad (18)$$

k= Permabilite katsayısı (m/sn)

a= Büret alanı (m<sup>2</sup>)

A= Numune kalıbının alanı (m<sup>2</sup>)

L= Numune yüksekliği (m)

H<sub>0</sub>= Büret içindeki suyun başlangıç yüksekliği (m)

H<sub>1</sub>= İncelenen zamanda ölçülen büret içindeki suyun yüksekliği (m)

ΔT= Büretteki seviyesi düşen suyun doymuş numune içerisinde geçme zamanı (dakika)

Düşen seviyeli permabilite deneyi için doymuş numune hazırlanmıştır. Numune hazırlanması hakkında detaylı bilgi deneysel çalışmalar hakkında ek bilgiler kısmında 3.bölümde verilmiştir. Büret alanı (a) 2,3 x 10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>, numune alanı (A) 7,85 x 10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup> ve numune yüksekliği (L) 0,14 metredir. Zamana bağlı yaşanan büretteki su seviyesi düşüşü değerleri ve

hesaplanan permabilite katsayısı değerleri Tablo 10'da verilmiştir.

T (dakika)	H0 (m)	H1 (m)	K (10 <sup>-6</sup> m/sn)
1	1,125	1,117	4,9
2	1,117	1,108	5,5
4	1,108	1,094	4,4
15	1,094	1,015	4,7
30	1,015	0,922	4,4
60	0,922	0,736	5,1

Tablo 10. Düşen seviyeli permabilite deney verileri

Ölçülen hidrolik geçirimsizliği katsayılarının ortalamaları alınarak Permabilite katsayısının 4,8 x 10<sup>-6</sup> m/sn olarak tespit edilmesi üzerine eşitlik 17 kullanılarak konsolidasyon katsayısı (cv) 1,7 x 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/sn. olarak hesaplanmıştır.

$$Tv = \frac{Cv \cdot t}{H^2} \quad (13)$$

$$t = 6 \text{ yıl}$$

$$H = 2 \text{ metre}$$

$$Tv = 1340,3$$

$$Tv = f(u)$$

$$u = \sqrt{\frac{4Tv}{\pi}} \quad , \quad Tv < 0,2 \quad (19)$$

$$u = 1 - \frac{8}{\pi^2} e^{-\pi^2 \cdot Tv/4} \quad , \quad Tv \geq 0,2 \quad (20)$$

Eşitlik 19 kullanılarak istenilen u değeri bulunur. Eşitlik 19'daki e boşluk oranı değil logaritmik doğal tabandır. Zaman faktörü (Tv) değerinin büyük çıkması oturmanın çok büyük bir kısmının tamamlandığını göstermektedir.

İncelenen konumda 24,5 kPa gibi çok fazla olmayan bir gerilme artışı olmasından dolayı oturma çok uzun sürmemiştir. Teorik olarak oturmanın tamamen sona ermesi için u değerinin 1 olması gerekir ve bunun için zaman faktörünün sonsuz olması gerekir. Dolayısı ile oturmanın teorik olarak sonsuza kadar devam ettiği varsayılır. Pratik olarak incelediğimiz

alanla ilgili  $u$  değeri 1 alınabilir ( $u=0,9994$ ) ve dolayısı ile incelenen zamandaki oturma miktarının nihai oturma miktarına eşit olduğu kabul edilir. 24,5 kPa gerilme artışından kaynaklı nihai oturma miktarı 0,089 metre olarak hesaplanmıştır. Dolayısı ile 6 yıl sonunda 24,5 kPa gerilme artışı nedeni ile incelenen konumda yaşanan oturma miktarı da 0,089 metre olarak kabul edilmiştir. Başlangıç boşluk oranı 48% olarak tespit edilen malzemenin boşluk oranında konsolidasyon dolayısı ile azalma gerçekleşmiştir. 1 metre derindeki toprağın gerçek başlangıç boşluk oranının bundan daha az olması beklenmektedir. Çünkü, 1 metre derinlikte incelenen toprak birim hacim ağırlığı altında nihai oturmaya maruz kalmıştır. Dolayısı ile zeminin numunemizdeki başlangıç boşluk oranından daha az bir başlangıç boşluk oranına sahip olduğu söylenebilir. Bu konuda toprağın oluşum, taşınım süreci önem arz etmektedir (Numune yaklaşık 50 santimetre derinlikten alınmıştır). Boşluk oranındaki değişimi hesaplarken maruz kaldığı gerilme ön konsolidasyon gerilmesinden daha az olduğu için ikincil sıkışma indisi dikkate alınmalıdır. Konsolidasyon deneyi ile 0,28 olarak tespit edilen ikincil sıkışma indisi, 1 metre derinlikte yaşanan 24,5 kPa değerindeki gerilme artışı ve 1 metre derinlikteki malzemenin kendi ağırlığından dolayı maruz kaldığı 18,398 kPa değerindeki gerilme düşünüldüğünde malzemenin boşluk oranındaki değişim ( $\Delta e$ ) eşitlik 12'ye göre %10,42 olarak hesaplanmaktadır.

Malzemenin boşluk oranında farklı oranlarda azalma yaşaması sonucu mekanik parametrelerinde nasıl iyileşme yaşandığını görmek için numuneler hazırlanmış, sıkıştırılarak konsolidasyona uğramış numuneler tek eksenli basma dayanımı testine tabi tutulmuşlardır. Tek eksenli basma dayanım değerleri doğrudan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ile alakalıdır. Sıkıştırılan malzemenin boşluk oranındaki azalma içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerlerinde iyileşmeye neden olur. Eşitlik 5'te görüldüğü gibi yanal gerilmeye maruz kalmayan tek eksenli yükleme altında malzemenin kırılacağı gerilme Mohr yenilme zarfına göre kohezyon değeri ile  $N\phi (k_p)$  değerinin karekökünün çarpımının iki katına eşittir. Tek eksenli basma dayanımı doğrudan test uygulayarak bulunabilse de tek eksenli basınç dayanımını aşan zeminlerde duraylılık için gerekli yanal gerilme miktarını bulmak için Mohr zarfından türetilmiş olan eşitlik 5 kullanılmaktadır. Tek eksenli basma dayanımı değerini aşan malzemenin duraylı kalabilmesi için gerekli yanal tahkimat basıncı, içsel sürtünme açısına bağlı değişmekte olan pasif yanal itki katsayısı ( $k_p$ ) değerine göre hesaplanır. Ayrıca, zemin malzemesinin dağılgan özelliğe sahip olması, numune hazırlarken ve test esnasında kopmalar göstermesi malzemenin sağlıklı olarak yerinde dayanım değerlerini bulmak adına

dezavantajdır. Tek eksenli basma dayanımı testlerinden elde edilen sonuçlar, kesme kutusundan elde edilen değerlere göre daha düşük olabilmektedir.

Daha önce numune alınan bölgeden yeni, silindirik 3 adet numune alınmıştır. Numunelerin ölçülen kütleleri ve su içeriği değerine bağlı olarak katı kütlesi bulunmuştur. Su muhtevası tayini için de zeminden malzeme alınmış ve % 22,8 olarak değer tespit edilmiştir. Zeminin piknometre testi ile daha önce 2,51 olarak bulunmuş spesifik gravite değeri katı kütlesine bölünerek katı hacmi bulunmuştur. 3,8 santimetre çapındaki numune alma aparatı içerisindeki malzemenin yüksekliği ölçülerek boşluklu hacim bulunmuş ve katı hacmi bu değerden çıkarılarak boşluk hacmi tayin edilmiştir. Boşluk hacminin katı hacmine oranı olan boşluk oranı hesaplanmıştır. Bir numune sıkıştırılmamış, diğer iki numune şekil 26’da görüldüğü gibi numune çıkartma aparatı ile sıkıştırılmış ve numune ilk yüksekliği son yüksekliği ölçülerek eşitlik 11’e göre sıkışmış durumdaki toprağın boşluk oranı tespit edilmiştir (Sıkışmış numunelerin yükseklikleri numune çıkarma işleminden sonra ölçülmüştür). Numunelere tek eksenli basınç testi uygulanmıştır. Tablo 11’de 3 numuneye ait başlangıç boşluk oranları, son boşluk oranları ve tek eksenli basınç dayanımı değerleri verilmiştir.

Numune no.	Başlangıç boşluk oranı, $e_0$ (%)	Son boşluk oranı, $e_s$ (%)	Tek eksenli basınç dayanımı (kPa)
1	46	46	136,1
2	43	23,5	306,2
3	47	9	423,7

*Tablo 11. Boşluk oranı-basınç dayanımları*

Elde edilen sonuçlara göre kabaca, % 43 boşluk oranına sahip olan zeminin boşluk oranındaki iki kat azalmanın malzemenin basma dayanımında 2,3 kat artış sağladığı görülmektedir. Zeminde konuma bağlı olarak farklı gerilme artışları yaşanır, örneğin temelin orta noktasından 2 metre derinde yaşanan gerilme artışı eşitlik 14’e göre 21,4 kPa değerindedir, 1 metrede ise 24,5 kPa olduğu hesaplanmıştı. Dolayısı ile zeminde oturmalar homojen olarak yaşanmaz. Farklı yatay mesafeler için farklı derinliklerde aynı miktarda gerilme artışı yaşanır. Aynı miktarda gerilme artışı yaşanan noktaları birbirine bağlayan soyut eğrilere izobar denmektedir. İzobarlar, homojen yüzey yükü oluşturan temelin ağırlık merkezinden geçen



doğruya göre simetrik olarak oluşurlar. Dolayısı ile homojen bir zemine temelden homojen yük aktarımı durumunda bina bir tarafa doğru yatmaz. İyileşme zonal olarak farklılıklar gösterse de bina temeli altında her konumda gerilme artışı yaşanmış ve zeminin boşluk oranı azalmıştır. Temel atılmadan önce yüzey yüklemesi ile zemini konsolidasyona uğratmak yaygın olarak uygulanan bir zemin iyileştirme yöntemidir.

### 3. Deneysel Çalışmalar Hakkında Ek Bilgiler

Kesme kutusu deneyinde numune makaslama hızı 0,5 mm/dakika olarak alındı. Numuneler 6,25 santimetre çapında 2 santimetre yüksekliğinde silindirik numunelerdir. Drenajsız konsolidasyonsuz olarak deneyler yapıldı.

Piknometre deneyi 250 mililitrelik piknometreler kullanılarak 3 farklı piknometre ile yapıldı. Piknometreden çıkarılan ıslak numuneler 105 C° sıcaklığında etüvde bir gün bekletildiler.



Şekil 21. Piknometre ve hassas terazi

Birim hacim ağırlık testi 3 farklı numuneye hacmi civa ile ölçülen ve hassas terazi ile ağırlığı tartılan kaplar ile yapıldı. Ölçümler 0,01 gr duyarlılığında terazi ile gerçekleştirildi. Kıvam limitleri deneyinde kullanılan numuneler öncelikle 105 C° sıcaklığında etüvde bir gün bekletildikten sonra 75 mikron göz açıklığına sahip elekten geçirilmişlerdir. Otomatik, 10 mm yükseklikten sabit süre aralıkları ile düşen Casagrande deney düzeneği kullanılmıştır. Casagrande deney düzeneğinin numune haznesindeki malzemenin üst yüzeyleri yer ile paralel olacak şekilde yerleştirilmişlerdir. Plastik limit deneyi numuneleri mika bir plaka üzerinde yuvarlanmıştır. Boyutu 8 santimetreyi geçmeyen 3 milimetre çaplarında çatlamaya başlayan plastik limit numunelerin çapları elektronik verniyeli kumpas ile ölçülmüştür. Islak, likit limit

ve plastik limit deneyi numuneleri 105 C° sıcaklığında etüvde bir gün bekletildikten sonra hassas terazi ile tartılmışlardır.

Konsolidasyon deneyi konsolidasyonlu kesme kutusu deney düzeneği ile gerçekleştirilmiştir. Oturmalar LVDT ile okunmuş numuneye uygulanan normal gerilmeler kesme kutusu deney düzeneğinin yük koluna şekil 23’de görüldüğü ağırlıklar takılarak sağlanmıştır. Numune sabit yükler altında on ikişer saat bekletilmiştir. Konsolidasyon numuneleri 20 milimetre yüksekliğinde 62,5 milimetre çapında silindirik numunelerdir.



*Şekil 22. Likit limit deneyi*



*Şekil 23. Konsolidasyon testi için düzeneğe ağırlık takılışı*

Permabilite deneyleri sabit seviyeli ve düşen seviyeli olmak üzere ikiye ayrılır. Geçirimsizliği yüksek kumlu çakıllı zeminlerde sabit seviyeli permabilite testi tercih edilirken permabilite katsayıları düşük olan, geçirimi düşük, ince taneli zemin malzemelerinde düşen seviyeli permabilite deneyi uygulanır.  $1 \times 10^{-3}$  m/sn permabilite değerinden küçük zeminler için düşen seviyeli permabilite önerilmektedir (Tiwari, 2008). İncelenen alandaki zemin malzemesi ince taneli malzeme olduğu için düşen seviyeli permabilite deneyi yapılmıştır. Şekil 24'te gösterilen kesici uca sahip olan geçirimsizlik testi numune kalıbı direk toprağa sokularak numune alınmıştır. Düşen seviyeli permabilite testi doygun numunelere uygulanmaktadır. Geçirimsizlik testi havası alınmış su ile yapılmaktadır bu yüzden 200-250 kPa değerinde bir vakum basıncı ile su haznesindeki suyun havası yarım saat boyunca vakumlanmıştır. Su haznesinden gelen su numunenin içinden geçerek moldun altındaki geçirimsiz katmandan moldun içinde bulunduğu ıslama haznesine doldurulmaktadır. Bu hazne içindeki su, moldun yüksekliğini geçtikten sonra haznenin üst kısmında bulunan üst akım drenaj kısmından akmaya başlar ve su haznesinden gelen su vanası kapatılır. Su içerisinde kalmış olan numune 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bürete giden su vanası açılmış ve büret havası alınmış su ile doldurulmuştur. Ardından, büretten numune koluna su verilmiş ve zamana bağlı olarak büretin su seviyesindeki düşüş izlenmiştir.



*Şekil 24. Permeabilite numune kalıbı ve numune alma*



*Şekil 25. Islama haznesi içindeki numune kalıbı*

Boşluk oranında azalma yaşayan malzeme tek eksenli basınç testi uygulanmak üzere şekil 26'da görüldüğü gibi istenilen boşluk oranına numune bir ucu metal yüzeye yaslanarak çıkarma aparatı kullanılarak sıkıştırılmıştır. Sıkıştırılmış numune şekil 27'de gösterildiği gibi



çkarılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımı testi yükleme hızı saniyede 0,05 kN değerindedir. Testler Şekil 28’de görülen 5 ton kapasiteli pres ile yapılmıştır.



*Şekil 26. Sıkıştırılmış tek eksenli basma dayanımı numunesi hazırlama*



*Şekil 27. Hazırlanan numunenin çıkarılması*



*Şekil 28. Tek eksenli basma dayanımı testi*

#### **4. Çıkarımlar ve Bu Konuda Ülkemizde Yaşanmış Bazı Kazalar**

KTÜ hukuk fakültesi arkasında toprak tabakasında kaymalar gerçekleştiği görülmüştür. Toprak tabakasının çatlama yüksekliğinden daha yüksek olması istenmeyen duraysızlıklara neden olmaktadır. Toprak tabakasının yer yer yüksekliği hesaplanmış olan çatlama yüksekliği değerinin üzerinde ve yakınlarında olup, Nisan ayında toprak tabakasının en kalın olduğu 3,5 metre enindeki kısımda kayma gerçekleşmiş ve Haziran ayında bu mesafe 8 metreye çıkmıştır. Yaşanan duraysızlıkların önemli bir nedeni de çevresel etkilerden dolayı toprak tabakasının mekanik parametrelerinin olumsuz yönde etkilenmesidir. Düşük plastisiteli olan zeminler değişen mevsime, hava koşullarına bağlı olarak su muhtevsındaki değişim dolayısı ile ciddi miktarda etkilenebilmektedirler, oluşabilecek şiddetli yağmur, rüzgar, sıcaklık değişimleri, şehirselle faaliyetlerden kaynaklı titreşimler gibi çevresel ve doğal olaylar bu kritik tabaka yüksekliğine sahip olan zeminde yeni duraysızlıklar yaşanmasına yol açabilmektedir. Nitekim, çatlama yüksekliğinden çok daha az bir kalınlıktaki toprak örtüsünde Ağustos ayında çatlama oldu ve kayma yaşandı. Genel olarak tabaka kalınlığının çatlama yüksekliğini aşmamasından kaynaklı büyük kütleli bir duraysızlık söz konusu olmasa da sürekli yeni gelişen çatlak yapılar, duraysızlıklar gözlemlenmektedir. Önlem alınmadığı takdirde daha büyük kütlelere sahip malzemenin duraysızlık yaşayacağı açıktır. Özellikle buharlaşmanın çok arttığı Temmuz, Ağustos aylarında toprağın büzülme limit değerinin altında su içeriğine sahip olması olumsuz sonuçlara yol açar. Büzülme limiti değerinden daha az su muhtevasına kadar buharlaşma olma durumunda zemin malzemesinin hacminde değişim olmaz, deformasyona müsaade edilemez ve çatlamlar yaşanır (Demirel, vd., 1991). Rötire limiti olarak ta adlandırılan büzülme limitinden daha az su içeriğindeki zemin malzemesinde oluşan

bu çatlaklara rötre çatlakları da denmektedir. Toprağın içinde çatlakların oluşması dayanım değerlerini düşürmektedir. Çoğu zaman düşük çimentolanma nedeniyle toprak malzemesinin elastik deformasyona uğradığı gerilme düzeyi ve su muhtevası aralığı çok sınırlıdır. Malzeme likit limit seviyesini aştığında akma gösterirken likit limit ile plastik limit değerleri arasında plastik malzeme özelliği gösterir ve plastik deformasyon sergiler, bir hamur gibi şekil verilebilir. Büzülme limitinin altında ise katıdır ve şekil verilemez, dağılma özelliği gösterir. Plastik limitin altında, büzülme limitinin üstünde su muhtevasında ise toprak malzeme yarı katı özellik gösterir ve çok sınırlı olarak deformasyona müsaade edebilir, bunun nedeni ise malzeme içerisinde mikro çatlakların oluşmaya başlamasıdır.

KTÜ Hukuk fakültesi arkasındaki zeminin düşük plastisiteli olması nedeni ile plastik limit ve likit limit değerleri arasında çok fark yoktur (Plastisite indisi %10,2). Bölgenin özellikle Sonbahar, Kış aylarında büyük ölçüde yağmur alacağı düşünüldüğünde akma riskinin de olduğu söylenebilir. İncelenen alandaki toprak, fiziksel özelliklerinden dolayı değişen hava koşullar karşısında kolaylıkla etkilenebilen, su içeriğindeki değişim karşısında mekanik parametreleri açısından direnci yüksek olmayan bir zemin olduğu söylenebilir.

Trabzon Pelitli mevkiindeki temel çukuru şehirsel faaliyetlerin yoğun olduğu bölgede olmasından dolayı yolun trafiğe açık olması büyük bir risk oluşturmaktadır. İnşaat kazısının yapıldığı yerdeki yoldan geçen kamyonet bir duraysızlığa neden olmamıştır. Ancak bu yoldan daha ağır bir kamyon geçmesi durumunda veya geçen aracın ani ivme değişimli hareketler yapması (fren, ani hızlanma vb.) durumlarında zeminin kırılması ve duraysızlık yaşanması riski bulunmaktadır. Elde edilen rakamsal verilere dayanarak incelediğimiz temel çukuru etrafında acil müdahale gerektiren riskli alan kazının otoyol kenarıdır.

Binanın altındaki zemin var olan yüzey yüklemesi için konsolide olmadığı durumlarda bile duraylılık için yeterli mekanik parametrelere sahiptir. Zeminin 6 yıllık konsolidasyon yaşaması sonucu zeminde iyileşmeler yaşanması sebebiyle bina altındaki zemin duraylı bir şekilde kalabilmektedir. Binanın az katlı olması bu anlamda bir avantaj sağlamaktadır. Ancak yapılan, kaya kazısından kaynaklanan dinamik yükler, inşaat faaliyetleri, deprem gibi nedenlerden kaynaklı oluşabilecek yüklenmeler binanın duraylılığına karşı olumsuz etkenlerdir. Trabzon Pelitli mevkiinin deprenselliği incelendiğinde büyük dinamik yüklemelere maruz kalmayacağı ön görülüyor olsa da bu tip zemin kazılarında, tahkimat kullanılması yaşanabilecek olumsuzluğu önleyebilecektir. Zeminin var olan dayanım değerleri

binayı taşıması için oldukça yeterlidir. Yine de dik kazılmış ve bina altında olan bir zemin için tahkimat kullanmamak çevresel etkiler neticesinde gevşemelere engel olacaktır.

Ülkemizde maalesef bu tip çalışmalarda çok kez yeteri seviyede ön değerlendirme yapılmamaktadır. İş şansa bırakılmakta olup gerekli tedbir alınmamaktadır. İncelediğimiz alanda yolun ağır vasıtalarla kapatılmamasından dolayı şansa bağlı olarak bir duraysızlık yaşanmamıştır. Ancak ülkemizde, bu kadar şanslı olmayan yerler de bulunmaktadır. Sıradaki kısımda bu yerlerden bazıları örnek olarak verilmiştir:

Düzce ilinin Akçakoca ilçesinde bir temel çukurunun kenarından geçen yolda 26 Ekim 2010 tarihinde duraysızlık yaşanmıştır. Edinilen bilgilere göre hafriyat çalışmalarının devam ettiği sırada, yağın yoğun yağmurun etkisiyle alanda duraysızlık yaşanmıştır. Burada görüldüğü gibi zeminin özelliklerini iyi incelemeyen tahkimatsız olarak çalışmak, işi şansa bırakıp gerekli önlemlerin alınmaması sonucunda ciddi sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Yarısı çöken otoyolun tamiri ve sonra yapılan istinat duvarı başta kaçınılan tahkimat masrafından çok daha fazla maliyete neden olmuştur.



*Şekil 29. Düzce Akçakoca'da meydana gelen temel kazısının göçmesi.*

Samsun'un Bafra ilçesinde benzer bir olay 2011 yılının Mart ayında yaşanmıştır. Temel çukurunun kazıldığı sırada çevredeki binanın oturduğu zemin duraylılığını kaybetmiştir.





*Şekil 30. Samsun Bafra'daki binanın çökmesi*

İstanbul Gaziosmanpaşa ilçesinde 26 Nisan 2011 tarihinde gerçekleşen bir olayda temel çukuru yanındaki üç katlı bir bina toprak kayması nedeniyle yıkılmıştır. İnşası bitmek üzere olan binada yaşayan birinin olmaması şans olarak kabul edilmektedir. Öte yandan, çöken binanın yanındaki 3 katlı kullanılmayan bir bina da zarar görmüştür. Söz konusu binanın yıkılma tehlikesine karşı güvenlik önlemleri alındı. Bahsedilen alan şekil 31'de görülmektedir



*Şekil 31. İstanbul Gaziosmanpaşa'da yaşanan göçük olayı.*

Şekil 32'de İzmir Konak'ta bir temel çukurunda yaşanan duraysızlık sonucu yarısı yıkılan bina resmi görünmektedir.



*Şekil 32. İzmir’de yaşanan duraysızlık*

7 Temmuz 2011 tarihinde Bursa Osmangazi’de Şekil 33’te görülen temel çukurunda yaşanan duraysızlık sonucu otoyol göçmüş ve doğalgaz hattı zarar görmüştür. Kırılan doğalgaz ve su boruları bölge halkına korkulu anlar yaşatmıştır.



*Şekil 33. Bursa Osmangazi’de yaşanan göçük*

Son senelerde temel çukurlarının tahkimat eksikliğinden kaynaklı ülkemizde daha onlarca kaza yaşanmıştır.

## **5.Sonuçlar**

Toprak malzemesinin, değişen su muhtevasına karşılık vereceği tepki duraylılık açısından son derece önemlidir. KTÜ hukuk fakültesi arkasındaki toprak tabakasının çatlama yüksekliğini aşan kısımların yanı sıra düşük plastisite nedeni ile de duraysızlık meydana gelen alan

olmuştur. Tahkimat yapılmadığı takdirde yeni duraysızlıkların yaşanma riski bulunmaktadır. Bu tip alanlar için çelik hasır üzerine püskürtme beton uygulaması pratik bir tahkimat yöntemi olacaktır. Büyük yüzey yükü olan alanlar için kaya kütlelerine bağlanan ankraj sistemleri de kullanılabilir. Duraylılığın sağlanması için gerekli yanal tahkimat basıncı zeminin düşey gerilmeleri yanal olarak iletme karakterizasyonuna (içsel sürtünme açısına göre şekillenen pasif yanal itki katsayısı,  $k_p=N\phi$ ) ve kohezyonuna bağlıdır. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı artışı çatlama yüksekliğini artıracak ve aynı birim hacim ağırlığa sahip, aynı derinlikteki malzemeler için yüksek kohezyon ve içsel sürtünmeye sahip zeminlerde daha küçük yanal tahkimat basıncı ile duraylılık sağlanacaktır.

Trabzon Pelitli mevkiindeki temel çukuru yanından geçen araçlar şu ana dek duraysızlığa neden olmasa da yolun trafiğe açık olması büyük bir risk oluşturmaktadır. Yoldan geçen 3 tonluk bir vasıta incelenmiş ve herhangi bir duraysızlık veya ciddi risk oluşturacak bir durumun oluşmadığı tespit edilmiştir. Ancak bu yoldan ağır bir vasıta geçmesi durumunda zeminin kırılması ve duraysızlık yaşanması riski bulunmaktadır. Söz konusu kamyonetin teker temas alanı için 5,2 kat daha ağır olması durumunda duraysızlık yaşanacağı hesaplanmıştır. Trabzon Pelitli mevki için incelediğimiz yolun ağır vasıtalara karşı trafiğe kapatılması gerekmektedir. Bu alandaki yol trafiğe kapatılmıyorsa dayanım duvarı yapılmalıdır. Zeminin var olan dayanım değerleri düşünüldüğünde binadan kaynaklı olan bir duraysızlık yaşanmamıştır. Teorik olarak, incelenen zemin malzemesi binanın temelinden zemine uygulanan gerilmenin 1,82 kat daha fazlasına cevap verebilen bir dayanım değerine sahiptir. Ayrıca, bina altında kalan zeminin 6 yıl boyunca konsolidasyona uğraması zeminin dayanım değerlerini daha da artırmak suretiyle avantaj sağlamaktadır. Değişen çevresel şartlar dolayısı ile şehirsel bölgelerde duraylı olarak nitelendirilen bölgelerde beklenmeyen sonuçlar yaşanmaktadır. Yüzeyde çeşitli yapılar, yollar, toplu kullanım alanları olduğu için yaşanan duraysızlıklar sonucu ciddi maliyetler doğurmaktadır ve daha önemlisi can kayıpları yaşanabilmektedir. Yüzey yüklemeleri, dinamik yükler, doğal çevresel etkiler karşısında oluşabilecek olan kötü şartlar altında temel çukurunun duraylılığını koruması adına kritik bölgelerde tahkimat maliyetlerinden kaçınılmamalıdır. Değişen hava koşulları zemin malzemesinin duraylılığını büyük ölçüde etkilemektedir. Yağış nedeni ile zeminde su içeriğinin yükselmesinden dolayı mekanik parametre değerlerinde düşüş yaşanacağı gibi kohezyonlu zeminlerin fiziksel özelliklerine bağlı olarak belirli bir su içeriğinden daha kuru zeminde de gerçekleşecek çatlama neticesinde duraysızlık yaşanabilmektedir.

## **Kaynaklar**

Arslan, M.Ş., 2007 “Bardat (Mersin-Gülner-Köseçobanlı) Göleti mühendislik jeolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Adana, 112

Atkinson, J., 2000. Determination of Cv from test results, UWE Bristol Üniversitesi online dökümanlar, <http://environment.uwe.ac.uk/geocal/SoilMech/consol/soilcons.htm>

Aytekin, M. 2004; Deneysel Zemin Mekaniği, Teknik yayınevi, 2.baskı, Ankara, 624

Çinicioğlu, S.F., 2005; “Zeminlerde statik ve dinamik yükler altında taşıma gücü ve anlayışı hesabı“. Seminer, İMO, İstanbul.

Demirel, Z., Kadioğlu, M., Aray, S., Oran, F., Alp A., 1991; “Toprak ve Stabilizasyon laboratuvarı el kitabı”, Karayolları Genel Müdürlüğü yayını, 180

Erşan, H., Yıldırım, H., 2008. Normal konsolide killerin tekrarlı yükler etkisinde direnajsiz kayma mukavemeti, İnşaat Mühendisleri Odası online kütüphanesi, <http://www.ekutuphane.imo.org.tr/pdf/1522.pdf>

Ertan, Y., Ülkü, S., 1978. “Zemin İlkeleri ve Deneyleeri 1”, DSİ Basım ve Foto-film İşletme Müdürlüğü, Ankara, 210

Fredlund, D.G., Xing, A., Fredlund, M.D., Barbour, S.L., 1996. The relationship of the unsaturated soil shear strength function to the soil-water characteristic curve, Canadian Geotechnical Journal, Vol 32, 40-78

Hoek, E., 2006. “Kaya Mühendisliği”, Türkiye Maden Mühendisleri Odası yayını,

Hoek, E., Carranza C., Corkum, B., 2002. Hoek&Brown failure criterion-2002 Edition, 5th American Rock Mechanics Symposium, Toronto, Kanada, 15-22.

Nail, Ü., “Heyelanlar ve kitle hareketler,” Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Seminer notları, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı arşivi, <http://www.bayindirlik.gov.tr/turkce/dosya>

Oğuz, H. 2008, Toprak Bilgisi ders notu, <http://trakyazoder.org/makale/Makale2/Toprak%20dersi%20notlar%C4%B1.pdf?go=yz&catid=303&seo>

Özaydın, K. 2008; “Zemin Mekaniği“, Birsen Yayınevi, 307

Özdeğer, M.N.E., Kurtay T., 2006; “Paletli arazi taşıtlarının performansı hesabında farklı bir yaklaşım“, İTÜ dergisi 5(4), 45-56

Pehlivan, M., 2008. “Kürtün baraj gölünün sağ sahilindeki Özkürtün(Gümüşhane) beldesinin heyelan analizi”, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, Trabzon, 102

Sivakugan, N., 2001. Killerin konsolidasyonu, [www.geoengineer.org/files/consol-Sivakugan.pps](http://www.geoengineer.org/files/consol-Sivakugan.pps)

Solanki, C., H., Desai, M., D., 2008. Preconsolidation pressure from soil index and plasticity properties, The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), India, 1475-1479.

Tiwari, B., 2008. Soil Mechanics laboratory lecture notes, California State University Fullerton.

[http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech\\_Lab/mainpage\\_files/other/Permeability.pdf](http://faculty.fullerton.edu/btiwari/geotech_Lab/mainpage_files/other/Permeability.pdf)

Ural, N. 2011; “Zemin mekaniği deneylerinde bilgisayar kontrollü sistemlerin kullanılması“, 6. uluslararası ileri teknolojiler sempozyumu, Elazığ, 35-39

Uzuner, B.A., 2007; “Çözümlü problemlerle temel zemin mekaniği”. Derya Yayınevi, Trabzon, 377 s

Uzuner, B.A. 2011; Kişisel görüşme, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Yılmaz, E., 2006; “Zeminlerin Endeks özelliklerinin kalıcı kayma mukavemetine etkisi”, Yüksek Lisans tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, İstanbul

Web(a), <http://www.haber7.com/haber/20101227/Izmirde-3-katli-bina-coktu.php>.

Web(b), <http://www.haberpan.com/haber/temel-kazasi-sirasinda-kayan-yan-binanin-yarisi-yikildi>

Web(c), [http://www.posta.com.tr/turkiye/HaberDetay/Istanbul\\_da\\_uc\\_katli\\_bina\\_coktu.htm](http://www.posta.com.tr/turkiye/HaberDetay/Istanbul_da_uc_katli_bina_coktu.htm).14 Mayıs 2011.