

# DERİN KAZILARDA YANAL YÜKE MARUZ İKSA SİSTEMLERİNİN PARAMETRİK ANALİZİ

## IN DEEP EXCAVATIONS PARAMETRIC ANALYSIS OF LATERAL LOAD EXPOSURE TO RETAINING WALL SYSTEMS

<sup>1</sup>Fatih BÜYÜKGÖKÇE

<sup>2</sup>Ertan BOL

<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Doç. Dr., Sakarya Üniversitesi, Türkiye

### Abstract

In recent years, the number of basements has been increased in order to gain more space in constructions built due to the decrease of land stocks in big cities and the increase in costs accordingly. Deep excavations are inevitable during the construction phase of the building with increasing number of the basement. During deep excavation lateral earth pressures originating from the soil and neighboring structures are carried by vertical elements such as piles. With this study, it was aimed to draw attention to the importance of correct interpretation of the structure-ground interaction in order to avoid giving a human-caused disaster to the lateral load-bearing systems. The magnitude of the lateral force acting on the vertical elements depends on the depth of the excavation and on the strength of the soil layers on which the element interacts. In this study, the effects of the soil-structure interaction and the variation of the soil parameters on the lateral pressure, which affects the excavation system, are investigated. Depending on this lateral pressure, the stress changes and deformations that occur on the pile wall will be examined. The investigation will be carried out with the help of the Plaxis 2D program based on the finite element method.

**Key words:** Deep excavation, soil parameters, excavation system, Plaxis 2D, structure-ground interaction

### Özet

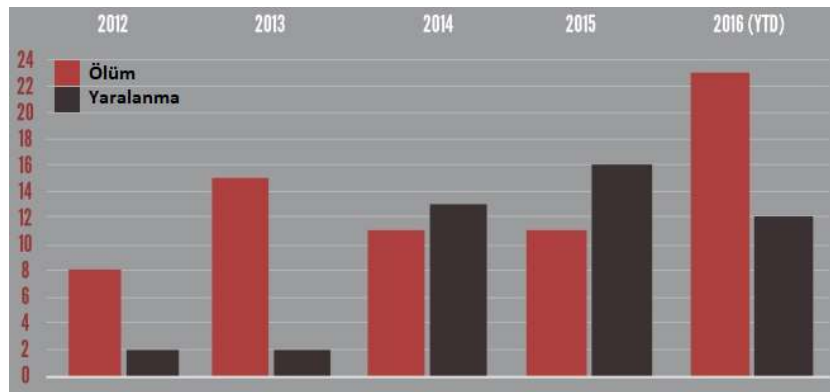
Özellikle son yıllarda büyük şehirlerdeki arsa stoklarının azalması ve buna bağlı olarak maliyetlerin artması sebebiyle inşaa edilen yapılarda daha fazla alan kazanmak için yapıların bodrum sayıları arttırılmaktadır. Bodrum sayısı artan yapıların inşaa aşamasında derin kazı yapılması kaçınılmaz olmaktadır. Derin kazılarda zeminden ve komşu yapılardan kaynaklanan yanall toprak basınçları kazık gibi düşey iksa elemanları tarafından taşınmaktadır. Bu çalışma ile yanall yüke maruz iksa sistemlerinde insan kaynaklı bir afete sebebiyet verilmemesi için yapı-zemin etkileşiminin doğru yorumlanması öneme dikkat çekmek amaçlanmıştır. Düşey iksa

elemanlarına etkiyen yanal kuvvetin büyüklüğü ise kazı derinliği ve iksa elemanının etkileşim içinde olduğu zemin tabakaları ve bu zemin tabakalarının mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bu çalışmada yapı-zemin etkileşiminin ve zemin parametrelerinin değişiminin iksa sistemine etkiyen yanal basınç üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu yanal basınca bağlı olarak iksa duvarında meydana gelen gerilme değişimleri ve deformasyonlar incelenecektir. İnceleme, çalışma prensibi sonlu elemanlar yöntemine dayanan Plaxis 2D programı yardımıyla gerçekleştirilecektir.

**Anahtar Kelimeler:**Derin kazı, zemin parameteleri, iksa sistemi, Plaxis 2D, yapı-zemin etkileşimi

## 1.Giriş

Derin kazılar; derinliği genişliğinden büyük olan kazılar olarak bilinmektedir. Bunun yanında 6m' den daha sığ kazılarda kazık ve palplanş kullanımı ekonomik olmadığından Terzaghi ve Peck (1967) tarafından derin kazılar 6m den daha yüksek olan kazılar olarak tanımlanmıştır[1] [2].Derin kazı destekleme sistemlerinin tarihi çok eski zamanlara dayanmaktadır. Bir arazide derin kazı yapılmak istenmesinin bir çok sebebi olabilir. Metro, tünel, yeraltı otoparkı, altyapı çalışmaları ve özellikle de nüfusun ve yerleşimin yoğun olduğu büyük şehirlerdeki yüksek katlı bina temel ve bodrumlarının inşaatı gibi birçok yapının inşaatı derin kazı yapılmasını hem inşaat edilecek olan yapının hem de çevre yapıların güvenliği sağlamak açısından kaçınılmaz kılmaktadır. Çin'de 2012-2016 yılları arasında kapsayan bir araştırma sonucu Şekil 1.1' de görülmektedir.Burada altyapı çalışmalarında hendek kazılarının göçmesi sonucu meydana gelen ölüm ve yaralanmaların sadece rapor edilebilen kısmı sunulmaktadır. Yıllar ilerledikçe ölüm ve yaralanma toplamında bir artış olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1.Çin'de 2012-2016 Yılları Arası Hendek Kazısı Ölüm ve Yaralanma Oranları [3]

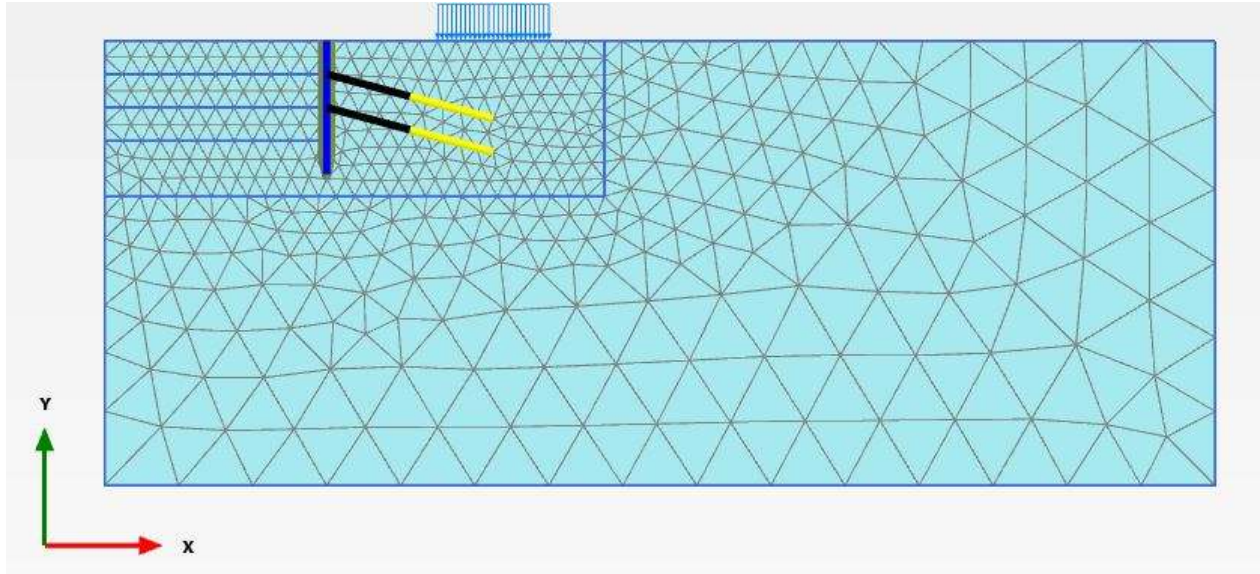
Yapılan kazının güvenliğini sağlamak için uygun iksa sistemini seçmek çok önemlidir. İksa sisteminin seçimi yeraltı su seviyesinin durumu, çevre yapıların konumu, altyapı sistemleri ve zemin parametreleri gibi bir çok faktöre bağlıdır.

Derin kazılarda en büyük problem sükunetteki zeminin bir kısmının alınmasıyla yük dengesi değişen zeminin stabilitesinin sağlanmasıdır. Kazı yapılmasıyla önü açılan zemin tabakası kendi ağırlığına ilave yüklerin de dahil olmasıyla beraber kazı alanına doğru hareket etmek isteyecektir. Bu hareket içten destekli kazılarda kazı yüksekliğinin yumuşak killerde % 0.25, iri daneli sıkı zeminler ve katı killer için % 0.05 olarak alınabilmektedir[4]. Ayrıca zeminde oluşan yatay deformasyonun duvar yüksekliğinin %0.02'si ile %0.05'i arasında kalması tavsiye edilmektedir[5]. Zemin hareket ettirmek isteyen kuvvete uygun iksa sistemiyle karşı konulmaya çalışılmaktadır. Bu kuvvete karşı koymak isterken iksa elemanı olarak seçtiğimiz duvar kesitinde yanall toprak basıncından dolayı oluşan gerilme kuvvetleri ve birim deformasyonlar meydana gelmektedir. Oluşan deformasyon değerlerini kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutabilmek için iksa elemanına etkiyen gerilme kuvvetlerine karşı koyabilecek şekilde tasarım yapılmalıdır.

Amacına uygun ve güvenli bir iksa sistemi tasarlamak için de zemin etüdü sonucu elde ettiğimiz zeminin özelliklerini veren parametrelerin doğru ve mühendislik yaklaşımıyla yorumlanması gerekmektedir.

## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada 100m genişliğinde, 40m derinliğinde tek tabakadan oluşan ve yeraltı su seviyesinin çok derinlerde bulunduğu bir zemin geometri modeli ele alınmıştır. Derin kazı sisteminde kazı derinliği 9m, kazı genişliği 20m olarak ele alınmıştır. Düşey iksa elemanı olarak seçilen eleman 65cm çapında 12m boyunda ve merkezden merkeze 1.0m aralıklarla yerleştirilmiş yerinde dökme betonarme fore kazık elemanıdır. 65cm çapındaki fore kazığın 9m'si açılan kazı aynası önünde 3m' si nihai kazı kotu altına soketlenmiş vaziyettedir. Kazı aynasının önünde bulunan 9m lik kısımda her birerine 300 kN'luk öngerme yükü uygulanmış -3.00 ve -6.00 kotlarında bulunan 8'er metre kök, 8'er metre serbest bölge olmak üzere toplam 16m boyunda iki kademe 3×0.6 inç halatlı ankrajlar bulunmaktadır. İki kademe ankraj bulunması sebebiyle kazı işlemi üç kademe halinde gerçekleştirilecektir. Ayrıca kazı alanı sınırına 10m mesafede 10m uzunluğunda 50 kPa büyüklüğünde bir sürşarj yükü de etki etmektedir. Model sonlu elemanlar yöntemi prensibine göre çalışan Plaxis 2D [6] programıyla modellenmiş olup 15 düğüm noktalı üçgen elemanların birleşmesiyle oluşan ağ sistemiyle çalışılmıştır. Ayrıca bu ağ sistemi kazı yapılan alan ve yapı elemanlarını da içine alan bir bölge oluşturularak 4 kat küçültülmüş daha detaylı bir hesap yapılması sağlanmıştır. Model geometrisi ve sonlu elemanlar ağı Şekil 2.1' de gösterildiği gibidir.



Şekil 2.1.Geometri Modeli ve Sonlu Elemanlar Ağı

Tablo 2.1.Modelde Kullanılan Zemin Parametreleri

Malzeme Modeli	Hardening Soil
Malzeme Tipi	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	19
Doğgun Birim Hacim Ağırlık(kN/m <sup>3</sup> )	19
Elastisite Modülü,E (Kpa)	10000
Kohezyon, c' (Kpa)	1
İçsel Sürtünme Açısı, Ø	30
Poisson Oranı, v	0.2
Rint	Rijit

Çalışma için kullanılacak ana modelde Tablo 2.1'deki zemin parametreleri kullanılmıştır. İncelemenin amacına yönelik olarak elastisite modülü ve yapı-zemin etkileşim katsayısı ( $R_{int}$ )'e artan ve azalan farklı değerler verilerek sistemin vereceği tepki aşamalı olarak incelenecektir. Bu işlemler yapılırken etkisi araştırılan parametre dışındaki diğer tüm parametre değerleri sabit tutulacaktır. Buna benzer bir çalışma Aktan (2014) [7] tarafından yapılmış ve zemin parametrelerindeki değişimin yanall deformatiyona etkisi incelenmiştir. Aktan (2014) çalışmasına göre yapı-zemin etkileşim faktörü Rint değerinin %10'luk azalışına karşılık yanall deplasman ortalama %14-15 oranında artış göstermektedir[7].Yine Aktan (2014) çalışmasında elastisite modülü değerini %20 arttırdığında yanall deformatiyon değeri ortalama olarak %16-17 oranında azalma göstermektedir [7].

Tablo2.2.İncelediğimiz Parametre Değişim Değerleri

<b>R<sub>int</sub></b>	<b>E(Mpa)</b>
Rijit	10
0.9	20
0.8	30
0.7	50
0.6	100
0.5	150
0.4	200

Modelimizin çözümü 5 aşamadan oluşmaktadır.Başlangıç durumunda zemine çakılı kazık ve etkiyen sürşarj yükü bulunmaktadır. Birinci aşamada 1. kademe ankraj seviyesine kadar kazı, ikinci aşamada 1. kademe ankraja 300 kN ön germe yükü uygulama, üçüncü aşamada 2. kademe ankraj seviyesine kadar kazı, dördüncü aşamada 2. kademe ankraja 300 kN ön germe yükü uygulama ve son aşamada ise nihai kazı kotuna kadar kazı yapılmaktadır.Tüm parametre incelemeleri için bu hesap adımları izlenirken sadece Tablo2.2' de incelenen parametre değerleri değiştirilerek iksa duvarında meydana gelen yatay deformasyon ve gerilme değişimlerine etkileri gözlemlenecektir.

### 2.1. Sisteme Tanıtılan Kazık Duvarın Normal ve Eğilme Rijitliğinin Hesabı

65cm çapında fore kazık kesit alanı;

$$A=\pi \times r^2=\pi \times 0.325^2=0,33 \text{ m}^2 \quad (2.1.1.)$$

Birim metreye düşen duvar alanı;

$$A_{\text{duvar}}=\frac{A}{s}=\frac{0.33}{1}=0.33 \text{ m}^2/\text{m} \quad (2.1.2.)$$

65cm çapında fore kazığın atalet momenti;

$$I=\frac{\pi \times r^4}{4}=\frac{\pi \times (0.325)^4}{4}=8.76 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \quad (2.1.3.)$$

Birim metreye düşen atalet momenti;

$$I_{\text{duvar}}=\frac{I}{s}=\frac{8.76 \times (10)^{-3}}{1} \text{ m}^4/\text{m} \quad (2.1.4.)$$

s: kazık merkezinden kazık merkezine olan mesafe.

Normal rijitlik;

$$E \times A = 30 \times 10^6 \times 0.33 = 9.9 \times 10^6 \text{ kN/m} \quad (2.1.5.)$$

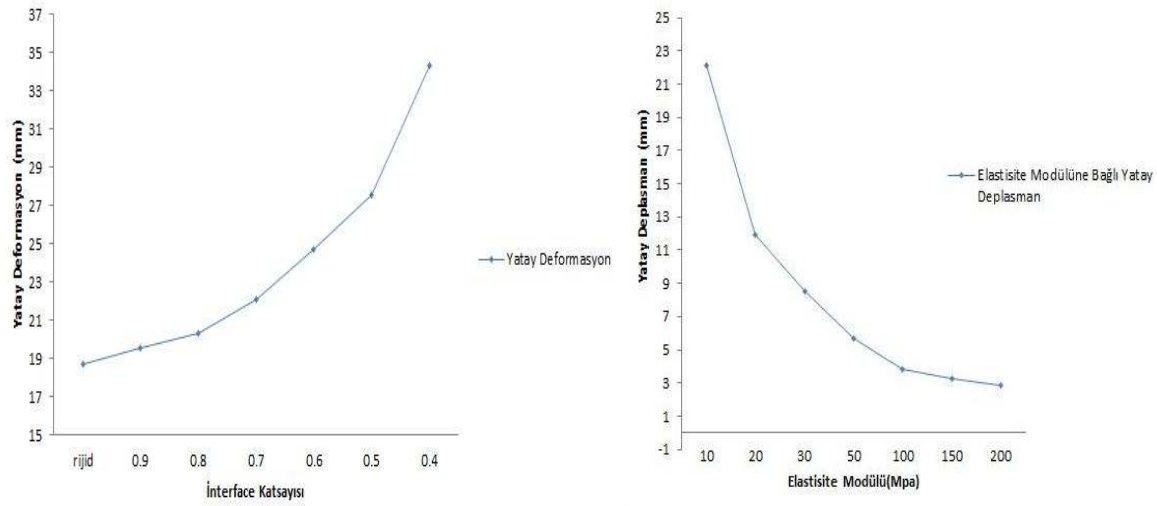
Eğilme Rijitliği;

$$E \times I = 30 \times 10^6 \times 8.76 \times 10^{-3} = 262800 \text{ kNm}^2/\text{m} \quad (2.1.6.)$$

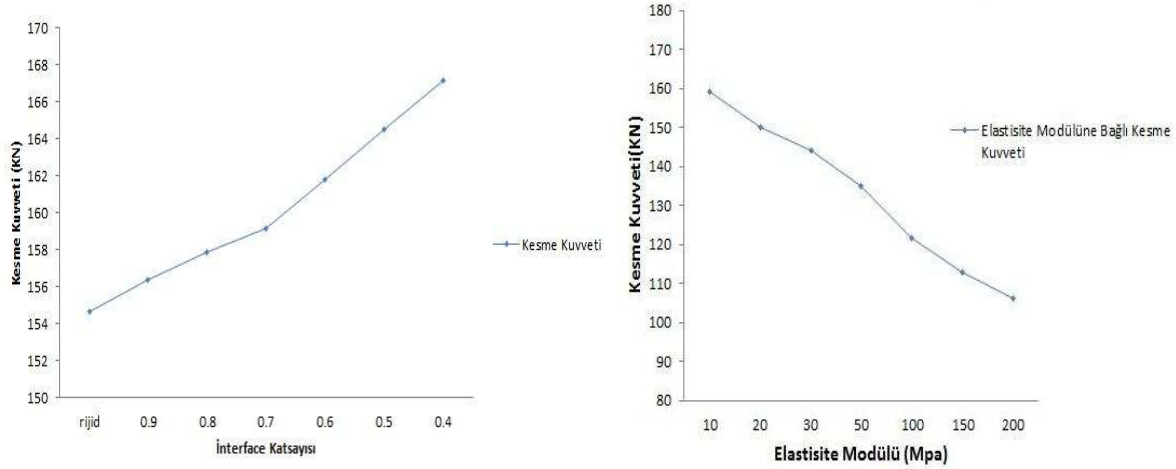
şeklinde hesaplanmaktadır[8].

C25 Beton için Elastisite Modülü:  $30 \times 10^6 \text{ kN/m}^2$  [9].

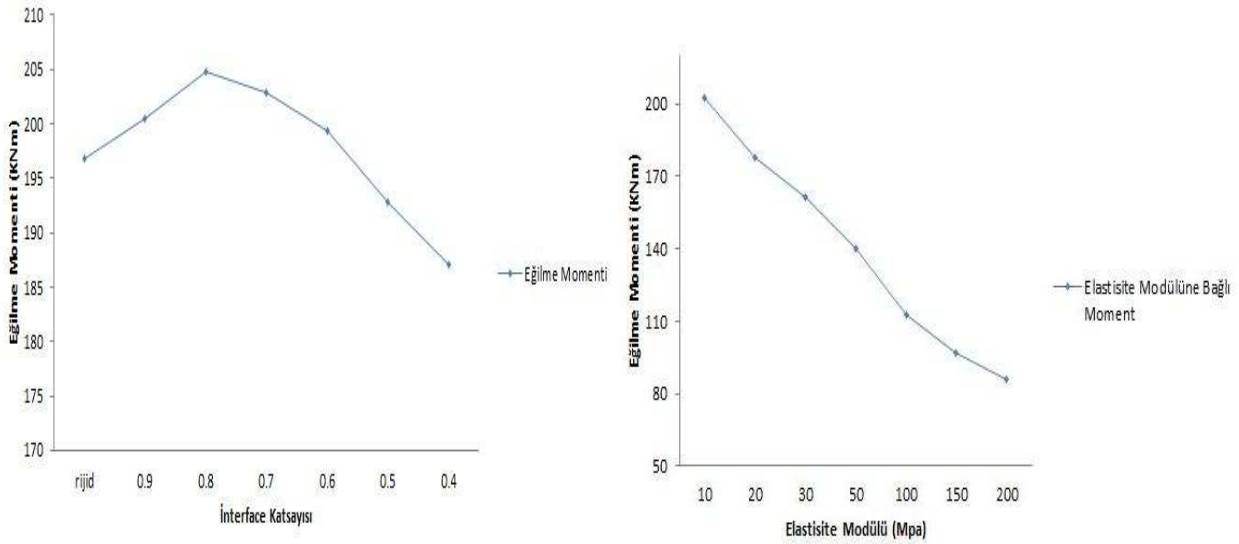
## 2.2.Yapılan Çalışma Sonucunda Elde Edilen Yatay Deformasyon, Kesme Kuvveti ve Eğilme Momenti Değişimleri



Şekil 2.2 Yapı-Zemin Etkileşim Katsayısı ve Elastisite Modülünün Yatay Deformasyona Etkisi



Şekil 2.3 Yapı-Zemin Etkileşim Katsayısı ve Elastisite Modülünün Kesme Kuvvetine Etkisi



Şekil 2.4 Yapı-Zemin Etkileşim Katsayısı ve Elastisite Modülünün Eğilme Momentine Etkisi

Şekil 2.2’de yapı zemin etkileşim katsayısının ve elastisite modülünün yatay deformasyona etkisini araştırmak için sistemin yapı-zemin etkileşim katsayısı (Rint) sistemli bir şekilde %10 oranında azaltılarak, elastisite modülü ise farklı zemin cinslerine ve o zemin cinslerinin aldığı değere göre sistemli bir şekilde artırılarak çalışma yapılmış ve sonuçlar Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Aynı model üzerinde yine aynı parametrelerin aynı oranda değiştirilerek kesme kuvvetine etkisi ise Şekil 2.3’te gösterilmiştir. Son olarak yine aynı model üzerinde mevcut parametrelerin değişiminin eğilme momenti üzerindeki etkisi araştırılmış ve sonuçlar Şekil 2.4’te gösterilmiştir.

### 3.Sonuçlar

Bu çalışmada yapı-zemin etkileşimi ve elastisite modülü değişiminin yanal yüke maruz iksa sistemlerinde iksa duvarını etkileyen yanal deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında yapı-zemin etkileşim katsayısının her %10 azalmasında yatay deformasyonda %12-13 oranında, kesme kuvvetinde ise %2-3 oranında bir artış gözlemlenmektedir. Yapı-zemin etkileşiminin eğilme momentine etkisi ise yapı-zemin etkileşim katsayısı %20 oranında azaltıldığında en büyük değere ulaşmış bunun haricindeki değerlerde daha düşük seviyelerde kalmıştır. Bunun neticesinde yapı-zemin etkileşim katsayısının azalması yatay deformasyonu önemli ölçüde arttırmakta, kesme kuvvetini ise fazla etkilemediği sonucu çıkarılmıştır. Eğilme momenti ise yapı zemin etkileşim katsayısı %70-80 oranında alındığında en yüksek değerini verdiği anlaşılmaktadır. Elastisite modülündeki %100'lük bir artış yatay deplasmanda %40-50, kesme kuvvetinde %7-8, eğilme momentinde ise %18-20 oranında bir azalma göstermektedir. Sonuç olarak elastisite modülünün artması yatay deplasmanı, kesme kuvvetini ve eğilme momentini önemli ölçüde düşürdüğü anlaşılmaktadır.

### 4.Tartışma

Bu çalışma açık bir şekilde gösteriyor ki zemin parametrelerindeki değişim özellikle son zamanlarda insan kaynaklı doğal bir afet haline gelen iksa sistemlerinin tasarımını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sebeple bu çalışmanın bir parçası olan zemin parametrelerinin ve bu parametreler kullanılarak hesap yapılan programların iyi bir şekilde yorumlanması ve mühendisçe yaklaşımlar yapılması gerektiğini göstermektedir. Araziden veya laboratuvardan gelen zemin numuneleri ve bu numunelerden elde edilen zemin parametreleri bir mühendis bakışıyla yorumlanmayıp paket programlara güvenildiği müddetçe özellikle büyük şehirlerde meydana gelen iksa felaketleri ve can kayıpları devam edecektir.



## Referanslar

- [1] **Terzaghi, K. and Peck, R.** (1967) Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition, John Wiley, New York.
- [2] **Ou, C.Y.**, 2006. Deep Excavation: Theory and Practice, London.
- [4] **Puller, M.**, 2003. Deep Excavation: A Practical Manual, London.
- [5] **FHWA-IF-99-015**, 1999 Geotechnical Engineering Circular No:4 Ground Anchors and Anchored Systems, U.S Department of Transportation, Federal Administration, Washington DC.
- [6] **Plaxis 2D** Version8 , The Netherlands.
- [7] **Aktan, E.**, 2014. Öngermeli Ankrajlı Kazıklı Duvar Nümerik Analizi: Hilton İstanbul Bomonti Hotel ve Konferans Merkezi Projesi Kapsamında Yer Alan Tarihi Bina Önü İksa Sistemi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- [8] **Plaxis ile Hesaplamalı Eğitim Kursu** 16-18 Kasım 2017, İstanbul.
- [9] **TS500/Şubat 2000**. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

## Web Referanslar

- [3] <https://www.constructionjunkie.com/blog/2016/11/18/osha-trench-collapse-deaths-have-more-than-doubled-in-2016>) En son erişildiği tarih 18.03.2018