

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

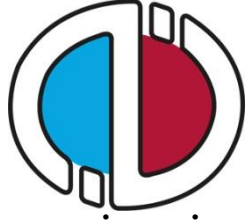
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE DESTEKLİ KAZI
TEKNİKLERİ UYGULAMASI: VAKA ANALİZİ

Yasin ZENCİR
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

BİLECİK, 2019
Ref. No: 10292115



**ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

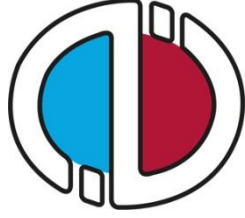
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE DESTEKLİ KAZI
TEKNİKLERİ UYGULAMASI: VAKA ANALİZİ**

**Yasin ZENCİR
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ**

BİLECİK, 2019



**ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**APPLICATION OF EXCAVATION SUPPORT SYSTEMS IN
FINITE ELEMENT METHODS: A CASE STUDY**

**Yasin ZENCİR
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ**

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31/07/2019 tarih ve 41/04 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Yasin ZENCİR'in "Sonlu Elemanlar Yönteminde Destekli Kazı Teknikleri Uygulaması: Vaka Analizi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

: Prof. Dr. Gülşim YILMAZ

ÜYE

: Dr. Öğr. Üyesi Kamil Bekir AFACAN

ÜYE

: Doç. Dr. Nazile URAL

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Gülgün YILMAZ 'a en içten dileklerle çok teşekkür ederim.

Bu çalıőmanın zenginleőmesi için değerli vaktini ayıran ve her türlü katkıyı sağlayan Prof. Dr. N. Sinan IŞIK 'a, Dr. Öğr. ye. Kamil Bekir AFACAN 'a, Öğr. Gör. Ersin GÜLER 'e teşekkür ederim.

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim. Her türlü yardımlarından dolayı değerli dostlarım İnaőat Mühendisi Ali POLAT 'a, İnaőat Mühendisi Gökhan ŐAHİN 'e ve İnaőat Mühendisi İbrahim CAN 'a teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu Üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmada kullanılmadığını beyan ederim.

..... /..... / 2019

Yasin ZENCİR

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE DESTEKLİ KAZI TEKNİKLERİ UYGULAMASI: VAKA ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, Yalova İlinde yapılacak olan 8 bloklu bir yapının kalıcı iksa sistemleriyle desteklenmesi yöntemleri ele alınmıştır. Zemin etüt raporu ve plankoteden alınan verilerle zemin profili oluşturulmuş olup projede hesap edilen gerçek bina yükleri kullanılarak Plaxis (Sonlu Elemanlar Yöntemi kullanılarak) programında modelleme yapılmıştır. Yapılan modellemede 4 blok arka arkaya bitişik olarak yapılmış ve bloklar arasında 4m kot farkı uygulanmıştır. Yapının bulunduğu yer afet riski taşıyan bölge olması sebebiyle önce statik haldeki deplasmanlar bulunmuş daha sonra dinamik analiz yapılarak deplasmanlar elde edilmiştir. Desteklenme yapısı olarak iki farklı (Diyafram Duvar, Fore Kazık) imalat tekniği seçilmiştir. Her imalat yöntemi için; ayrı ayrı statik halde analiz yapılmış ve yeryüzünde meydana gelmiş farklı deprem kayıtları kullanılarak dinamik analizlere ait deplasmanlar bulunmuştur. Kazıklı modellemede oluşan deplasmanların statik durumda ve depremlilik durumda diyafram duvarlı modellemede oluşan deplasmanlardan daha az olduğu görülmektedir. Bu durumda inşası yapılacak olan yapılar için bu projede kazıklı modelleme daha güvenli olacağından tercih edilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Statik Dinamik Yük; Destek Kazı Sistemleri; Plaxis

APPLICATION OF EXCAVATION SUPPORT SYSTEMS IN FINITE ELEMENT METHODS: A CASE STUDY

ABSTRACT

In this study, the methods of supporting a 8 - block structure with permanent systems in Yalova are discussed. Soil profile has been formed with the data obtained from Soil Investigation Report and the application plan. The model was created by using Plaxis (Finite Element Method) program under real building loads calculated in the project. In the model, 4 blocks were made adjacent to each other and 4m elevation difference was applied between the blocks. Since the building was constructed in earthquake region with a disaster risk, the initial deformations caused by the construction were determined first and then the deformations were compared with the ones observed from the dynamic analysis. 2 different (Diaphragm Wall, Pile) techniques were selected to support the structure. For each method; analyses were done separately and the deformations were found by using different earthquake records which occurred in the region and around the world. Since the deformations occurred in the dynamic analysis were too large, anchor sand/or geogrids were used in addition to the support structure. Earthquakes cause damages and soil bearing failures in the disaster risk areas. Therefore, precautions should be taken against the risk of collapse before construction starts. For this reason, it is vital to start construction by improving the soil with supporting systems.

Keywords: Static-Dynamic Loads; Retaining Systems; Plaxis

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
TEŞEKKÜR.....
BEYANNAME.....
ÖZET.....	I
ABSTRACT	II
ŞEKİLLER DİZİNİ	V
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	IX
1.GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. DESTEK SİSTEMLERİNE ETKİ EDEN YÜKLER.....	3
3.1 Yanal Toprak Basınçları.....	3
3.1.1 Sükunetteki yanal toprak basıncı	3
3.1.2 Aktif yanal toprak basıncı.....	5
3.2 Sürşarj Yükleri.....	6
3.3 Klasik Yanal Toprak Basınç Teorileri.....	8
3.3.1 Rankine teorisi.....	8
3.3.2 Coulomb teorisi.....	11
3.4 Deprem Etkisi ile Oluşan Kuvvetler.....	14
3.4.1 Yanal toprak basıncı değişimi.....	14
3.4.2 Destekleyici sistemin eylemsizlik kuvveti.....	16
3.4.3 Hidrodinamik kuvvetler	16
4. DESTEK SİSTEMLERİ.....	18
4.1 Diyafram Duvar.....	18
4.1.1 Diyafram duvar tekniğinin kullanıldığı yerler	18
4.1.2 Diyafram duvarların genel imalat yöntemleri.....	20
4.1.3 Diyafram duvarların genel özellikleri.....	22
4.1.2 Diyafram duvarların avantajları ve dezavantajları.....	23
4.2 Kazıklar	24
4.2.1 Kazıkların fonksiyonları	24
4.2.2 Kullanım amaçlarına göre kazıklar	25

4.2.3 İmal edildiği malzeme cinsine göre kazıklar	28
5. PROJE İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER.....	33
6. ZEMİN ÖZELLİKLERİ.....	34
7. PLAXİS PROGRAMINDA MODEL OLUŞTURMA VE STATİK - DİNAMİK ANALİZ UYGULAMASI	36
7.1 Statik Analiz	37
7.1.1 Kazıklı modellemede statik analiz	37
7.1.2 Diyafram duvarlı modellemede statik analiz	38
7.2 Dinamik Analiz	40
7.2.1 Kazıklı modellemede dinamik analiz	40
7.2.2 Diyafram duvarlı modelleme dinamik analiz	47
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR.....	54
ÖZ GEÇMİŞ.....

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1	Sükunetteki yanal toprak basıncı 4
Şekil 3.2.	İksa sistemine etki eden yanal basınçlar 5
Şekil 3.3	Aktif durumda Mohr-Coulomb (Dayıoğlu 2010) 5
Şekil 3.4	Duvar arkasında aktif durum (Dayıoğlu 2010) 6
Şekil 3.5	İksa sistemi arkasında sürşarj yükü oluşturan ekipmanlar (Dayıoğlu 2010).7
Şekil 3.6	Düzgün yayılı sürşarj yükünün duvara etkimesi..... 8
Şekil 3.7	Eğik duvar arkası Rankine aktif basıncı (Das, 2003) 10
Şekil 3.8	Rankine pasif toprak basınçları (Das, 2003) 10
Şekil 3.9	Kohezyonsuz zeminde Coulomb kama teorisi (aktif) (Sağlam, 2006 13
Şekil 4.1	Bodrum kazılarında diyafram duvar kullanılması (Bahar, 2009)..... 19
Şekil 4.2	Kılavuz Duvar (Natural Zemin 2016) 20
Şekil 4.3	Diyafram duvar imalat safhaları; (a) Kazı, (b) Stop-end'in yerleştirilmesi, (d) Donatının indirilmesi, (d) Panelin betonlanması (Bahar, 2009) 21
Şekil 4.4	Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (Aktepe, 2016) 27
Şekil 4.5	Çakma kazıklar (Çalışkan, 2003)..... 29
Şekil 4.6	Ankrajlı fore kazık uygulaması (Park Zemin ,2013 31
Şekil 4.7	Fore kazık imalat aşaması (Kent Harita Eğitim 2016) 32
Şekil 5.1.	Plankote 33
Şekil 5.2	İksa kesit görünüşü 33
Şekil 6.1	Sondaj çalışmalarında alınan karotlar (Akbaş, 2018) 34
Şekil 7.1	Plaxis programında yapının modellenmesi..... 36
Şekil 7.2	Plaxis programında kazık modelleme 37
Şekil 7.3	Kazıklı modelde statik analiz (deplasman 3,01 cm) 38
Şekil 7.4	Plaxis programında diyafram duvar modelleme 38
Şekil 7.5	Diyafram duvar modelinde statik analiz (deplasman 4,43 cm) 39
Şekil 7.6	Düzce depremine ait akselogram 40
Şekil 7.7.	Kazıklı modelde dinamik analiz (Düzce depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 21,24 cm) 40
Şekil 7.8	Van depremine ait akselogram (Güler, 2017) 41

Şekil 7.9	Kazıklı modelde dinamik analiz (Van depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 16,7 cm)	41
Şekil 7.10	Kocaeli depremine ait akselogram	42
Şekil 7.11.	Kazıklı modelde dinamik analiz (Kocaeli depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 22,2 cm)	42
Şekil 7.12	Erzincan depremine ait akselogram	43
Şekil 7.13.	Kazıklı modelde dinamik analiz (Erzincan depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 17,7 cm)	43
Şekil 7.14	Kobe depremine ait akselogram	44
Şekil 7.15	Kazıklı modelde dinamik analiz (Kobe depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 15,7 cm)	44
Şekil 7.16	Yeni Zelanda depremine ait akselogram	45
Şekil 7.17	Kazıklı modelde dinamik analiz (Yeni Zelanda depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 18,4 cm)	45
Şekil 7.18	Victoria depremine ait akselogram	46
Şekil 7.19	Kazıklı modelde dinamik analiz (Victoria depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 14,6 cm)	46
Şekil 7.20	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Düzce depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 30,7 cm)	47
Şekil 7.21	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Van depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 19,7 cm)	48
Şekil 7.22	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Kocaeli depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 53,5 cm)	48
Şekil 7.23	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Erzincan depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 49,5 cm)	49
Şekil 7.24	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Kobe depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 30,5 cm)	49
Şekil 7.25	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Yeni Zelanda depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 35,2 cm).....	50
Şekil 7.26	Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Victoria depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 22,8 cm)	50
Şekil 7.27	Statik analizde oluşan deplasmanlar	51

Şekil 7.28	Dinamik analizde kazık ve diyafram duvarda meydana gelen deplasmanlar	52
Şekil 7.29	İvme değerlerine göre kazıkta ve diyafram duvarda meydana gelen deplasmanlar	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Farklı zemin türlerinde aktif durumun oluşması için gereken yatay hareket (CGS, 1992)	6
Çizelge 4.1. Fore kazıkların en küçük çapları (Çalışkan, 2003)	30
Çizelge 6.1. Zemin cinsi ve zemin parametreleri	35
Çizelge 7.1. Kazık hesap değerleri	37
Çizelge 7.2. Diyafram duvar hesap değerleri.....	39

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklamalar
c	: Efektif kohezyon değeri
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
σ	: Yenilme – Kırılma yüzeyine etki eden normal gerilme
u	: Yenilme – Kırılma yüzeyine etki eden boşluk su basıncı
H	: Şev yüksekliği
z	: Derinlik
E	: Elastisite modülü
EA	: Eksenel rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
τ_f	: Kayma dayanımı
σ_1	: Büyük asal gerilme
ν	: Poisson oranı
γ	: Birim hacim ağırlık
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
K_p	: Pasif toprak basınç katsayısı
P_a	: Aktif toprak basıncı
q	: Sürşarj yükü
a_{maks}	: Pik ivme

1.GİRİŞ

Günümüzde artan nüfus yoğunluğu nedeniyle güvenli yerleşim alanları azalmakta ve yapılaşmada alternatif alanların kullanılması zorunlu hale gelmiştir. Artan ekonomik maliyetler ve inşaat mühendisliği alanında yaşanan tecrübeler sonucu teknolojik alanda ve malzeme bilimi alanında çok önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Tüm bunların sonucunda inşaat mühendisleri ve ilgili meslekler yer altına yönelmiş olup farklı destek yapılarının oluşturulması konusunda yöntemler geliştirmişlerdir. İnşa edilecek yapıya göre zemin değerleri araştırılıp en uygun destek yapısı belirlenebilmektedir. Söz konusu bu destek yapılarında oluşacak deplasmanlar, kuvvetler vs. bilgisayar sayesinde çok kısa zamanda ve doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Son yıllarda inşa edilecek yapının ve yan parsellerdeki yolların ve yapıların güvenliğini sağlamak için de destekli kazı yöntemleri zorunlu hale gelmiştir.

Bu çalışmada, Yalova İlinde yapılacak olan 8 bloklu bir yapının kalıcı iksa sistemleriyle desteklenmesi amacıyla diyafram duvar ve fore kazık destek yöntemleri ele alınmıştır. Destek sistemlerinin her biri öncelikle statik analiz uygulaması daha sonra da dinamik analiz uygulamasına tabi tutulmuştur. Dinamik analiz için ülkemizde meydana gelmiş olan Düzce 1999, Kocaeli 1999, Van 2011, Erzincan 1992 depremleri ile dünyanın değişik bölgelerinde meydana gelen büyük deprem kayıtları bölgeye uygulanarak sonuçlar elde edilmiştir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Güler (2014), yaptığı çalışmada kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde kazık ve kazık gruplarının yanal yüklerin etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Bu kapsamda farklı uzunluk ve çaptaki kazık ve kazık gruplarının davranışları, sonlu elemanlar yöntemini kullanan Plaxis 8.2 programını kullanarak, iki farklı ivmeli deprem yükü altındaki sonuçları karşılaştırmıştır. Bunlara ek olarak kazıkları saran zeminlerin özelliklerinin, zeminlerde oluşan tepkilerin etkileri araştırmış, kazıklarda oluşan yer değiştirmeler, kesme kuvvetleri ve eğilme momentleri ile ilgili elde edilen sonuçları karşılaştırmıştır. Elde edilen verilerin sonucunda, kumlu zeminlerde meydana gelen deplasmanlar killi zeminlerde oluşan deplasmanlardan daha fazla olduğu, ivme artışının kumlu zeminlerde eğilme momentini dört kat artırırken killi zeminlerde iki kat artırmış ve zemin tipinin değişmesi kazıklarda meydana gelen kesme kuvvetlerini çok etkilemediğinden bahsetmiştir.

Bülbül (2015) yaptığı çalışmada, Samsun ilinde Yokuş apartmanının güvenliğinin sağlanması amacıyla gerekli önlemlerin alınması için Plaxis 8.2 programı kullanılarak iksa sistemi tasarımı yapmıştır. Gerçek zemin parametrelerine göre yapılan iksa sisteminin, zemin değerlerinden kohezyon ve elastisite modülü değerleri değiştirilerek iksa sisteminde zemin parametrelerinin kesit değerlerine ve deplasmanlara olan etkilerini incelemiştir.

Karadağ (2019) yaptığı çalışmada, Yalova ilinde gençlik caddesindeki yolda meydana gelen çökme laboratuvar deneyleri sonucunda Plaxis ve Slide programlarını kullanarak incelemiştir. Beş farklı uzunluk ve üç farklı çaptaki kazıkları modelleyerek yapılması gereken en uygun kazık boyutunu belirlemiştir.

Dayıoğlu (2010) yaptığı çalışmada, iksa sistemlerine etki eden yükleri incelenmiş olup destekli kazılarda meydana gelen yanal toprak basınçları üzerinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca, gelen yükleri taşıyacak destek elemanlarını incelemiş, yapılan derin temel kazısının en önemli destek yapısı olan ankrajlar ve fore kazıklar detaylı şekilde incelenmiş olup kazı esnasında oluşan deplasmanlardan dolayı kazı çukuru etrafında meydana gelen hareketlerin ölçülmesi için aletsel ölçüm ve sonuçlarına değinmiş, yorumlar yapmıştır.

3. DESTEK SİSTEMLERİNE ETKİ EDEN YÜKLER

3.1 Yanal Toprak Basınçları

Destek yapılarının tasarımında yapılması gerekenlerin başında, zeminden etki eden kuvvetlerin büyüklükleri ve bu kuvvetlerin yönleridir. Bu kuvvet bileşenlerinin yatay olmasından dolayı bu durum yanal toprak basıncı olarak isimlendirilmiştir.

Zeminlerdeki yatay gerilmelerin sonucunda yanal toprak basınçları oluşur. Zeminin herhangi bir noktasındaki yatay efektif gerilmenin, zeminin o noktadaki düşey efektif gerilmeye oranı yanal toprak basıncı katsayısını verir. (Coduto, 2001). Yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki eşitlik (3.1) ile bulunur.

$$K = \sigma'_h / \sigma'_v \quad (3.1)$$

Burada; K yanal toprak basıncı katsayısını, σ'_h yatay efektif gerilmeyi, σ'_v düşey efektif gerilmeyi tanımlamaktadır.

3.1.1 Sükunetteki yanal toprak basıncı

Sükunetteki durumda yatay deplasman yoktur ve zemin elastik durumdadır. Bu şekilde meydana gelen yanal toprak basıncına, sükunetteki yanal toprak basıncı olarak isimlendirilir ve “ K_0 ” ile gösterilir.

Arazide yapılan presiyometre deneyi ile en doğru şekilde K_0 değeri bulunur. Ancak uygulamada zemin parametrelerinden elde edilen ampirik korelasyonlar kullanılarak K_0 değeri hesaplanmaktadır (Dayıoğlu 2010).

$$\text{Toprak basıncı katsayısı} = K = K_0 = \sigma_h / \sigma_v \quad (3.2)$$

Zemin mekaniğinde düşey gerilmeler kolay hesaplanabilirken, yanal gerilmeler için bir katsayı kullanılır. Yatay ve düşey gerilmeler aşağıdaki eşitliklerle belirlenir (Sağlam 2006).

$$\sigma_v = \gamma h \quad (3.3)$$

$$\sigma_h = \gamma h K_0 \quad (3.4)$$

Bu formülde; σ_v düşey gerilmeyi, σ_h yatay gerilmeyi, γ zeminin birim hacim ağırlığı, h basıncın hesaplandığı derinliği ifade etmektedir. K_0 çeşitli eşitliklerle hesaplanabilir;

Kohezyonsuz zemin ve normal konsolide killer için;

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

Aşırı konsolide killer için;

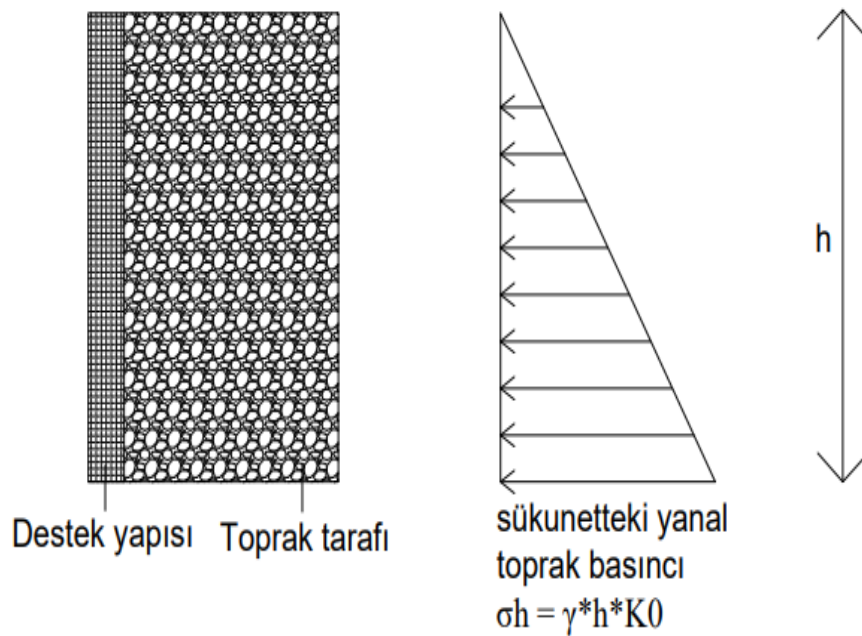
$$K_0 \text{ aşırı konsolide} = K_0 \text{ normal konsolide} \text{OCR}^{0.5}$$

Elastisite teorisinden yararlanılarak;

$$K_0 = \nu / (1 - \nu)$$

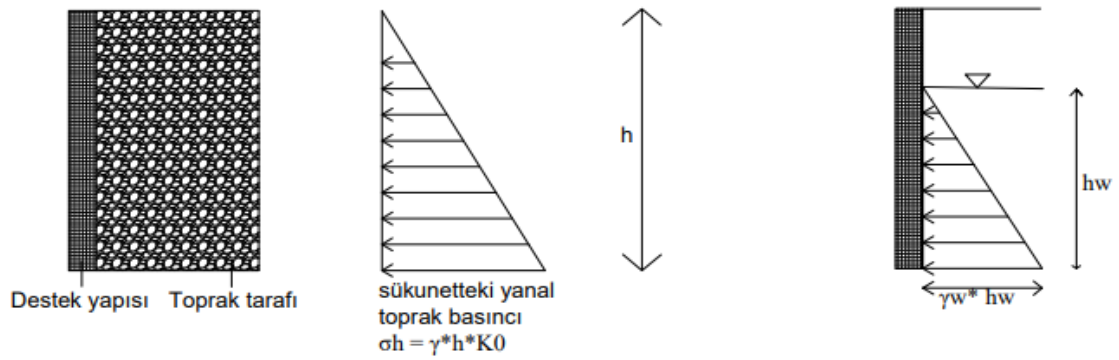
Burada; ν poisson oranını ifade ediyor.

Homojen zeminlerde K_0 değeri sabit olup, σ_h derinlikle birlikte doğrusal olarak artar. Bu durumdaki sükunetteki yanal toprak basıncı aşağıda Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3. 1. Sükunetteki yanal toprak basıncı.

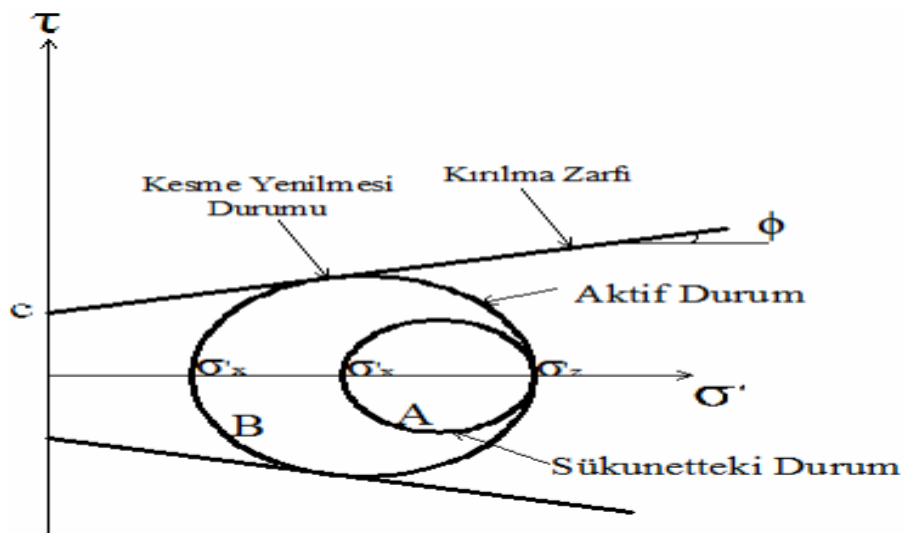
Yeraltı suyunun mevcut bulunduğu durumlarda hidrostatik basınçlar yatay toprak basınçlarına eklenmelidir. Yeraltı suyunun olduğu durumlarda duvara etkileyen yanal basınçlar Şekil 3.2'de verilmiştir.



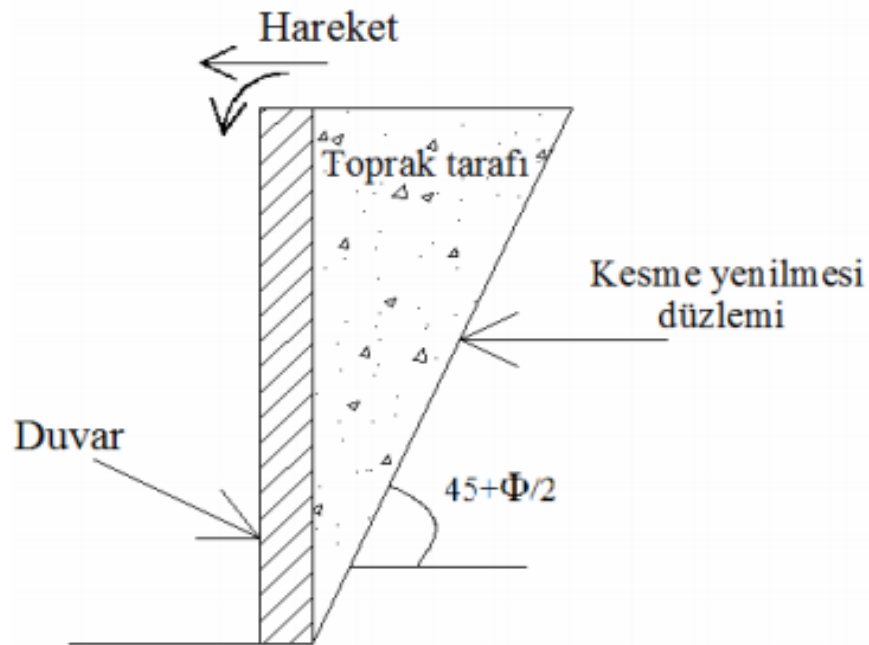
Şekil 3.2. İksa sistemine etki eden yanal basınçlar (yeraltı suyunun bulunması durumu).

3.1.2 Aktif yanal toprak basıncı

Sadece duvarın hareket etmediği durumda sükunetteki durumdan bahsedilir. Şekil 3.3 'de A ile gösterilen Mohr dairesinin Şekil 3.4'te gösterilen duvarın arkasındaki bir noktadaki gerilme durumunu temsil ettiği ve sükunette olduğu düşünülürse, bu noktadaki Mohr dairesi, yenilme zarfına dokunmadığından dolayı kesme dayanımı kesme gerilmesinden büyük olmaktadır. Duvar bir miktar hareket ederse yatayda olan gerilmelerin bir kısmı bitecek ve bu durum Mohr dairesinin sola doğru büyümesine sebep olacaktır. Sola doğru büyüyen Mohr dairesi kırılma zarfına değdiğinde zeminde kesme yenilmesi gerçekleşecektir. Meydana gelen bu kesme yenilmesi Şekil 3.4 'de gösterilen ve yatayla $45+(\phi/2)$ derece açı yapan düzlemde gerçekleşecektir (Dayıoğlu 2010).



Şekil 3.3. Aktif durumda Mohr-Coulomb (Dayıoğlu 2010).



Şekil 3.4. Duvar arkasında aktif durum (Dayıoğlu 2010).

Farklı tipteki zeminlerde aktif durumun oluşması için gereken yatay hareketin büyüklüğü, destek yapısı olan duvarın yüksekliğine bağlı olarak Çizelge 3.1’ de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Farklı zeminlerde aktif durumun oluşması için gereken yatay hareket (CGS, 1992).

Zemin Türü	Aktif duruma erişilebilmesi için gerekli yatay hareket (H: Duvar yüksekliği)
Sıkı Kum	0.001 H
Gevşek Kum	0.004 H
Katı Kil	0.010 H
Yumuşak Kil	0.020 H

3.2 Sürşarj Yükleri

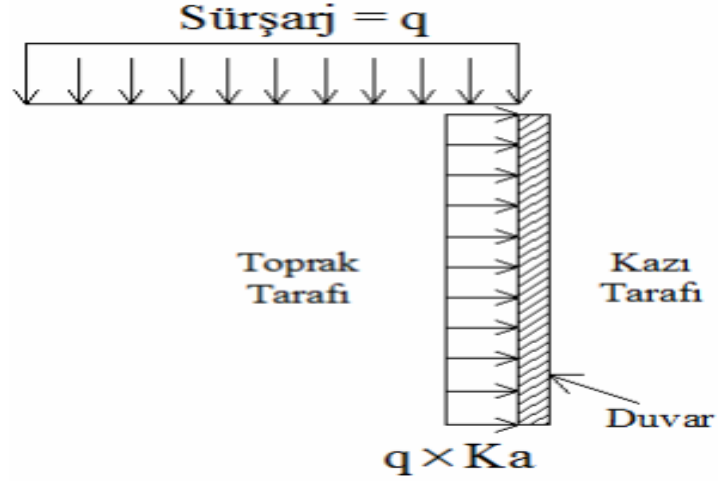
Sürşarj yükleri kazı çukurunun çevresinde yer alan komşu binalar, ulaşım yolları ve bu yollar üzerinde seyreden trafik, inşaat esnasında veya öncesinde yapılan dolgular, stoklanmış inşaat malzemeleri, vinçler, beton pompaları gibi etkenlerden dolayı, iksa sistemlerine etkileyen sürşarj yükleri oluşmaktadır. Bu durumdaki yüklerin duvar üzerine olan etkisi zemin için doğrusal elastik davranış kabul edilerek hesaplanmaktadır

(Birand, 2006). İksa sistemi üzerine sürşarj yükü teşkil eden ekipmanlara bir örnek Şekil 3.5 'de görülmektedir.



Şekil 3.5. İksa sistemi arkasında sürşarj yükü oluşturan ekipmanlar (Dayıoğlu 2010).

Sürşarj yükleri iksa sistemlerine farklı şekillerde etki etmektedirler. Noktasal yük, çizgisel yük, yatay yük ve düzgün yayılı yük gibi farklı yükleme şekilleri vardır. Pratikte genelde düzgün yayılı yük kabulü yapılır. Düzgün yayılı yüklemelerde, yayılı yükün yanal toprak basıncı katsayısı ile çarpılmış olarak Şekil 3.6'daki gibi etki ettiği kabul edilmektedir.



Şekil 3.6. Düzgün yayılı sürşarj yükünün duvara etkimesi.

3.3 Klasik Yanal Toprak Basınç Teorileri

3.3.1 Rankine teorisi

Aşağıdaki kabullerin yapılması durumunda Rankine teorisi geçerlidir (Coduto, 2001).

- Problem iki boyutta incelenecek şekilde duvar uzunluğu sonsuzdur.
- Zemin izotrop ve homojendir.
- Aktif veya pasif basınç şartlarının yerine getirilebilmesi kadar duvar hareket eder.
- Zemin ile duvar arasındaki sürtünme yoktur ve duvar rijittir.
- Duvar arkasında zemin üçgen ve rijit kama şeklinde kırılır.

Aktif durumda elemana etkiyen düşey gerilme sabit kalırken yatay gerilme azalarak sabit bir noktaya varır. Bu durumda, zemin düzlemler boyunca yatayla $45+(\phi/2)$ açılar yaparak kırılır. Aktif durumda oluşan yatay ve düşey gerilmeler arasında aşağıdaki eşitlikler vardır (Sağlam 2006). Herhangi bir z derinliğine etkiyen aktif toprak basıncı σ_a ile gösterilirse;

- Kohezyonsuz zeminlerde

$$\sigma_a = K_a \sigma_0$$

$$\sigma_0 = \gamma z$$

(3.5)

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$$

- Kohezyonlu zeminlerde

$$\sigma_a = K_a \sigma_0 - 2c K_a^{(1/2)}$$

$$\sigma_0 = \gamma z \quad (3.6)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \text{ aktif durumda}$$

Bu eşitliklerde; σ_a aktif yanal toprak basıncını, c zemindeki kohezyonu, K_a aktif yanal toprak basıncı katsayısını, γ zeminin birim hacim ağırlığını, ϕ içsel sürtünme açısını temsil etmektedir.

Destek yapısı arkasındaki zeminin yatayla β açısı yapması durumunda; aktif durumda yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki (K_a) eşitliği ile pasif durumda yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki (K_p) eşitliği ile hesaplanmaktadır (Birand, 2006).

$$K_a = \frac{\cos \beta - \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)}}{\cos \beta + \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)}}$$

(3.7)

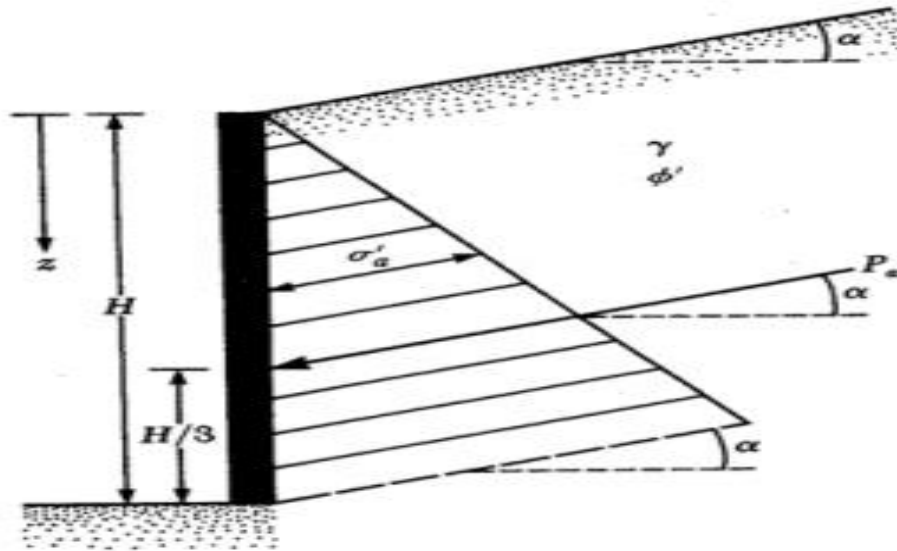
$$K_p = \frac{\cos \beta + \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)}}{\cos \beta - \sqrt{(\cos^2 \beta - \cos^2 \phi)}}$$

(3.8)

- Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgu halinde ($c = 0, \alpha \neq 0$);

Rankine aktif basıncı herhangi bir z derinliğinde şu şekilde ifade edilebilir:

$$\sigma_a = K_a \gamma z \quad (3.9)$$



Şekil 3.7. Eğik duvar arkası Rankine aktif basıncı (Das, 2003).

Aktif zemin basıncı katsayısı K_a ;

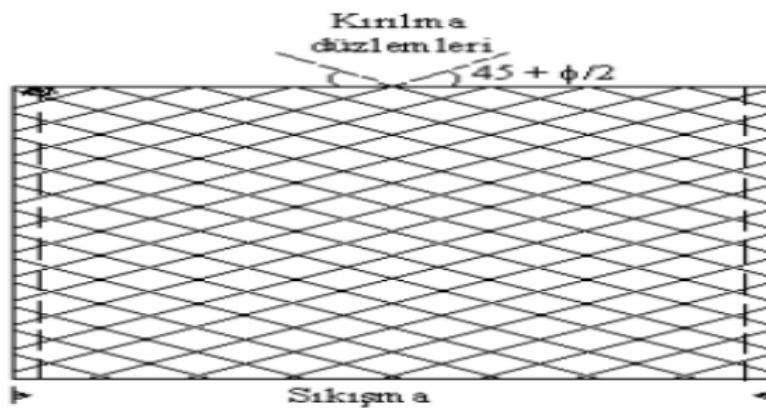
$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad (3.10)$$

Ayrıca duvarın arkasına gelen ve yatayla α açısı yapan toplam kuvvet;

$$P_a = (1/2) \gamma H^2 K_a \quad (3.11)$$

3.3.1.1 Pasif Rankine durumu

Eğer yarım sonsuz ortam, yanal bir sıkışmaya tabi tutulursa, zemin ortamında pasif durum (Pasif Rankine Durumu) yaratılır (Uzuner, 2007).



Şekil 3.8. Rankine pasif toprak basınçları (Das, 2003).

Pasif durumda elemana etkiyen düşey gerilme sabit kalırken yatay gerilme artarak sabit bir noktaya ($\sigma_0 = \sigma_p$) varır. Bu durumda, zemin düzlemler boyunca yatayla $45 - (\phi/2)$ açılar yaparak kırılır. Pasif durumda oluşan yatay ve düşey gerilmeler arasında aşağıdaki eşitlikler vardır (Sağlam 2006). Herhangi bir z derinliğine etkiyen pasif toprak basıncı σ_p ile gösterilirse;

- Kohezyonsuz zeminlerde

$$\sigma_a = K_p \sigma_h$$

$$\sigma_0 = \gamma z \quad (3.12)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2)$$

- Kohezyonlu zeminlerde

$$\sigma_p = K_p \sigma_h + 2c K_p^{(1/2)}$$

$$\sigma_h = \gamma z \quad (3.13)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \phi/2) \text{ pasif durumda}$$

- Kumlu zeminlerde eğik duvar arkası dolgu halinde ($c = 0, \alpha \neq 0$);

Rankine pasif basıncı herhangi bir z derinliğinde şu eşitlik (3.14) ile ifade edilir;

$$\sigma_p = K_p \gamma z \quad (3.14)$$

Pasif zemin basıncı katsayısı K_p ;

$$K_p = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}$$

Pasif itki ise;

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (3.15)$$

3.3.2 Coulomb teorisi

Coulomb (1776), duvar arkaya veya öne doğru hareket ederken, duvarın arkasında kayan zeminin dengesini dikkate almıştır. Zeminin kohezyonsuz olması durumunda kayan kütle üçgen biçimindedir ve bu kütle bir kayma düzlemi üzerinde kayar. Coulomb bu teoriyi ortaya atarken aşağıdaki kabulleri yapmıştır.

- Zemin homojendir ve izotropdur.
- Kayma yüzeyi bir düzlemde gerçekleşir.
- Zemin ve duvar arasında sürtünme vardır.
- Sürtünmeler kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılır.
- Kayma kaması rijit kütle şeklindedir.
- Coulomb Kama Teorisinin en önemli kabulü, duvar arkasının pürüzlü olduğu ve sürtünmenin olduğudur.

Duvar arkası zemininin yüzeyinin eğimli olması halinde zeminin granüler olması gerekmektedir. Zemin yatay konumda ise kohezyonlu bir zemin için de hesap yapılabilir (Birand, 2006).

Bu teoride de aktif toprak basıncı en genel hali ile aşağıdaki eşitlikteki (3.16) gibi hesaplanabilir:

$$P_a = K_a \gamma H - 2c K_a^{(1/2)} \quad (3.16)$$

Bu bağlamda; P_a aktif yanal toprak basıncını, c zemindeki kohezyonu, K_a aktif yanal toprak basıncı katsayısını, γ zeminin birim hacim ağırlığını, H derinliği temsil etmektedir. Coulomb Teorisi'nin, Rankine Teorisi'nden en önemli farkı yanal toprak basıncı katsayısının hesabındadır. Rankine Teorisi'ne göre daha fazla değişkenli durumlarda çözüm üretebilmeyi sağlayan Coulomb Teorisine göre aktif yanal toprak basıncı katsayısı (3.17) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi) \times \cos \delta}{\sin \theta \times \sin(\theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \times \sin(\phi - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \times \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (3.17)$$

Duvar sürtünmesinin var olması durumunda pasif basınç hesapları gerçeğe göre yüksek sonuçlar verir. Bu nedenle sürtünme ihmal edilir. Bu durumda dikey yüzeyli bir duvar için pasif yanal toprak basıncı katsayısı aşağıdaki eşitlik (3.18) ile hesaplanabilir

(Birand,2006).

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin \phi \times \sin(\phi + \beta)}{\cos \beta}} \right]^2} \quad (3.18)$$

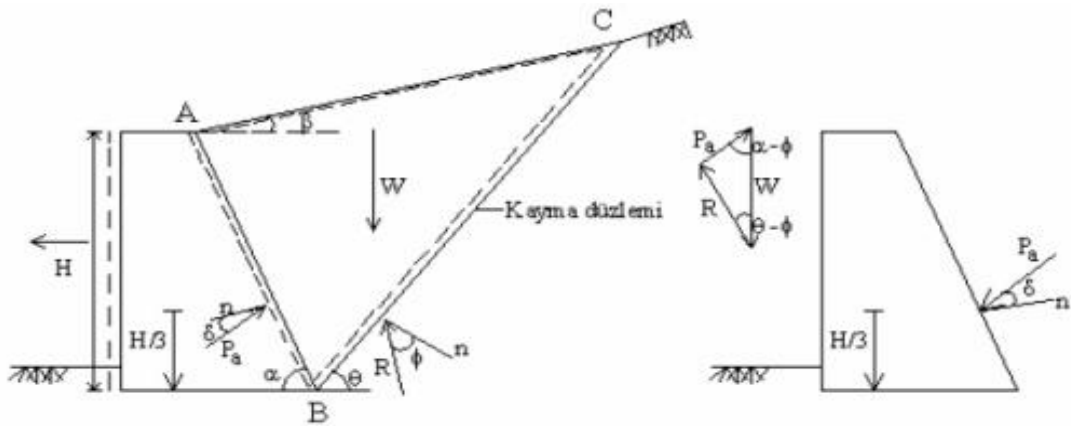
Bu bağıntılarda, θ duvar yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı, δ duvar sürtünme açısını ve ϕ içsel sürtünme açısını temsil etmektedir.

Coulomb yanal toprak basınçlarını ($\alpha \neq 90^\circ$, $\beta \neq 0^\circ$, $\delta \neq 0^\circ$) ve kumlu zemin ($c=0$) halinde bir formülle vermiştir.

Kohezyonsuz zeminlerde, aktif durumda duvar öne doğru hareket ederken, üçgen kama aşağıya doğru hareket eder.

Şekil 3.9 da ABC zemin kaması dengede olup, kamaya şu kuvvetler etkimektedir. ABC kamasının kendi ağırlığı (W), BC kayma düzlemi boyunca etkiyen R bileşke kuvveti ve AB düzlemi boyunca etkiyen P_a aktif bileşke kuvveti. Kama aşağı doğru hareket ettiği için, P_a ve R kuvvetleri, sürtünmelerden dolayı, yüzey normaleri ile hareket yönünün tersi tarafta, sırayla δ ve ϕ açıları yapar. BC kayma düzleminde, ϕ zeminin zeminle sürtünme açısı'dır. δ ise duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısıdır. Bu üç kuvvetin dengesi yazılıp, P_a aktif bileşke kuvvetinin maksimum olması koşulu kullanılırsa, aşağıdaki eşitlik ile elde edilir (Sağlam, 2006).

$$P_a = (1/2) K_a \gamma H^2 \quad (3.19)$$



Şekil 3.9. Kohezyonsuz zeminde Coulomb kama teorisi (aktif durum) (Sağlam,2006).

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha+\phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha-\delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta) \sin(\phi-\beta)}{\sin(\alpha-\delta) \sin(\alpha+\beta)}} \right]^2} \quad (3.20)$$

3.4 Deprem Etkisi ile Oluşan Kuvvetler

Dayanma yapılarına depremin olumsuz etkileri üç madde şeklinde sıralanabilir.

- Arka zeminin suya doygun olması halinde artan yanal itki, temel zeminin sıvılaşması sonucu oluşan çok büyük zemin basıncı duvarların ötelenmesine sebep olmaktadır.
- Doygun olmayan dolgulu sistemlerde depremin etkisi daha azdır.
- İyileştirilmiş zemin duvarları (zemin çivili ve ankrajlı duvarlar) klasik diğer duvarlara göre depremde gösterdikleri davranış çok daha iyidir (Yıldırım, 2004).

Yanal toprak basınçları deprem durumlarında değişiklik göstermekte (artmakta) ve yeraltı suyunun olduğu zeminlerde deprem esnasında oluşan su basınçları, iksa sistemini etkileyen diğer deprem yükleridir.

3.4.1 Yanal toprak basıncı değişimi

“Toprak Kaması” teorileri üzerinden yola çıkılarak deprem etkisiyle oluşan yanal toprak basınçları hesaplanmaktadır. Mononobe-Okabe 1929 yılında depremli durumdaki yanal toprak basınçlarının hesabı ile ilgili bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için aşağıdaki kabuller yapılmıştır (Birand, 2006).

- Aktif basıncın oluşmasını sağlayacak kadar duvar hareket eder.
- Destek yapısının arka yüzeyi eğimli olsa bile düzlem olarak kabul edilir.
- Destek yapısının arkası eğimli olması durumunda, zemin ya tamamen su altında ya da tamamen suyun üstünde olduğu kabul edilir.
- Sürşarj yükleri üniform kabul edilir.
- Zemin granüler olduğunda kohezyon değeri sıfır ($c=0$) olarak kabul edilir.
- Sıvılaşma olmadığı kabul edilir.

Kuru zemin kamasına etki eden Mononobe-Okabe aktif kuvveti aşağıdaki eşitlik (3.21) ile hesaplanabilir:

$$P_{AE} = (1/2) K_{AE} \gamma (1-k_v) h^2 \quad (3.21)$$

Buradaki K_{AE} depremlili durumdaki aktif yanal toprak basıncı katsayısı gibi olup aşağıdaki eşitlik (3.22) ile hesaplanır:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \psi - \theta)}{\cos \psi \times \cos^2 \theta \times \cos(\psi + \delta + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \times \sin(\phi - \psi - \beta)}{\cos(\beta - \theta) \times \cos(\psi + \delta + \theta)}} \right]^2} \quad (3.22)$$

Kuru zemin kamasına etki eden Mononobe-Okabe pasif kuvveti aşağıdaki eşitlik (3.23) ile hesaplanabilir:

$$P_{PE} = (1/2) K_{PE} \gamma (1-k_v) h^2 \quad (3.23)$$

Bu eşitlikteki K_{PE} bir nevi depremlili durumdaki pasif yanal toprak basıncı katsayısı gibi olup aşağıdaki eşitlik (3.24) ile hesaplanır:

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi - \psi + \theta)}{\cos \psi \times \cos^2 \theta \times \cos(\psi + \delta - \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \times \sin(\phi - \psi + \beta)}{\cos(\beta - \theta) \times \cos(\psi + \delta - \theta)}} \right]^2} \quad (3.24)$$

Yukarıdaki eşitliklerde yer alan semboller aşağıdaki gibi isimlendirilmektedir (Birand, 2006):

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

k_v : Düşey ivme (g olarak),

k_h : Yatay ivme (g olarak),

h : Yükseklik,

ϕ : Zeminin içsel sürtünme açısı,

ψ : Sismik açı $[(k_h/(1-k_v))]$,

θ : Destek sistemi arkası zemininin yatayla yaptığı açı,

δ : Duvar sürtünme açısı,

β : Duvar yüzeyinin eğimi,

Coulomb Kaması'nın su seviyesinin altında olması durumunda deprem katsayısı aşağıdaki eşitlik (3.25) ile hesaplanır:

$$k_h' = \frac{\gamma_d}{\gamma_a} \times k_h \quad (3.25)$$

Mononobe-Okabe eşitliği hemen hemen tüm destek yapıları için kullanılmaktadır. Örneğin ağırlık duvarları, ankrajlı destekler, mekanik olarak iyileştirilmiş (donatılı vs.) desteklerde aynı yöntem uygulanabilir. Uygulamada diğer statik benzeşimli uygulamalarda olduğu gibi uygun sismik katsayının seçimi önem kazanmaktadır (Yıldırım, 2004).

3.4.2 Destekleyici sistemin eylemsizlik kuvveti

Destekleyici sistemin eylemsizlik kuvveti F , Coulomb kamasının dışında kalan bölgedeki zemin suyu ve zeminin ağırlıkları ile duvarın kendi ağırlığı toplamı W 'nin, yatay deprem ivme katsayısı ile çarpılması ile aşağıdaki eşitlikteki (3.26) gibi hesaplanır (Birand, 2006).

$$F = W k_h \quad (3.26)$$

3.4.3 Hidrodinamik kuvvetler

Yeraltı suyunun duvarın arkasındaki zeminin üstünde olması durumunda, deprem nedeniyle oluşan basınç, Westergaard tarafından önerilen ve su yüzeyinden y derinliğinde oluşan basınç aşağıdaki bağıntı (3.27) ile bulunur.

$$P_E = C_E k_h (h - y)^{1/2} \quad (3.27)$$

Bu bağıntının integrali, eylemsizlik kuvvetini verir ve aşağıdaki eşitlik (3.28) ile hesaplanır.

$$F_E = (2/3) C_E k_h h^2 \quad (3.28)$$

Bu eşitlik basıncın derinlikle bir parabol tanımı ile dağıldığını gösterir. C_E katsayısı kN-sn-m birimleri ile $C_E = 2,47$ olarak alınabilir.

Bu kuvvetin etki ettiği nokta, su seviyesinin tabandan h kadar yüksek olması durumunda $0.4h$ kadar yukarda etki eder. Bu bağıntı basıncın derinlikle bir parabol

tanımı ile dağıldığını gösterir. C_E katsayısı kN-sn-m birimleri ile $C_E = 2,47$ olarak alınabilir (Dayıoğlu, 2010).

4. DESTEK SİSTEMLERİ

4.1 Diyafram Duvar

1950’li yıllarda Avrupa’da geliştirilen diyafram duvarlar; iksa sistemleri, kalıcı temel duvarları, kazılarak bitişik olan yapıları tutmak ve yeraltı geçirimsizlik perdesi olarak inşa edilecek destekli kazı tekniğidir. Türkiye’deki kullanımı 1980’li yıllardan sonra başlamış olup günümüze kadar geliştirilerek devam etmektedir.

4.1.1 Diyafram duvar tekniğinin kullanıldığı yerler

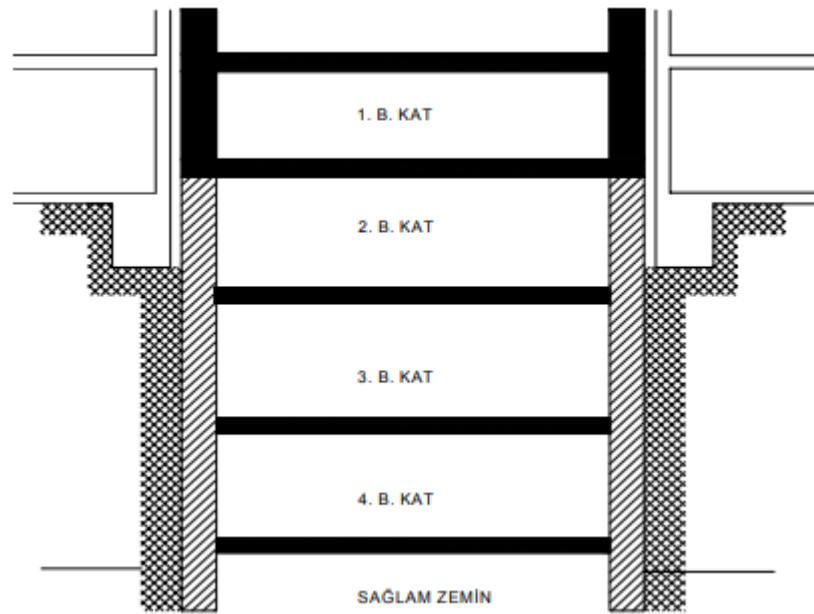
4.1.1.1 Köprü ayakları ve istinat yapıları

Diyafram duvar tekniği karayollarının yapımı esnasında yapılan sıkıntılı yarma şevlerinin istinat yapısına gerek görüldüğü yerlerde ekonomik bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Yerleşim bölgelerinden geçen karayollarının yarmalar olması durumunda yarma şevlerinin ve yarma üzerinde yer alan yapı temellerinin güvenliği için diyafram duvarlara ihtiyaç vardır. Yol kazısı yapılmadan önce diyafram duvar imalatı yapılarak kazılacak yerlerin ve üzerindeki yapıların stabilitesi sağlanır.

4.1.1.2 Yapı temelleri

Yerleşim yerlerinin yoğun olduğu ve arsa maliyetlerinin yüksek olduğu bölgelerde derin kazıların önemi artmaktadır. Yapı bodrum temellerinin kazısı sırasında zeminde kayma ve göçmeler olabilir. Bundan dolayı komşu yapılarda ve yan yollarda göçmeler meydana gelebilmektedir. Bu tür durumlarda diyafram duvarlar kullanılmaktadır.

Diyafram duvarlar istenilmesi durumunda bodrum perdesi (duvarı) olarak da kullanılabilir. Bu durumda diyafram duvarın taşıyıcı eleman olarak kullanılması söz konusu olacaktır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Bodrum kazılarında diyafram duvar kullanılması (Bahar, 2009).

4.1.1.3 Aç kapa yöntemiyle inşa edilen tüneller

Derin olmayan tünellerin yapımında kullanılan ekonomik yöntemlerden biri aç-kapa yöntemidir.

Kazı alanı genişliklerini en aza indirmek ve şevli kazılardan kaçınmak için diyafram duvar tekniği kullanılabilir. Bununla birlikte diyafram duvarlar tünelin yan duvarları olarak kullanılabilir. Duvar yapıldıktan sonra kazının yapılması, tünel tavanıyla veya zemin ankrajlarıyla desteklenmesi zemin deplasmanlarını minimuma indirilmesi sağlanır (İnan, 2000).

4.1.1.4 Geçirimsizlik perdeleri

Yeraltı suyunun yüksek olduğu yerlerde kazı esnasında kazı çukurunu kutu tutmak veya barajlarda meydana gelebilecek sızıntıları en aza indirmek için geçirimsizlik perdesi olarak diyafram duvarlar kullanılmaktadır. Bentonit çamurunun diyafram duvar imalatında kullanılması ayrıca sızıntıları önlemede önemli rol oynar.

4.1.1.5 Heyelan önleme yapıları

Yamaçlarda kayma düzlemi boyunca kaymaları önlemede veya dolgu şevlerindeki kaymaları tutmada önemli bir çözümdür.

4.1.2 Diyafram duvarların genel imalat yöntemleri

Diyafram duvar inşası öncesinde diyafram duvarın uygulanacağı hat üzerinde duvar kalınlığına göre ara mesafesi belirlenmiş kılavuz duvarlar kullanılır. Kılavuz duvarlar yerinde dökme betonarme veya prekast olarak inşa edilebilir (Şekil 4.2). Kılavuz duvarların:

- Diyafram duvarın fiziki konumunu teyit edecek ve doğru konumda inşa edilmesini sağlamak,
- Kazıcı diyafram duvar ekipmanına kılavuzluk görevi yapmak,
- Kazı esnasında kullanılan bulamaç çamuruna bir rezervuar sağlamak,
- Diyafram duvar donatı kafesinin konumunda asılmasını sağlamak amacıyla sabit bir destek olmak, gibi birçok işlevi vardır.



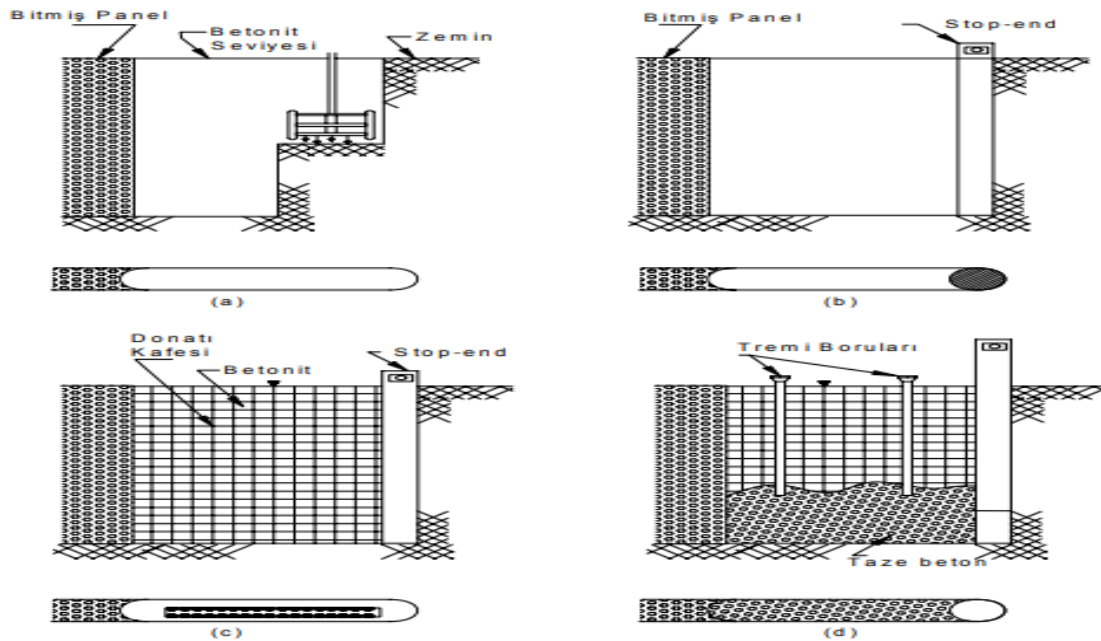
Şekil 4.2. Kılavuz Duvar (Natural Zemin 2016).

Diyafram duvarlar yapım koşullarına göre hidrolik ekskavatör ve teleskopik ağızlı veya kaşık gibi kazı aletleri kullanılır (Dayıoğlu, 2010).

Diyafram duvarların yapımında bulamaç tekniği kullanılmaktadır. Bu teknikte dar hendekler kazılarak içerisine iç sıvı veya bulamaç doldurularak yapılır. Bentonit bulamacı kazılan hendek duvarlarına hidrolik basınç uygulanır ve hendek içindeki zeminin göçmesini engelleyerek destek görevi görür (Demir, 2015).

Diyafram duvarın imalat sırası şu şekilde yapılmaktadır;

- İstenilen derinlikte ve çapta kazı makinesiyle düşey bir kuyu açılır. Kazı sırasında kuyunun stabilitesini sağlamak için bentonit çamuru veya polimer kuyunun içine pompalanır (Şekil 4.3a).
- Tamamlanan kazı işlemi sonrası yapılacak olan panellerin arasında birleşim sağlamak için kuyunun kenarlarına dairesel kaplama boruları indirilir (Şekil 4.3b).
- Polimer veya bentonit bulamacıyla dolu olan kuyunun içine daha önceden dışarıda hazırlanmış diyafram duvarın panel şeklindeki donatıları indirilir. Paneller genellikle 3 ile 6 metre arası uzunlukta yapılırlar (Şekil 4.3c).
- Kuyunun tabanına indirilen tremi borularıyla kuyuya taze beton dökülür. Beton dökülürken kuyunun içindeki bulamaç yukarıya doğru çıkarak beton bitiminde kuyudan tamamen taşar ve yeniden kullanılmak için havuzlara pompalanır. Kuyunun kenarına yerleştirilen borular kademeli olarak çekilip çıkarılır (Şekil 4.3d).



Şekil 4.3. Diyafram duvar imalat safhaları; (a) Kazı, (b) Stop-end'in yerleştirilmesi, (c) Donatının indirilmesi, (d) Panelin betonlanması (Bahar, 2009).

Diyafram duvar uygulanmasında öncelikle dikkat edilmesi gereken faktörler ve meydana gelebilecek sorunlar şu şekildedir,

- Özellikle dinamik durumlar için bentonit dolu kuyunun stabilitesi. Zemin özellikleri, panel genişlikleri ve uzunlukları, donatının yerleştirilmesi, çevredeki titreşimler ve kazıyı yapan makinadan oluşabilecek etkiler düşünülmelidir.

- Kuyuya beton dökümü sırasında bentonit çamurunun kuyudan tamamen atılması gerekir. Aksi durumda bentonit çamuru betona karışabilir ve dayanımı düşük kesitler meydana getirebilir.

- Yapımı tamamlanan duvarın istenilen performansı ve yapının toplamıyla olan ilişkisi. Bu durum panellerin yapıyla ve birbirleriyle olan birleşimine, panellerin şekli (geometrisi), duvarın geçirimsizlik oranına, betonda oluşan boşluklara, kesit yapılarına ve duvarın yapacağı yer değiştirmelere göre değişebilir.

4.1.3 Diyafram duvarların genel özellikleri

Panel boyutları imalat yapılacağı şantiye şartlarında değişebilir. Paneller istenilen zamanda şantiye koşullarında mal edilmeyebilir. Paneller betonarme veya prefabrik olarak yapılabilirler.

4.1.3.1 Panel uzunluğu

Diyafram duvarları uzun panellerle yapmak daha faydalıdır. Düşeydeki birleşimlerin azalması, duvarların düşeyliliği daha kolay kontrol edilmesine katkı sağlayacak ve duvarın daha az su sızdırması sağlanacaktır. Panel uzunluğunu ayrıca şu faktörler de etkilemektedir:

- Yanal stabilite ve bentonit çamuru kaybı: Daha kısa paneller kuyunun stabilitesini arttırmaktadır. Ayrıca yüksek permeabiliteye sahip veya geniş oyukları bulunan zeminlerde bentonit çamurunun kaybını önlemek için daha kısa panellere çalışmak daha uygun olmaktadır. Kısa paneller genellikle 1.2-2.4 m genişliklerinde olmaktadır.

- Betonlama yöntemi: Yerinde dökme betonarme duvarlarda taze betonda hissedilir bir sertleşme meydana gelmeden önce beton döküm işlemi tamamlanmış olmalıdır. Pratik olarak beton döküm süresi 4 saati geçmemelidir. Ortalama bir panel uzunluğu, 3.5-4.5 m., tek bir tremi borusu ile dökülebilir. Uzun panellerin betonlanmasında çift tremi borusu kullanılması daha faydalı olabilir.

- Donatı kafesi: Donatı kafesi yerinde hazırlanmalı ve boyutları uygun değilse şantiye koşullarına göre sınırlandırılmalıdır. Kafesin ağırlığı mevcut ekipmanın kaldırma ve yerleştirme kapasitesini aşmamalıdır.

- Destek ve ankrajların yeri: Panel uzunlukları ve buna bağlı olarak da panel birleşim yerleri desteklerin yerleşimi ile koordinasyonlu olarak belirlenmelidir. Eğer ankrajlar kullanılacaksa ankraj mesafeleri ile kapasiteleri panel uzunlukları ile beraber düşünülerek optimum çözüm bulunmalıdır.

- Kazıda kullanılan ekipman: İmal edilen diyafram duvarın bir panelin uzunluğu kazıda kullanılan ekipman bir seferde kazabileceğinden daha küçük olamaz. Daha uzun paneller için kazı kolaylığı göz önünde bulundurulmalıdır (kazı için kullanılan ekipmanın çeneleri yülü simetrik olarak aldıklarında özellikle sıkı zeminlerde daha verimli çalışabilirler ve kepçeler daha çok doldukça bu verim artar).

- Diğer faktörler: Bu faktörler çeşitli şantiye ve trafik faktörleri olabilir: Betonun zamanında gelmemesi, bentonit çamurunu biriktirmek için havuz oluşturulacak bir yerin bulunamaması, donatı demirinin depolanamaması, istenilen anda yeterli miktarda su temin edilememesi gibi (İnan, 2000).

4.1.3.2 Duvar derinliği

Projelerde genelde kazı derinliği kazıda kullanılacak ekipmanların kazı yapabilme sınırında kalmaktadır. Bu yüzden diyafram duvar derinliği proje dizayn sırasında seçilebilir. Duvar düşeydeki yükleri taşıyabilmesi için sağlam bir zemin tabakasına oturabilir, kazı sırasında suyun sızmasını engellemek için geçirimsiz tabakalara soketlenebilir.

4.1.3.3 Panel genişliği

Kazı yapacak makinanın sahip olduğu özelliklere göre panel genişliği seçilmelidir. Tremi borularının donatı kafesinden kolaylıkla geçebilmesi için minimum panel genişliği 45 cm olmalıdır. 60 cm genişliğindeki paneller en çok kullanılmaktadır (Bahar, 2009).

4.1.2 Diyafram duvarların avantajları ve dezavantajları

Avantajları:

- Geçici ya da kalıcı olarak olarak imal edilebilirler.

- Geçirimsiz tabakalara yeterince giren diyafram duvarlar, yeraltı sularına karşı çok iyi geçirimsizlik sağlar.
- Diyafram duvar imalatı dar bir kuyu içinde yapılabiliyor olmasından dolayı ekonomiktir.
- Derin kazılarda çok rijit destek görevi gösterirler.
- Yan parsellerdeki yapıların temellerine çok iyi destek sağlarlar.
- Merkezi yerlerde titreşim ve görültü açısından daha az problemlidir.
- Kuyu kenarları bentonit çamuruyla desteklenir.

Dezavantajları:

- Kılavuz duvarların kullanılması açısından sığ kazılarda (4-5 m) ekonomik olmazlar.
- Bentonit bulamacının hendekten uzaklaştırılması çok zordur ve pahalıdır.
- Kuyudan çıkan kazı malzemelerinin uzağa taşınması zordur.
- Donatı yerleştirilmesi, beton dökümü pahalı ve zordur.
- Fabrikasyon panellerin yerine oturtulması zordur.

4.2 Kazıklar

4.2.1 Kazıkların fonksiyonları

Kazıkların ana görevi yapılardan gelen yükleri gevşek ve yumuşak zemin tabakalarının altında yer alan taşıma gücü yüksek sıkışma oranı düşük sağlam zemin tabakalarına aktarmaktır. Düşey yükler altındaki kazıkların taşıma gücü, kazık ucunda oluşan noktasal direncin kısmen ise kazık ile zemin arasında oluşan aderans ile yüzeysel sürtünme direncinin toplamı kadardır (poulos,1980).

Düşey yüklere maruz kazıklarla yatay yük etkisinde kalan kazıkları karşılaştırırken zemin yüzeyinde meydana gelen değişimleri de dikkate almak gerekir. Yüzeğe yakın yerlerdeki mevsimsel değişiklikler kazık davranışında önemli değişiklikler meydana getirir. Bu yüzden kazıkların yatay yükler etkisindeki davranışlarının tahmin edilmesi, düşey yükler etkisindeki davranışının tahmin edilmesinden daha zordur (Meyerhof,1977). Kazıklar üst yapı yüklerini çoğu zaman eksenel basınçla taşımakla beraber, rıhtım, deniz platformları, şev ve iksa yapıları

uygulamalarında meydana gelen deprem, dalga, yanal toprak itkisi ve çekme tarzı kuvvetlerin karşılanması gibi görevler de üstlenmektedir.

4.2.2 Kullanım amaçlarına göre kazıklar

Kazıklar kullanım amaçlarına göre; Uç kazıkları, sürtünme kazıkları, çekme kazıkları, ankraj kazıkları, kompaksiyon (sıkıştırma) kazıkları ve eğik kazıkları olarak sınıflandırılırlar (Şekil 4.4).

4.2.2.1 Uç kazıkları

Üst yapı yüklerinin zemin yüzeyinden derinde bulunan ve taşıma gücü yüksek olan sağlam zeminlere aktarmak için kullanılan kazıklardır. Uç kazıklarında pozitif çevre sürtünmesi dikkate alınmaz. Çevre sürtünmesi pozitif çevre sürtünmesi ve negatif çevre sürtünmesi olarak ikiye ayrılır. Pozitif çevre sürtünmesi, yüklenen bir kazığın zeminden gördüğü ve yukarı doğru etki eden direnç olarak tanımlanırken, negatif çevre sürtünmesi ise zeminden bir kazığı çekip çıkarmak istersek bir dirençle karşılaşırız ve bu direnç çevre sürtünmesinden oluşacak olup negatiftir. Kazığın çevresinde zemin konsolidasyonundan dolayı ve zeminin kazıktan daha fazla oturmasından dolayı kazığa negatif çevre sürtünmesi etki eder. Negatif çevre sürtünmesi yumuşak ve orta sert kil, yumuşak silt ve bataklık gibi zeminlerde dikkate alınmalıdır (Durlanık, 1995).

4.2.2.2 Sürtünme kazığı

Üst yapıdan gelen yükleri, kazıkların çevresinde oluşan sürtünme ile taşınması için kullanılan kazıklardır. Çalışma yapılan bölgede sağlam ve sıkışabilirliği az olan zemin makul derinliklerde bulunmuyorsa, maliyet fazla olacağından uç kazıkların kullanılması doğru olmayacaktır. Bu tür zeminlerde, kazıklar yumuşak zemin kütleleri içinde belirli derinliklerde yerleştirirler. Bu kazıklarda taşıma gücünün büyük kısmı kazığın yan tarafları ve zeminle arasındaki kayma mukavemeti ile karşılandığı için bunlara sürtünme kazığı adı verilmektedir. Uygulanan yük ve zeminin kayma direncine göre sürtünme kazıklarının boyları belirlenir.

Terzaghi ve Peck tarafından zeminler için çevre sürtünmesi aşağıda verilmiştir (Tokgöz, 1997).

Gevşek kum	25 kN/m ²
Sıkı kum	100 kN/m ²
Yumuşak kil-silt	10-20 kN/m ²
Kumlu silt	20-50 kN/m ²
Katı kil	40-100 kN/m ²

4.2.2.3 Çekme kazıkları

Üst yapılardan gelen döndürme momentlerin ve suyun kaldırma kuvvetinden dolayı çekmeye maruz kalan yapılardan oluşan kuvvetleri zemine aktaran kazıklardır. Çekme kazıklara en iyi örnek, çakma kazıkları ve yerinde dökme kazıklardır (Çalışkan, 2003).

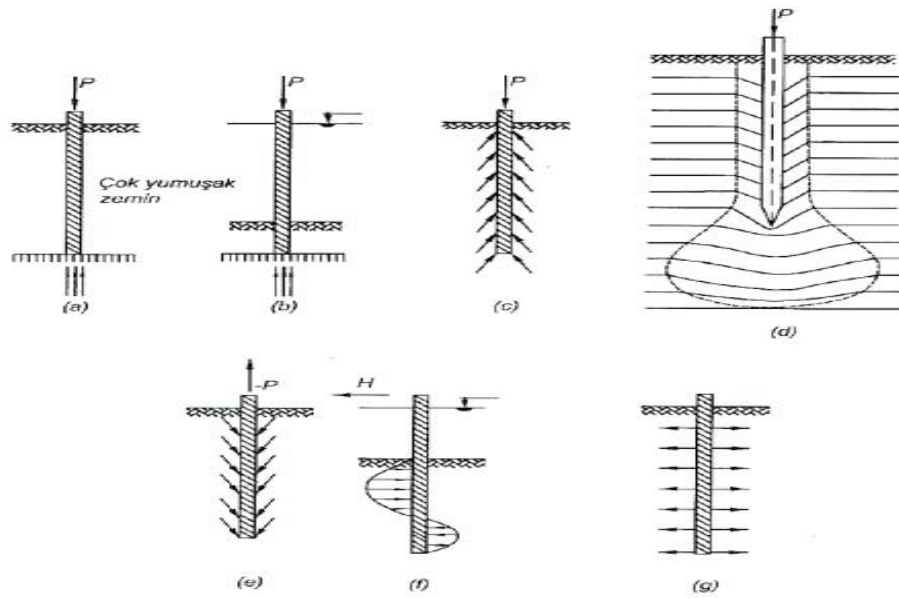
Yüksek yapılara etkiyen rüzgar ve deprem yüklerine karşı direnç oluşturulması, petrol ve deniz sondaj platformlarında ve yeraltı su seviyesinin altında kalan yapılara etkiyen su kuvvetlerinin karşılanabileceği derinliklere kadar çekme kazıkları yerleştirilir (Çalışkan, 2003).

4.2.2.4 Ankraj kazıkları

Yatay kuvvetlere karşı yapılan kazıklardır. Bu kazıklar özellikle kayma mukavemeti düşük olan granüler zeminlerde yapıya etkiyen yatay yükleri, yanal toprak basınçlarını yüzeylerinde oluşan kayma gerilmeleri ile derinlerdeki sağlam tabakalara aktarmaktadır. Üst yapıdan gelen yükler, zemin ve tabandaki sağlam tabakanın gerilme ve deplasman özelliklerine göre ankraj kazıklarının kesit şekilleri belirlenir (Çalışkan, 2003).

4.2.2.5 Kompaksiyon kazıkları

Zeminin stabilizasyonunu sağlamak için kullanılan kazıklardır. Kompaksiyon ile zemin tabakları sıkıştırılır ve zemin taşıma gücü özellikleri arttırılır. Granüler zeminlerin permeabilite ve sıklık özelliklerini iyileştirmek için zemin yüzeyinden zeminin içine yapılan çakma yöntemleri ile yapılırlar. Bu tip kazıklara kompaksiyon kazıkları denir (Çalışkan, 2003).



Şekil 4.4. Kullanım amaçlarına göre kazık tipleri (Aktepe, 2016).

Burada;

- (a) ve (b) : Uç kazıkları,
- (c) ve (d) : Sürtünme kazıkları,
- (e) : Çekme kazığı,
- (f) : Yanal yük etkisindeki kazık,
- (g) : Sıkıştırma kazığını temsil etmektedir.

4.2.2.6 Eğik kazıklar

Hem yatay hem de düşey yük taşımak için eğik kazıklar tasarlanırlar. Eğer kazıklar düşey konumda belli bir açı yaparak zemine yerleştiriliyorsa eğik kazık adını alır. Yüksek istinat yapılarına etkileyen toprak itkilerinin karşılanması için istinat duvarının altında imal edilen ya da kayma tehlikesi olan şev ve heyelan riski bulunan yapılarda kayma dairesinin önüne, zeminin Geoteknik özelliklerine uygun boyut ve derinlikte yerleştirilerek tampon etkisi oluştururlar. İskele ve liman inşaatlarında yüklerin zemine homojen ve güvenli şekilde aktarılması ve köprü ayaklarına etkileyen yatay veya eğik kuvvetlerin karşılanması amacıyla eğik kazıklar yapılabilir (Odbay, 1995).

4.2.3 İmal edildiği malzeme cinsine göre kazıklar

4.2.3.1 Ahşap kazıklar

Çok eski dönemlerden beri ahşap kazıklar kullanılmaktadır. Ahşap kazıkların bu denli çok kullanılmasının nedeni mukavemetinin birim hacim ağırlığına göre çok fazla olması gösterilebilir. Ahşap kazıklar imalat esnasında boyları istenilen uzunluğa göre ayarlanabilir ve taşınması kolaydır. İnce daneli zeminlerde (kil silt v.s.) yapımı daha kolaydır. Çakıl kum gibi iri daneli zeminlerde kazık ucunun hasar görmemesine dikkat edilmelidir (Aktepe, 2016).

Ahşap kazıklarda kullanılacak ağaçların seçimine dikkat edilmelidir. Kullanılacak ağaçta yarık ve gevşemiş budaklar bulunmamalıdır. Çam, köknar, sedir ve meşe ahşap kazıkların yapımında en çok kullanılan ağaç çeşitleridir. İyi dayanıklılık istenen durumlarda meşe ağacının kullanılması TS3169 tarafından önerilmektedir. Malzemenin iyi korunması durumunda ahşap kazıklar yüzyıllar boyunca sağlam kaldıkları görülmektedir. Yeraltı su seviyesinin azalması durumunda ahşap kazıkların dayanımını yitirmesine sebep olabilmektedir. Bundan dolayı, akarsu düzenlemesi, büyük su çekilmesi gibi yeraltı su seviyesinin inmesine neden olan olaylar ahşap kazıkların ömürlerini kısaltır. Ahşap kazıklar yerinde uygulanırken, kazık ucunun hasar görmemesi için kazıkların ucu demirden yapılmış çarıkla sarılması tavsiye edilmektedir (Çalışkan, 2003).

Kazıkların ortalama çapı, kazık boylarına göre TS 3169' da eşitlik (4.1) ile tanımlanmıştır.

$$L_{\text{kazık}} < 6 \text{ m} \quad \text{ise} \quad D = 25 \text{ cm} \pm 2 \text{ cm} \quad (4.1)$$

$$L_{\text{kazık}} > 6 \text{ m} \quad \text{ise} \quad D = (20+1) \text{ cm} \pm 2 \text{ cm}$$

Burada L kazık boyu, D kazık çapını göstermektedir.

Amerikan şartnamelerine göre ahşap cinsine bağlı olarak ahşapların taşıyabileceği basınç gerilmesi $4 \text{ N/mm}^2 - 6 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Bazı çam cinsleri ve meşe için 8.3 N/mm^2 , çamlar ve sedirler için 5.9 N/mm^2 tavsiye edilmektedir (Toğrol, 2003).

4.2.3.2 Çelik kazıklar

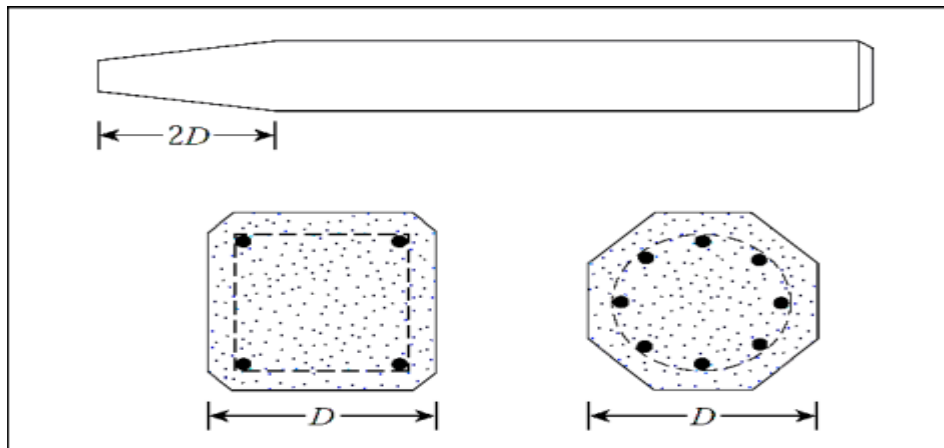
Çelik kazıklarda H, I, kutu ya da boru kesitleri kullanılmaktadır. Çelik kazıkların uygulanması ve taşınması kolaydır ayrıca yüksek mukavemete sahiptirler. Korozyona karşı çelik kazıklar korunmalıdır. Örneğin bataklık ve organik zeminlerde korozyon tehlikesi fazladır. Zemin içindeki su ve oksijenin reaksiyonu çelik kazıklarda metal hidroksit oluşması biçiminde korozyona sebep olur. Çelik kazıkların uygulanacağı zeminde pH değeri 7'nin üstünde olmalıdır (Çalışkan, 2003).

Örselenmemiş zeminlere çelik kazıkların çakılmasında korozyon tehlikesi azdır. Ancak, örselenmiş ve dolgulu zeminlerde oksijenin daha fazla olmasından dolayı korozyon önemli olmaktadır. Çelik kazıklarda kaynak yapılarak boy arttırılabilir. Çelik boru kazıklarında çeliğin kalitesine göre et kalınlığı belirlenebilir (Odbay, 1995).

4.2.3.3 Betonarme kazıklar

4.2.3.3.1 Çakma kazıklar

Fabrika koşullarında imalatları yapıp inşaat sahasına hazır olarak getirilen kazıklardır. Prefabrik kazık olarak da isimlendirilirler. İnşaat alanına getirilen prefabrik kazıklar vinç yardımıyla çakma bölgesine getirilerek üzerlerine ağırlık düşürülmesiyle zemin çakılırlar. Sekizgen, kare ya da dairesel kesitli olabilirler. Kazık boyunun tam olarak belli olan projelerde tercih edilir. Taşınma sırasında maruz kalacağı eğilme momentlerinden dolayı kesitleri ve donatıları iyi belirlenmelidir. Kazıklar fabrikasyon koşullarında döküldükten sonra inşaat alanına getirilmeden kürünün tam olarak yapılması gereklidir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Çakma kazıklar (Çalışkan, 2003).

4.2.2.3.2 Fore kazıklar

Ülkemizde uygulama alanı en fazla olan kazıklardır. TS 3168 uzunluklarına göre fore kazıkların çaplarının en küçük değerleri aşağıdaki şekilde verilmektedir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Fore kazıkların en küçük çapları (Çalışkan, 2003).

Kazık boyu, L (m)	En küçük kazık çapı, D (mm)
$L \leq 10$	300
$10 < L \leq 15$	350
$15 < L \leq 20$	400
$20 < L \leq 30$	500

TS 3168 EN 1536''standartları kazık tanımını şöyle yapmaktadır; zemine yük aktarımı sağlamak için zemin içerisine yerleştirilen yapı elemanları, fore kazık ise; sondaj ya da kazı ile açılan yuvalara, koruma borulu ya da koruma borusuz ve kazık yuvasının donatılı ya da donatısız betonla doldurulması ile yapılmış kazık olarak tanımlanmaktadır (TS 3168 EN 1536, 2001).

Ülkemizde fore kazıklar; birikmiş tecrübe ve ekipman artışıyla iksa sistemlerinde ve derin kazılarda, düşey destek elamanı olarak çok fazla kullanılmaktadır.

Uygulamada, zemin parametreleri, arazi şartları ve yeraltı ve yerüstü suyu şartlarına bağlı olarak farklı şekillerde imal edilirler. Aralıklı kazıklar, birbirine teğet kazıklar ya da kesişen kazıklar olarak imal edilebilirler. Kesişen kazıklar; yeraltı suyunun olduğu durumlarda sızdırmazlık sağlamak için imal edilirler. Teğet kazıklar; yeraltı suyunun olmadığı fakat zeminin kendini tutma direncinin düşük olduğu durumlarda malzemenin kazıkların arasından akması için tercih edilirler. Aralıklı kazıklar; yeraltı suyunun olmadığı kısmen kendini taşıyabilen zeminlerde uygulanan imalat yöntemidir (Aslan, 2017).

İksa sistemlerinde kullanılan fore kazıkların boyutlandırılması, kazıklarda oluşan eğilme momenti ve kesme kuvvetine göre yapılır. Hesap edilen donatı oranları standart ve yönetmeliklerle belirlenen minimum donatı oranlarından az olmamalıdır. İksa

kazıklarında minimum donatı oranı için %1 değeri önerilmektedir (Celep ve Kumbasar,2005).

TBDY 2018'e göre betonarme kazıkların minimum en kesit boyutları 30 cm veya \emptyset 35 cm'dir (TBDY 2018).

2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (TBDY) göre; betonarme kazıklarda üstten en az 3 metre olmak şartıyla, üst kısımdan 1/3'ünde boy donatı oranı, deprem tasarım sınıfı (DTS) = 1, 1a, 2, 2a olan binalarda yüzde 1'den, deprem tasarım sınıfı = 3, 3a, 4, 4a olan binaların ise binde 8'den daha az olamaz. Bu bölgelere konulması gereken spiral etriye donatı çapı deprem tasarım sınıfı = 1, 1a, 2, 2a olan yapılarda 10 milimetreden, deprem tasarım sınıfı = 3, 3a, 4, 4a olan binalarda ise 8 milimetreden az olamaz. Ayrıca spiral donatı aralığı veya etriye aralığı 20 cm'den fazla olmamalı ve üst kısımdan en az kazık çapının 2 katı kadar yükseklikte 10 cm'ye indirilmelidir (TBDY 2018).

Fore kazıklar çalışma prensiplerine göre 2 farklı şekilde modellenirler. Konsol fore kazıklar ve destekli (ankraj, zemin çivisi vs.) fore kazıklar.

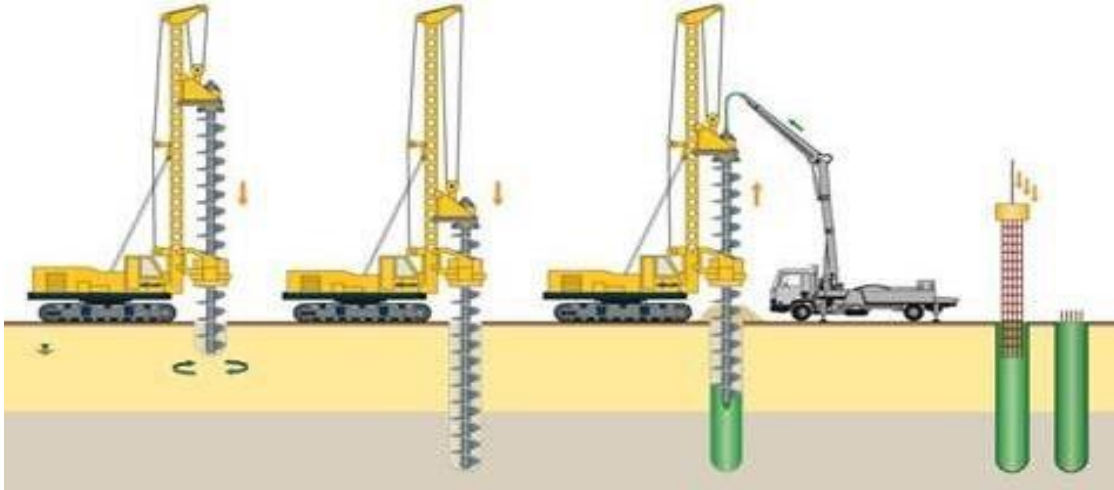
Zemin şartlarına ve proje değerlerine bağlı olarak farklı konsol boylu kazıklar imal edilebilir. Konsol fore kazıklar, başlarına rijit kazık başlığı atılarak birbirine bağlanır ve kemerlenme oluşturularak dayanıklı bir sistem oluşturulur.

Ankrajlı fore kazıklar; önce fore kazık imalatı yapılır, kazıklar bir başlık kirişi ile bağlanmasının ardından hafriyat kademeler halinde açılarak ankraj uygulamasına geçilir. Bu işlem istenilen derinliğe inilinceye kadar devam eder (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Ankrajlı fore kazık uygulaması (Park Zemin Müh. İnş. Tic. Ltd. Şti 2013).

Fore kazık uygulaması yapılacak olan yerde arazi şartlarına göre imalatın düzgün bir şekilde yapılması için tesviye işlemleri yapılır. Kazıkların yapılacağı yerlerin aplikasyonu yapılır. Daha sonradan beton kırımı oluşmaması için foraj başlangıç kotlarının, kazık başlığı alt kotu olarak ayarlanır. Kazma esnasında makinanın delici ucunun merkezi kazık merkezinde olacak şekilde ayarlanmalı ve makinanın ‘‘bomunun’’ terazide olmasına dikkat edilmelidir. Zemin cinsine göre kazık makinası delgi ucu farklı olabilir. Zemin eğer kuru bir zeminse burgulu uç (auger), zemin sulu bir zemin ise kovalı uç (drill bucket), eğer zemin çok sert ya da kaya ise karotiyer tipi elmanlar tercih edilir. Delme işlemi bittikten sonra eğer donatılı kazık yapılacaksa kazı kuyusuna dışarıda hazırlanmış donatı kuyu içine bırakılır, eğer donatısız kazık yapılacaksa donatı yerleştirmeden betonlama işlemi gerçekleştirilir (Şekil 4.7).



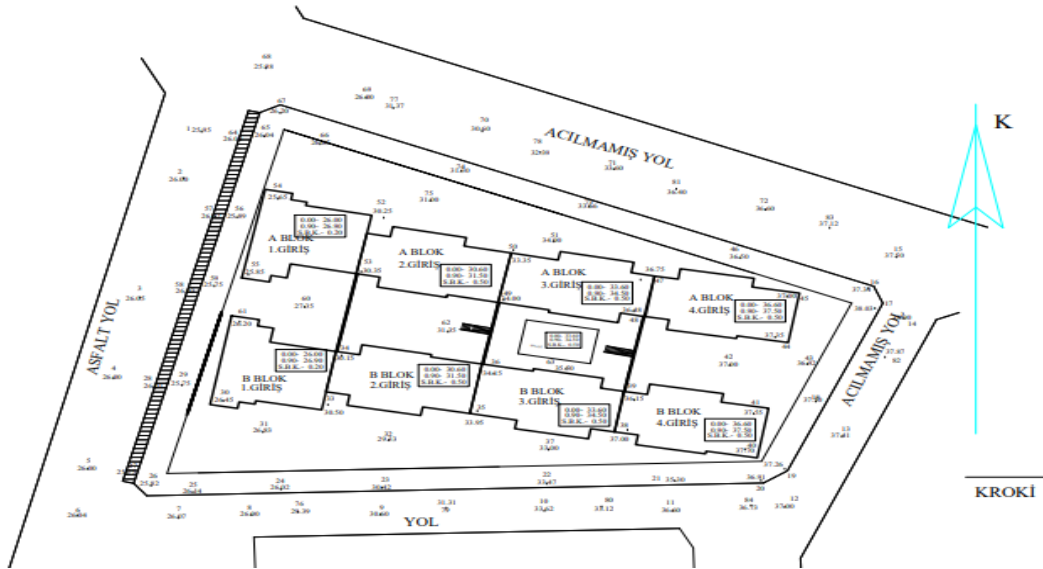
Şekil 4.7. Fore kazık imalat aşaması (Kent Harita Eğitim 2016).

Fore kazıkların bütünlüğünü (sürekliliğini) etkileyen sebepler şu şekilde sıralanabilir;

- Betonun dökülmesi sırasında betonda ayrışma meydana gelmiş ve bu yüzden dayanımı düşmüştür. Yani beton kalitesizdir.
- Beton dökümü esnasında betona farklı maddeler karışmış ve istenilen kesit değerlerine ulaşamamıştır.
- Kazıkların oturacağı tabanda örselenme meydana gelmiş, yan taraflardan dökülen malzemeler ile dolmuştur.
- Donatılar olması gereken yerde değildir.

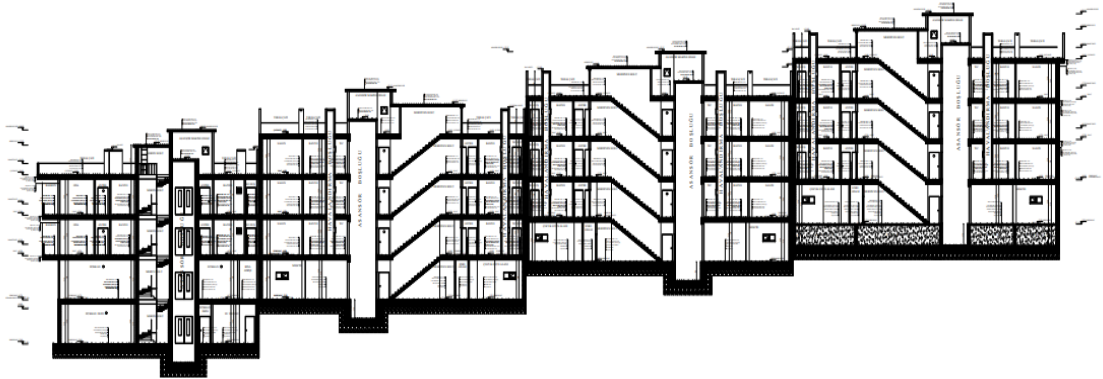
5. PROJE İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu çalışmada, Yalova ilinde yapılacak olan toplam 8 bloklu yapının plankote ve vaziyet planı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Ayrıca statik projeden binaların gerçek yükleri alınmış olup hesap aşamasında bu yükler kullanılmıştır. Her binanın yükü 70 kN/m^2 olarak statik projeden alınmıştır.



Şekil 5.1. Plankote.

Arka arkaya yapılacak olan bitişik nizam 4 bloklu yapı 4 metre kot farkı uygulanmasına ait kesit Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. İksa kesit görünüşü.

6. ZEMİN ÖZELLİKLERİ

Çalışma alanının genel jeolojik yapısını tespit etmek, zeminin jeolojik ve jeoteknik yapısını ortaya koymak, zemin parametrelerini belirlemek için 8 noktada toplam 120 metre hidrolik zemin araştırma sondajı yapılmış olup, yapılan çalışmalar sonucunda inceleme alanında yüzeyden itibaren kum ara tabakalanmalı sert kıvamlıklı yüksek plastisiteli kil bulunmaktadır. İnceleme alanında yapılan sondajlarda yeraltı suyuna rastlanmamıştır, sızıntı şeklinde yüzey suyu gözlenmiştir. Buna göre gerek inşaat aşamasında gerekse inşaat yapım sonrasında gerekli drenaj önlemlerinin alınması öngörülmüştür. Sondajlardan alınan karot numuneleri laboratuvarında deneylerinin yapılması için Şekil 6.1'deki gibi hazırlanmıştır (Akbaş 2018).



Şekil 6.1. Sondaj çalışmalarında alınan karotlar (Akbaş, 2018).

Sondajlardan alınan karot analizleri sonucunda; zeminde 0-8 metre arasında katı-çok katı sert kil, 8 metreden itibaren çok katı- sert kil tabakaları olduğu tespit edilmiştir.

1. Katmanda (0-8 m) zeminin kohezyonu 67 kN/m^2 , içsel sürtünme açısı 6° , birim hacim ağırlığı 19 kN/m^3 , elastisite modülü $3,500\text{E}+04 \text{ kN/m}^2$, poisson oranı 0,3. 2.

Katmanda ise (8 m ve üzeri); zeminin kohezyonu 75 kN/m^2 , içsel sürtünme açısı 5° , birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 , elastisite modülü $5,000\text{E}+04 \text{ kN/m}^2$, poisson oranı 0,3 olarak elde edilmiş olup Çizelge 6.1’de bu değerler gösterilmiştir.

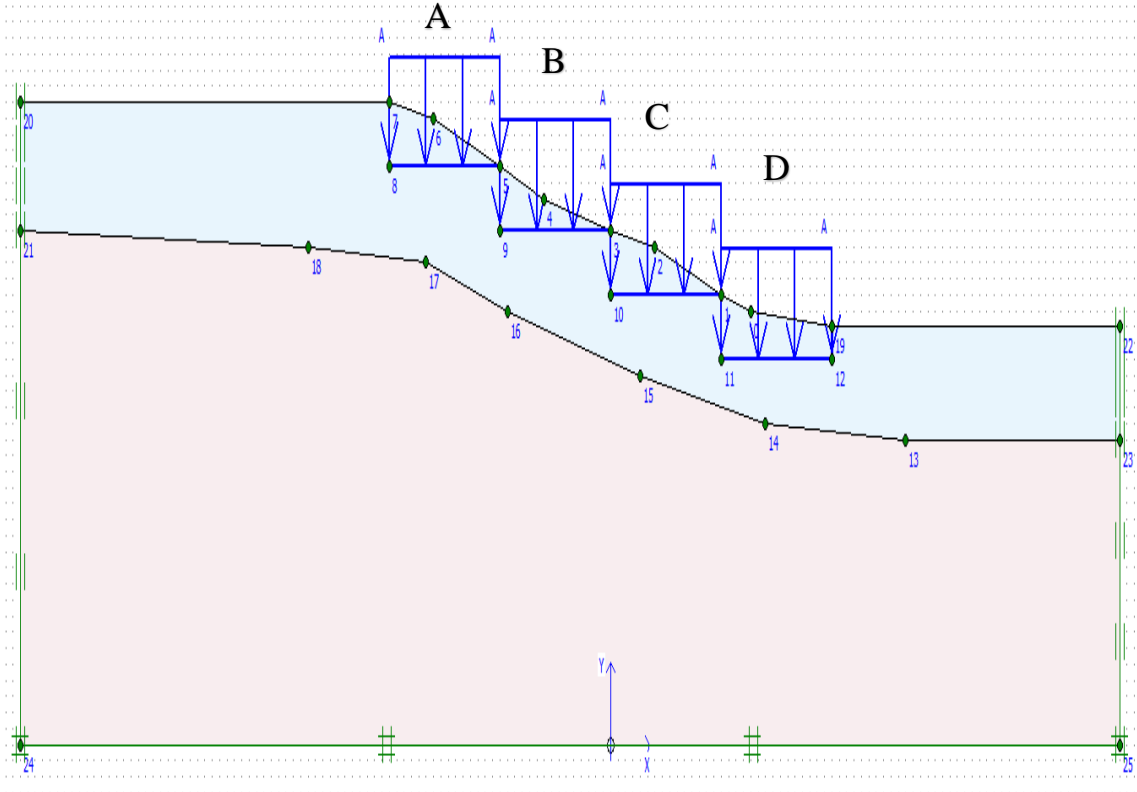
Çizelge 6.1. Zemin cinsi ve zemin parametreleri.

No.	Zemin Katmanları	$c(\text{kN/m}^2)$	$\phi(^{\circ})$	$\gamma_n(\text{kN/m}^3)$	$E(\text{kN/m}^2)$	Poison oranı(ν)
1	Katı-Çok Katı Sert Kil	67	6	19	3,500E+04	0,3
2	Çok Katı- Sert Kil	75	5	20	5,000E+04	0,3

7. PLAXİS PROGRAMINDA MODEL OLUŞTURMA VE STATİK-DİNAMİK ANALİZ UYGULAMASI

Zemin etüt raporu, statik proje ve mimari proje eklerinden alınan değerlere göre Plaxis programında model oluşturulmuş olup farklı destek yöntemleri (diyafram duvar ve fore kazık) kullanılarak analizler yapılmıştır. Öncelikle statik analiz yapılmış ve meydana gelen deplasmanlar bulunmuş, daha sonra yeryüzünde meydana gelmiş büyük deprem kayıtları kullanılarak dinamik analiz yapıp deplasmanlar bulunmuştur.

Öncelikle zemin etüt raporu, statik proje, mimari proje ve plankoteye göre zemin profili oluşturulmuş, daha sonra yapılacak olan bitişik nizam 4 bloklı yapı kademeli olarak programda modellenmiştir. 2 farklı zemin katmanının değerleri girilmiş ve gerçek bina yükleri statik projeden alınıp modelde yayılı yük olarak girişi yapılmıştır. Bina yüklerinin zemine doğru bir şekilde aktarılması için yayılı yükün altına temel tanımlanmış olup Şekil 7.1’de gösterilmiştir.

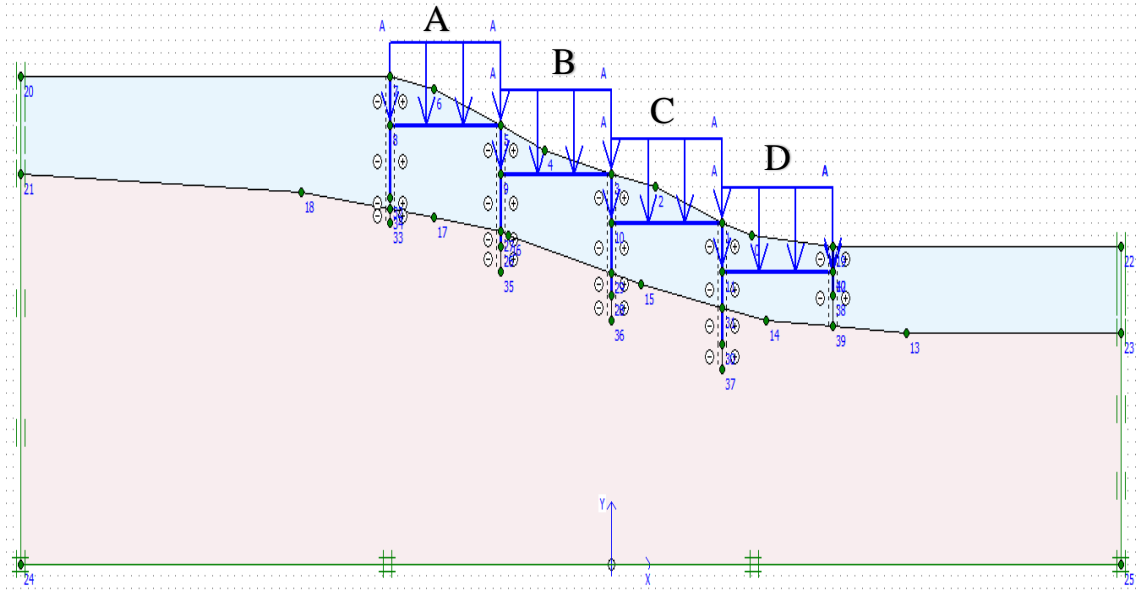


Şekil 7.1. Plaxis programında yapının modellenmesi.

7.1 Statik Analiz

7.1.1 Kazıklı modellemede statik analiz

Plaxis programında 2 blok (bina) arasında ve en üstteki bloğun arka tarafında olmak üzere yüksekliği 10 m, çapı 65 cm olan kazıklar tanımlanmış ve zemin ile yapı arasında ara yüz (interface) oluşturulmuş olup Şekil 7.2 'de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Plaxis programında kazık modelleme.

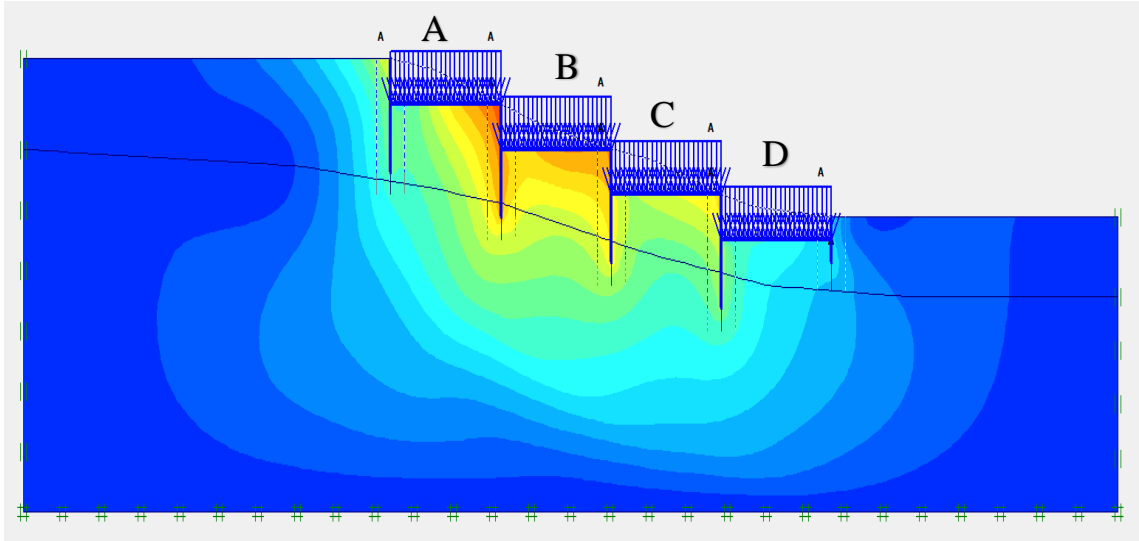
Hesaplarda kullanılacak kazıkların aksenal rijitliği (EA) $9,95E+06$ kN, eğilme rijitliği (EI) $2,63E+05$ kN.m² ve poisson oranı 0,15 olarak Çizelge 7.1 'de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Kazık hesap değerleri.

KAZIK				
Çap(m)	Yükseklik(m)	Aksenal Rijitlik EA (kN)	Eğilme Rijitliği EI (kN.m ²)	Poison Oranı (ν)
0,65	10	9,95E+06	2,63E+05	0,15

Hesaplarda kullanılacak tüm veri girişleri programa girildikten sonra statik durumda analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda zeminde ve yapıda oluşan deplasmanlar bulunmuştur. Yapıda oluşan deplasman maksimum 3,01 cm olarak hesap edilmiş, gerilme ve deplasmanların en fazla olduğu bölge yapının üst tarafında yer alan A ve B

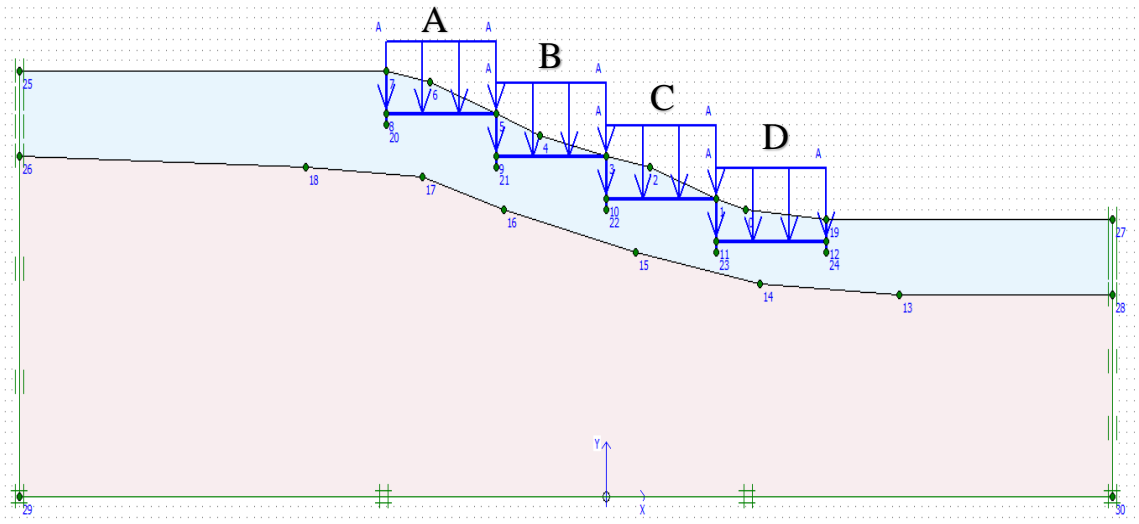
blokları altında ve bu iki blok arasındaki kazıklarda tespit edilmiş ve Şekil 7.3’de gösterilmiştir.



Şekil 7.3. Kazıklı modelde statik analiz (deplasman 3,01 cm).

7.1.2 Diyafram duvarlı modellemede statik analiz

Plaxis programında aşağıdaki Şekil 7.4’te gösterildiği gibi diyafram duvar tanımlanmıştır. Bloklar arasında ve en üstteki bloğun arka tarafında olmak üzere yüksekliği 6 metre ve kalınlığı 30 cm olan diyafram duvar tanımlanmış ve Şekil 7.4’te gösterilmiştir.



Şekil 7.4. Plaxis programında diyafram duvar modelleme.

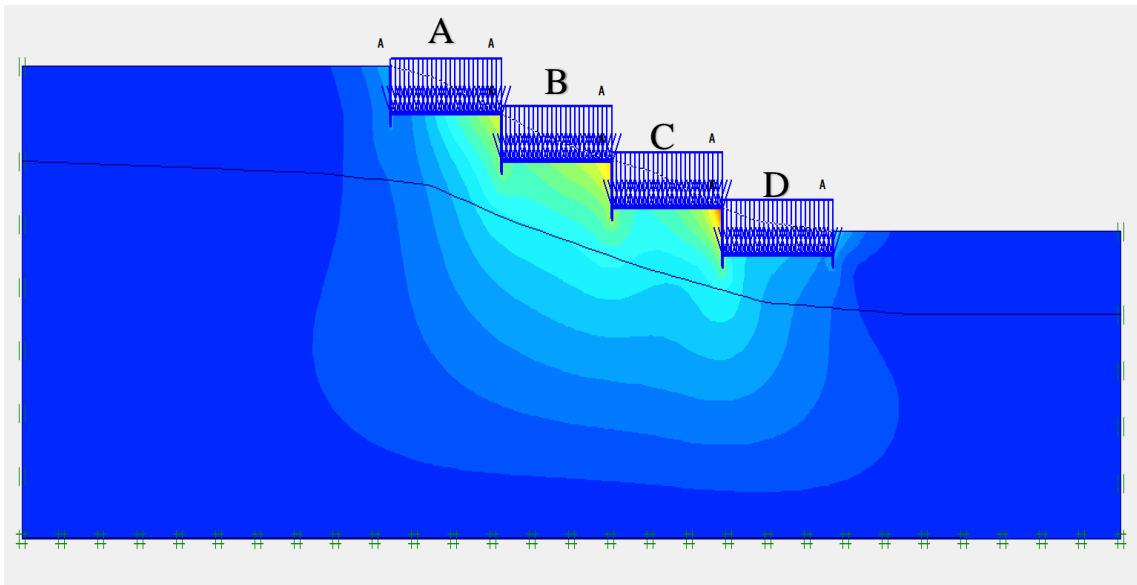
Hesaplarda kullanılacak diyafram duvarın kalınlığı 0,3 m, yüksekliği 6m, eksenel rijitliği (EA) 9,60E+06 kN, eğilme rijitliği (EI) 7,20E+04 kN.m² ve poisson oranı 0,15 olarak Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Diyafram duvar hesap değerleri.

DİYAFRAM DUVAR				
Kalınlık(m)	Yükseklik(m)	Eksenel Rijitlik EA (kN)	Eğilme Rijitliği EI (kN.m ²)	Poison Oranı (ν)
0,3	6	9,60E+06	7,20E+04	0,15

Diyafram duvar boyutları (kalınlık, yükseklik) seçilirken farklı kalınlıklarda diyafram duvar örnekleri denenmiştir. Bu çalışmada diyafram duvar kalınlığının 0,3 m olarak seçilmesinin nedeni; bir önceki bölümde yapılan kazıklı modellemelerde kullanılan kazıkların rijitliğine yakın bir rijitlikte olmasındandır.

Hesaplarda kullanılacak tüm veri girişleri programa girildikten sonra statik durumda analiz yapılmıştır. Analiz sonucunda zeminde ve yapıda oluşan deplasmanlar bulunmuştur. Yapıda oluşan deplasman maksimum 4,43 cm olarak hesap edilmiş, gerilme ve deplasmanların en fazla olduğu bölge B bloğunun altında ve C ile D blokları arasındaki kazıkta olduğu görülmüş ve Şekil 7.5’te gösterilmiştir



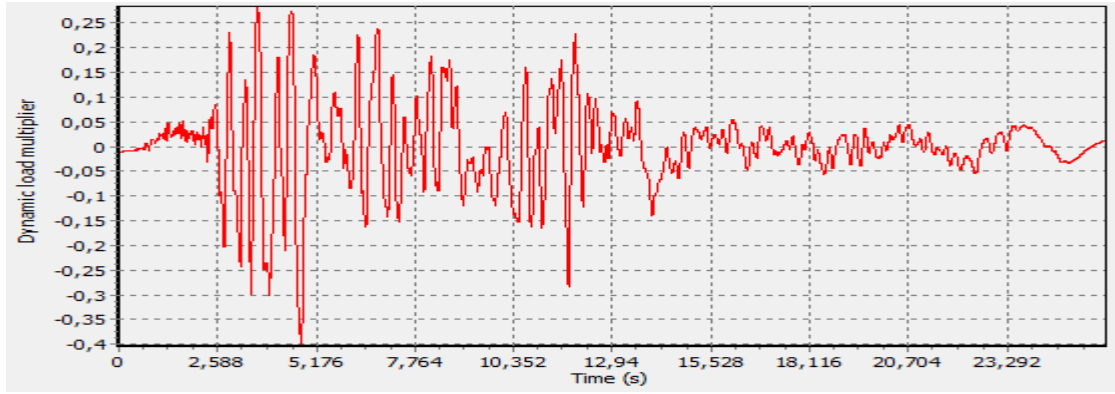
Şekil 7.5. Diyafram duvar modelinde statik analiz (deplasman 4,43 cm).

7.2 Dinamik Analiz

7.2.1 Kazıklı modellemede dinamik analiz

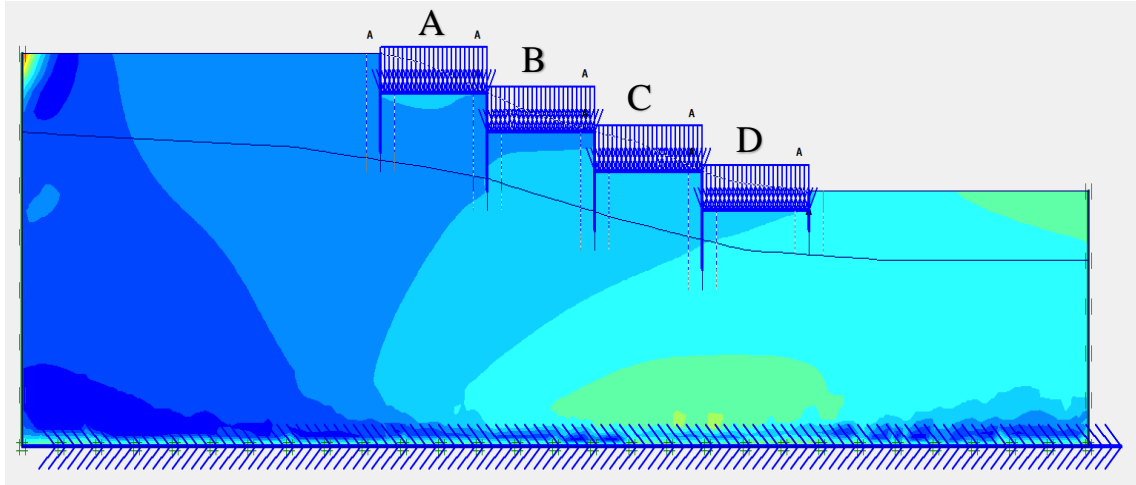
7.2.1.1 Düzce depremi

Statik analiz yapıldıktan sonra, 1999 yılında meydana gelen, magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,4g olan Düzce depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Düzce depremine ait akselogram aşağıda Şekil 7.6'da gösterilmiştir.



Şekil 7.6. Düzce depremine ait akselogram.

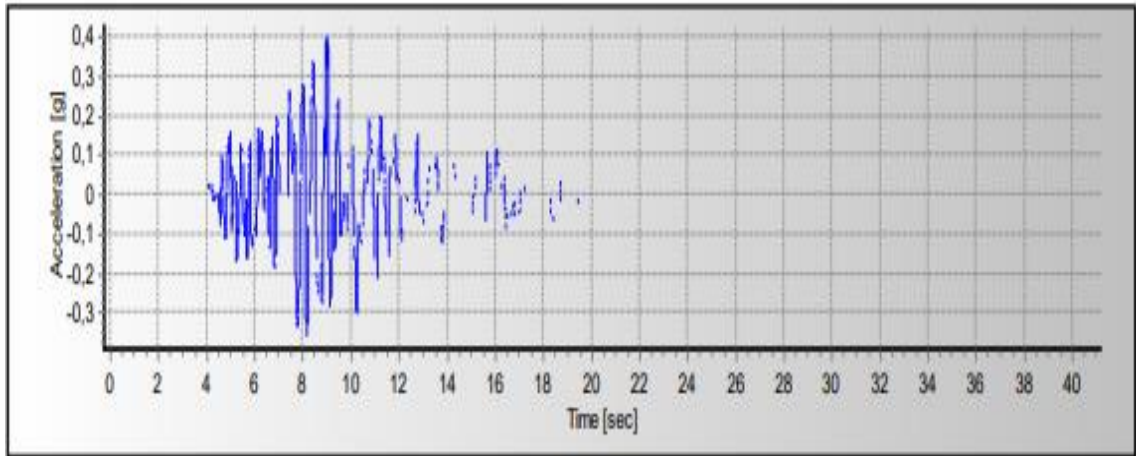
Deplasmanların en fazla olduğu bölge yapının sağ tarafında yer alan D bloğunun altında görülmüş olup deplasmanın maksimum değeri 21,24 cm olarak hesaplanmış ve Şekil 7.7'de gösterilmiştir.



Şekil 7.7. Kazıklı modelde dinamik analiz (Düzce depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 21,24 cm).

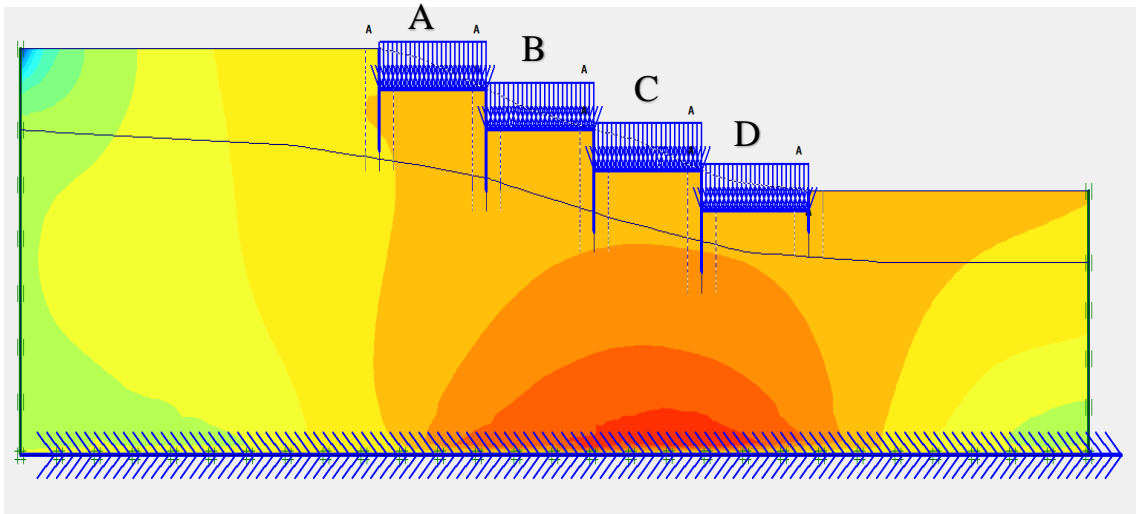
7.2.1.2 Van depremi

2011 yılında Van da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,4g olan Van depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Van depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.8’de verilmiştir.



Şekil 7.8. Van depremine ait akselogram (Güler, 2017)

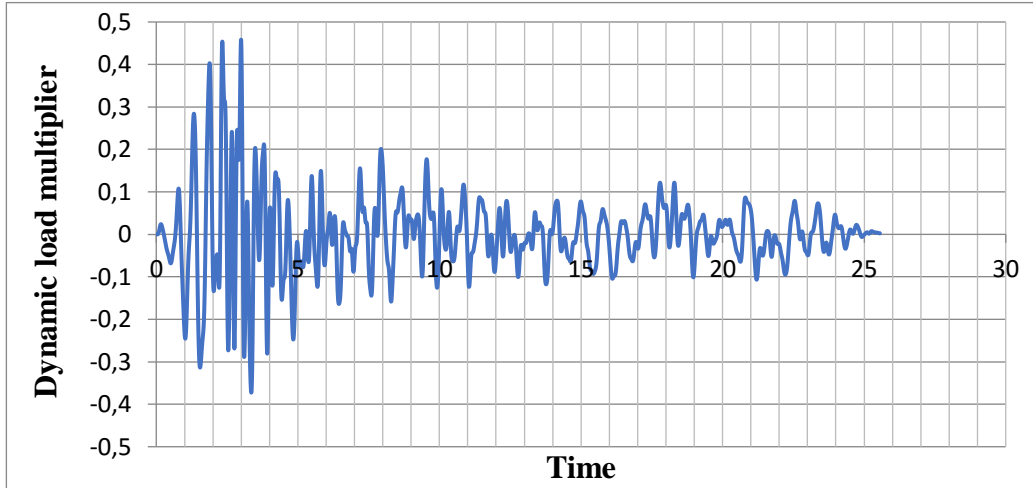
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, yapının sağ tarafındaki D bloğunun altında ve C ile D blokların arasındaki kazıklarda meydana geldiği görülmüş olup Şekil 7.9’da gösterilmiştir.



Şekil 7.9. Kazıklı modelde dinamik analiz (Van depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 16,7 cm).

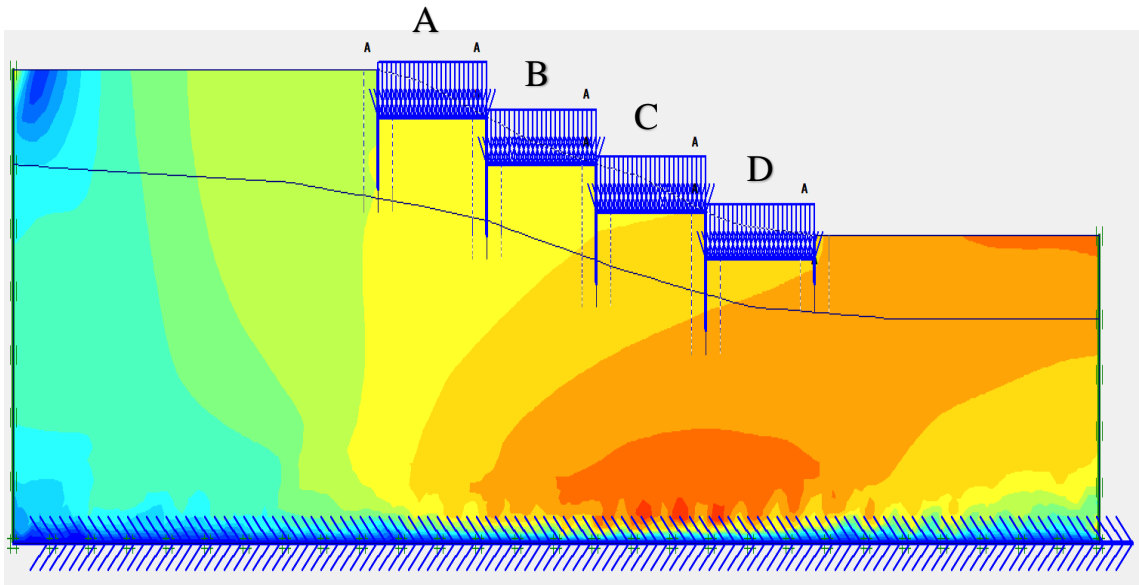
7.2.1.3 Kocaeli depremi

1999 yılında Kocaeli de meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.3 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,46g olan Kocaeli depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Kocaeli depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.10'da verilmiştir.



Şekil 7.10. Kocaeli depremine ait akselogram.

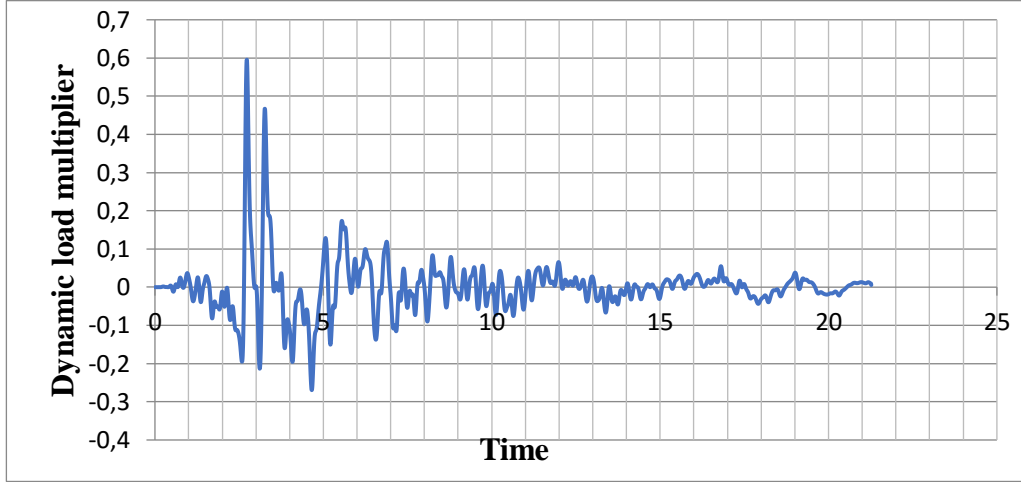
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, D bloğunun altında ve C ile D bloklarının arasındaki kazıklarda meydana geldiği görülmüş olup Şekil 7.11'de gösterilmiştir.



Şekil 7.11. Kazıklı modelde dinamik analiz (Kocaeli depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 22,2 cm).

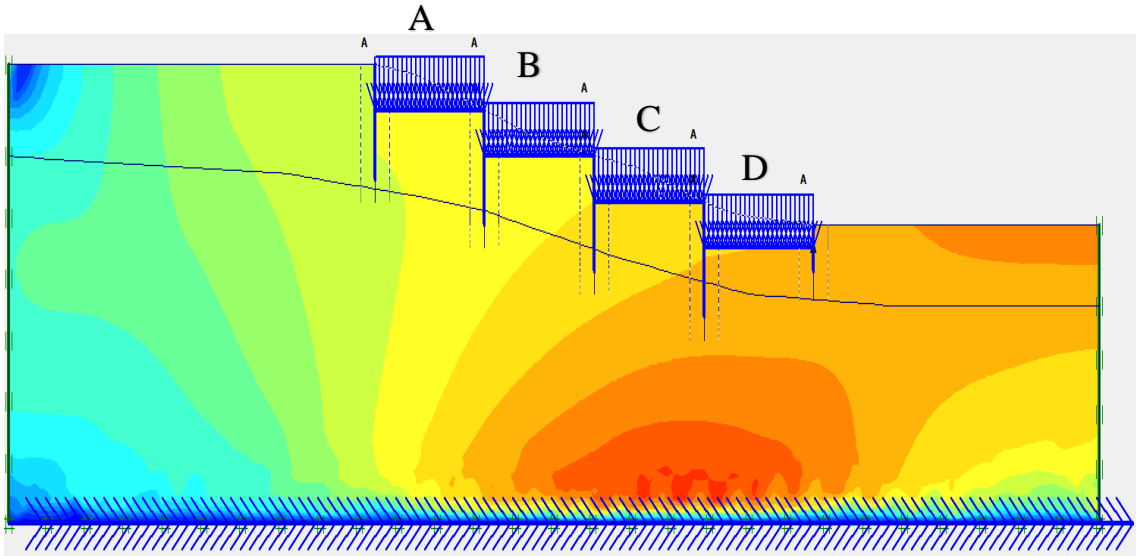
7.2.1.4 Erzincan depremi

1992 yılında Erzincan da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 6.8 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,60g olan Erzincan depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Erzincan depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.12’de verilmiştir.



Şekil 7.12. Erzincan depremine ait akselogram.

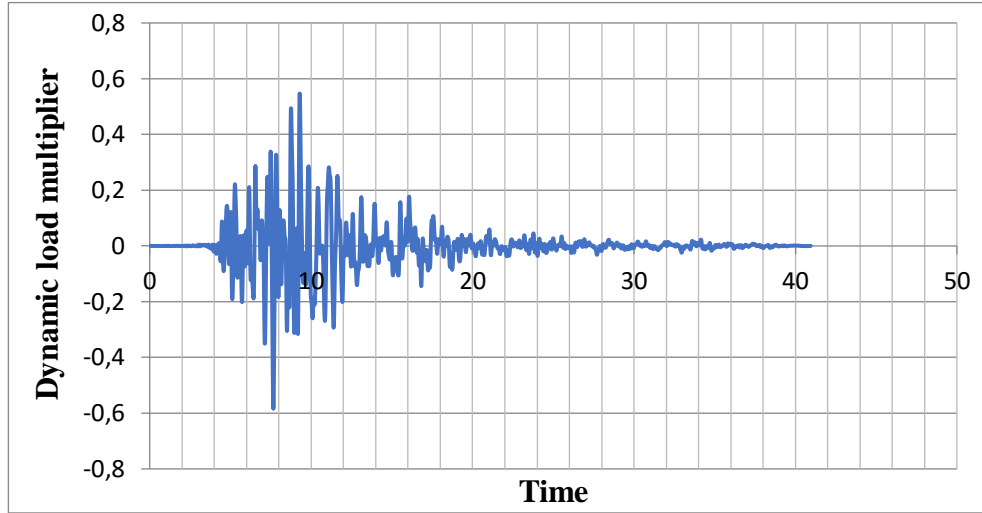
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, yapının sağ tarafındaki D bloğunun altında ve C ile D blokların arasındaki kazıklarda meydana gelmiş olup Şekil 7.13’te gösterilmiştir.



Şekil 7.13. Kazıklı modelde dinamik analiz (Erzincan depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 17,7 cm).

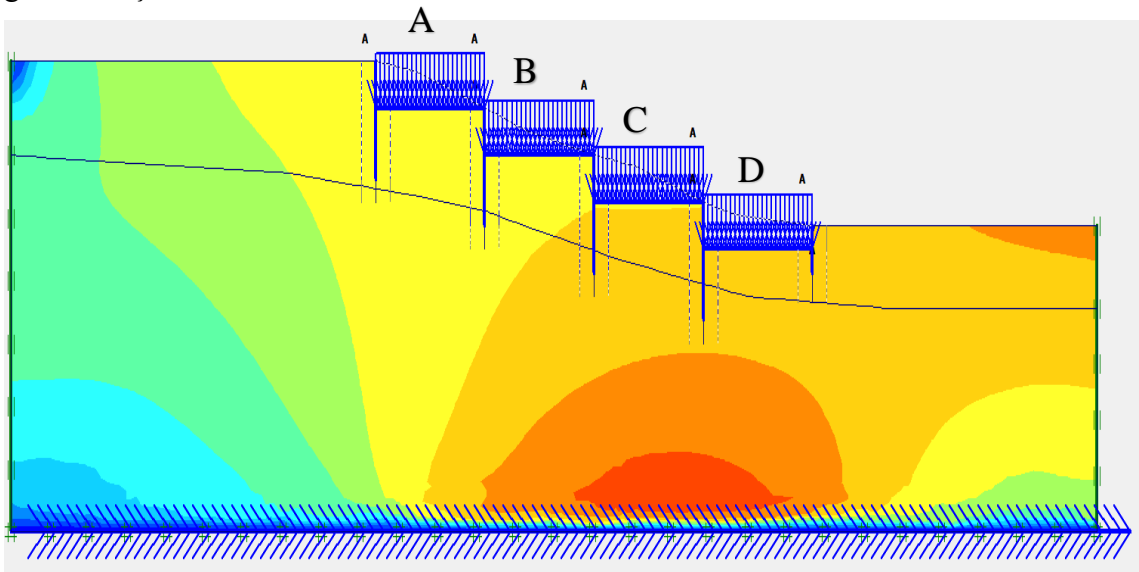
7.2.1.5 Kobe depremi

1995 yılında Kobe de meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,58g olan Kobe depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Kobe depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.14'te verilmiştir.



Şekil 7.14. Kobe depremine ait akselogram.

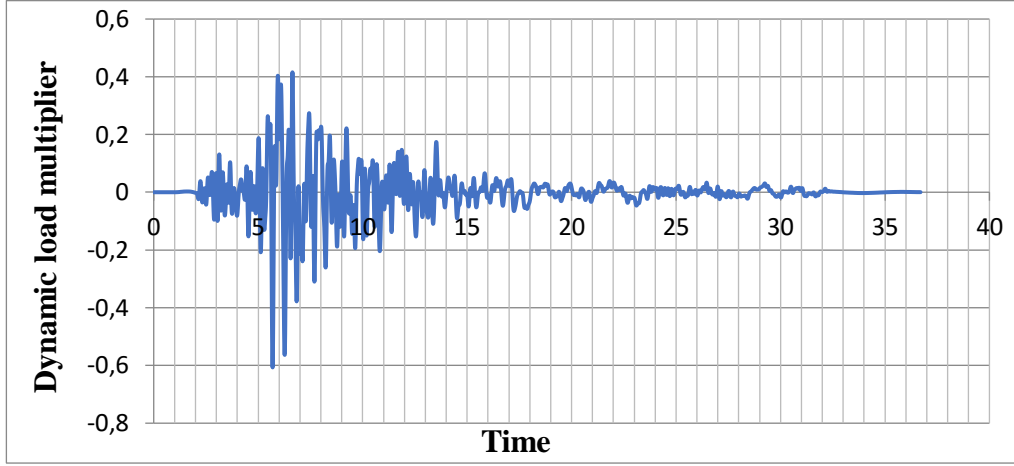
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, C ile D bloklarının altında ve C-D ile B-C bloklarının arasındaki kazıklarda meydana geldiği görülmüş olup Şekil 7.15'te gösterilmiştir.



Şekil 7.15. Kazıklı modelde dinamik analiz (Kobe depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 15,7 cm).

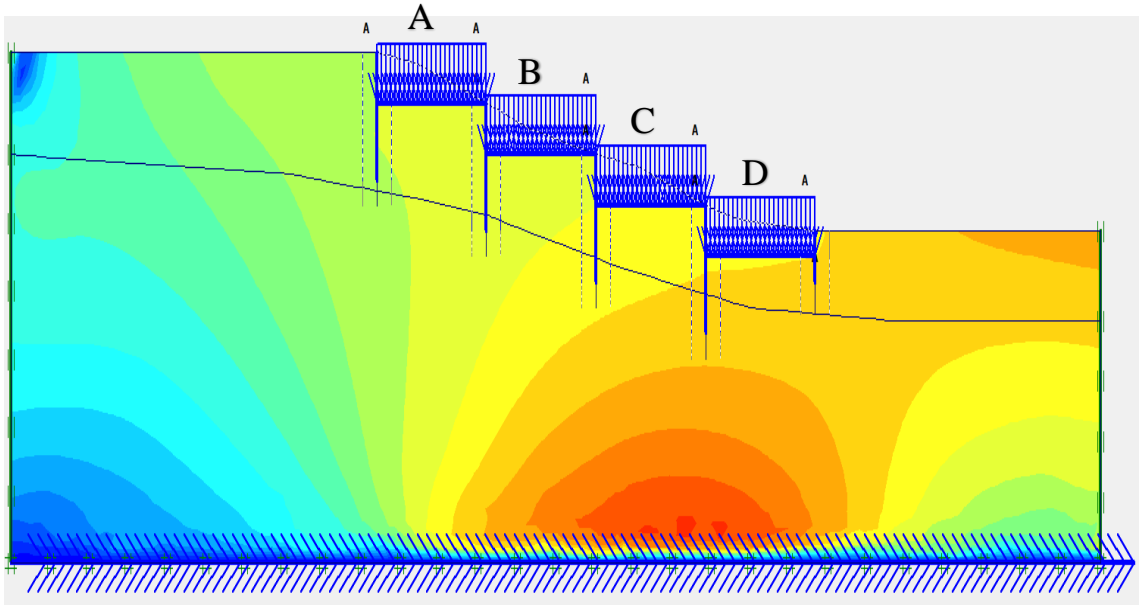
7.2.1.6 Newzeland depremi

2016 yılında Yeni Zelanda da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.8 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,61g olan Yeni Zelanda depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Yeni Zelanda depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.16'da verilmiştir.



Şekil 7.16. Yeni Zelanda depremine ait akselogram.

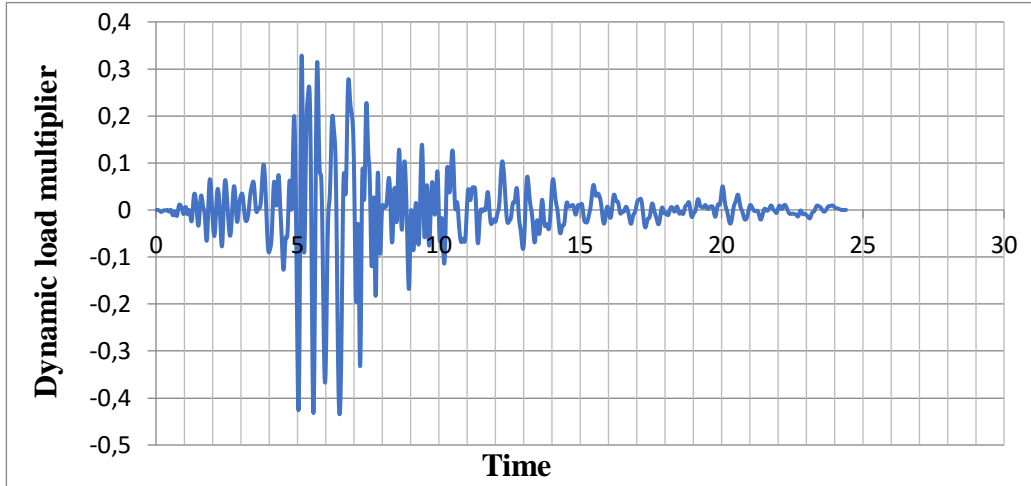
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, D bloğunun altında ve C-D bloklarının arasındaki kazıkta oluşmuş olup Şekil 7.17'de gösterilmiştir.



Şekil 7.17. Kazıklı modelde dinamik analiz (Yeni Zelanda depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 18,4 cm).

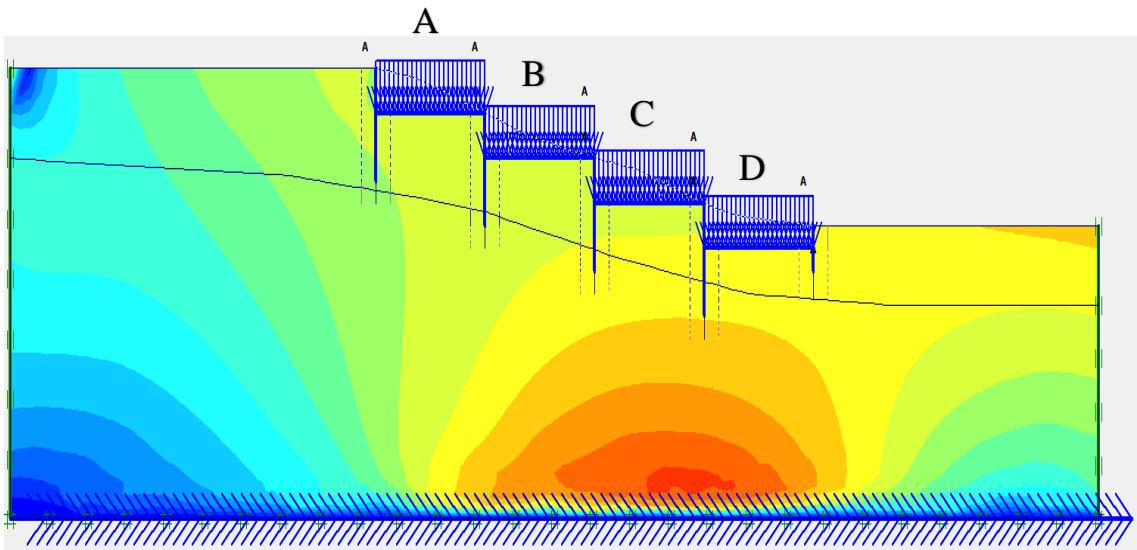
7.2.1.7 Victoria depremi

2010 yılında Victoria da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,43g olan Victoria depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Victoria depremi akselogramı aşağıda Şekil 7.18’de verilmiştir.



Şekil 7.18. Victoria depremine ait akselogram.

Deplasmanların en fazla olduğu bölge, C ile D bloklarının altında ve C ile D bloklarının arasındaki kazıkta oluşmuş olup Şekil 7.19’te gösterilmiştir.



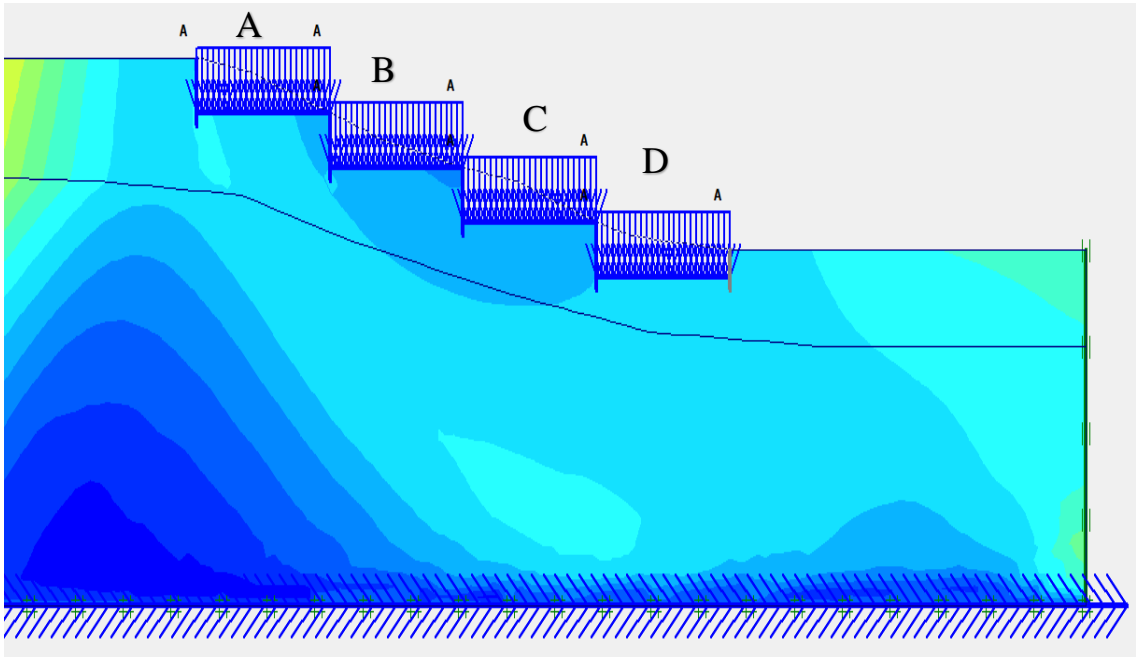
Şekil 7.19. Kazıklı modelde dinamik analiz (Victoria depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 14,6 cm).

7.2.2 Diyafram duvarlı modelleme dinamik analiz

7.2.2.1 Düzce depremi

1999 yılında meydana gelen moment büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,4g olan Düzce depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır.

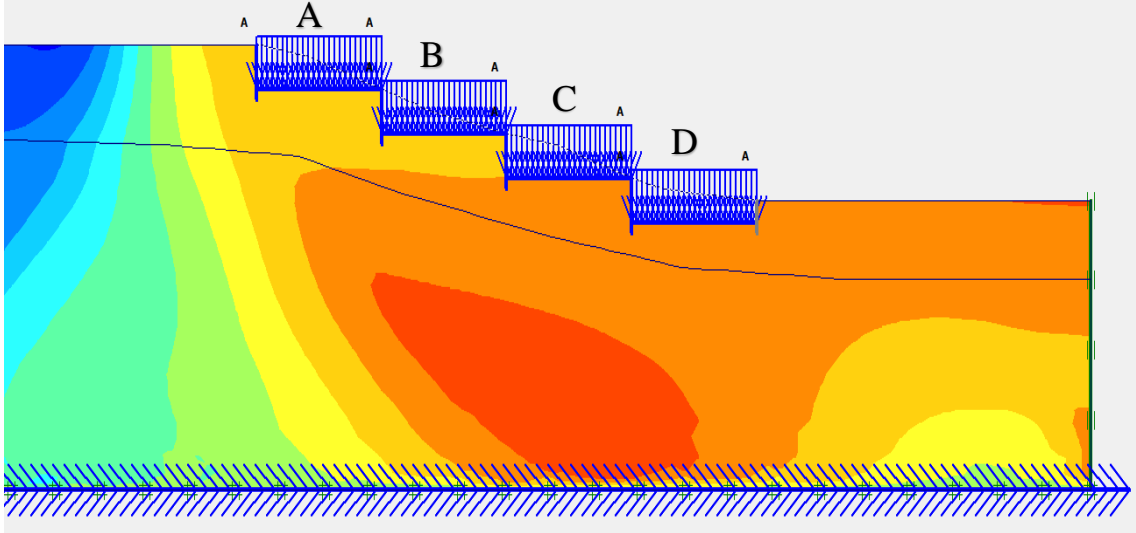
Deplasmanların en fazla olduğu bölge yapının sol tarafında yer alan A bloğunun altında oluşmuştur ve maksimum değeri 30,7 cm olarak hesaplanmış ve Şekil 7.20’de gösterilmiştir.



Şekil 7.20. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Düzce depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 30,7 cm).

7.2.2.2 Van depremi

2011 yılında Van da meydana gelen büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,4g olan Van depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Deplasmanların en fazla olduğu bölge, yapının sağ tarafında yer alan C ve D bloklarının altında ve Şekil 7.21’de gösterilmiştir.

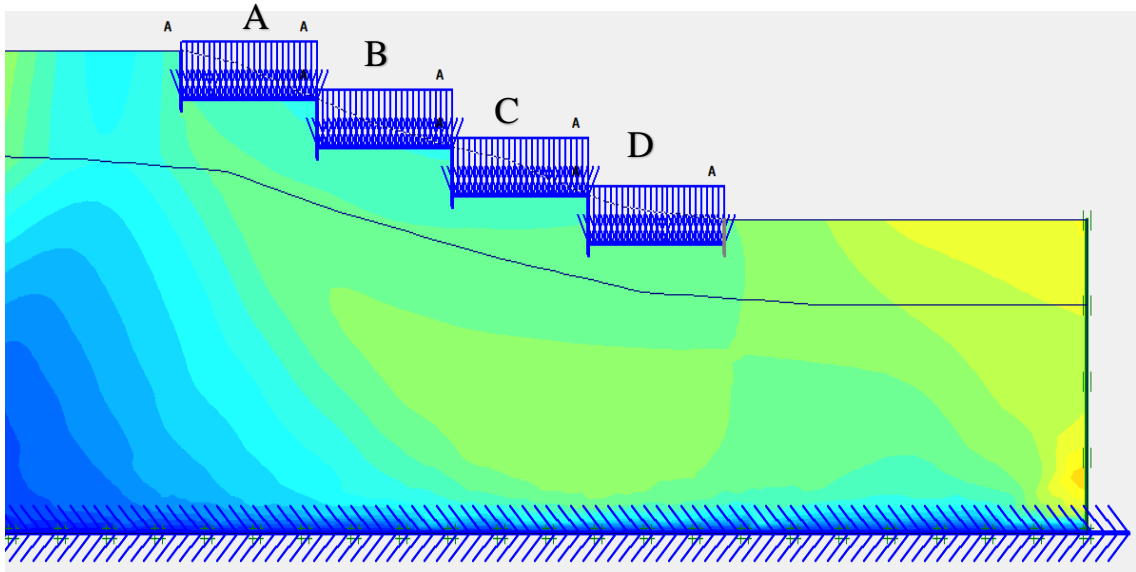


Şekil 7.21. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Van depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 19,7 cm).

7.2.2.3 Kocaeli depremi

1999 yılında Kocaeli de meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.3 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,46g olan Kocaeli depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır.

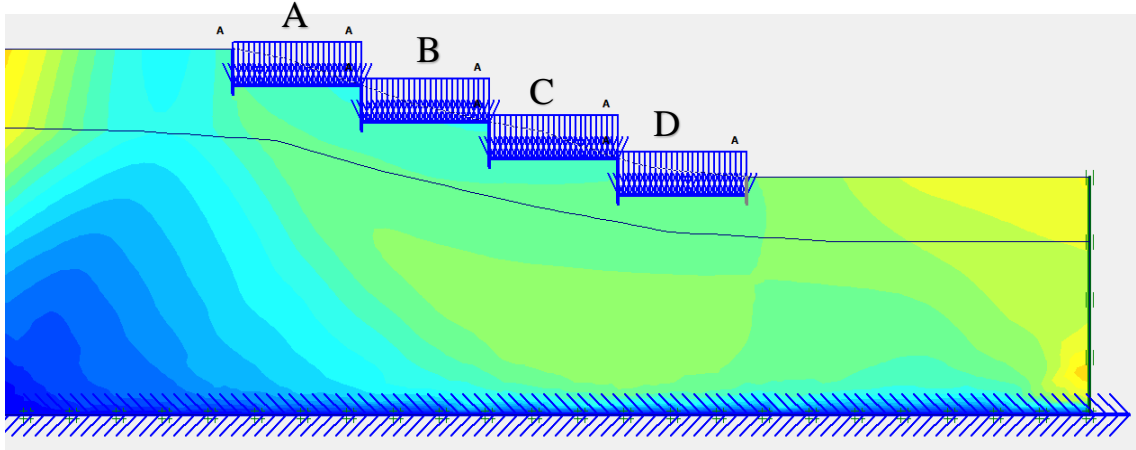
Deplasmanların en fazla olduğu bölge, yapının sağ tarafında yer alan D bloğunun altında ve A bloğunun altındaki kazıkta oluşmuş olup Şekil 7.22’de gösterilmiştir.



Şekil 7.22. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Kocaeli depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 53,5 cm).

7.2.2.4 Erzincan depremi

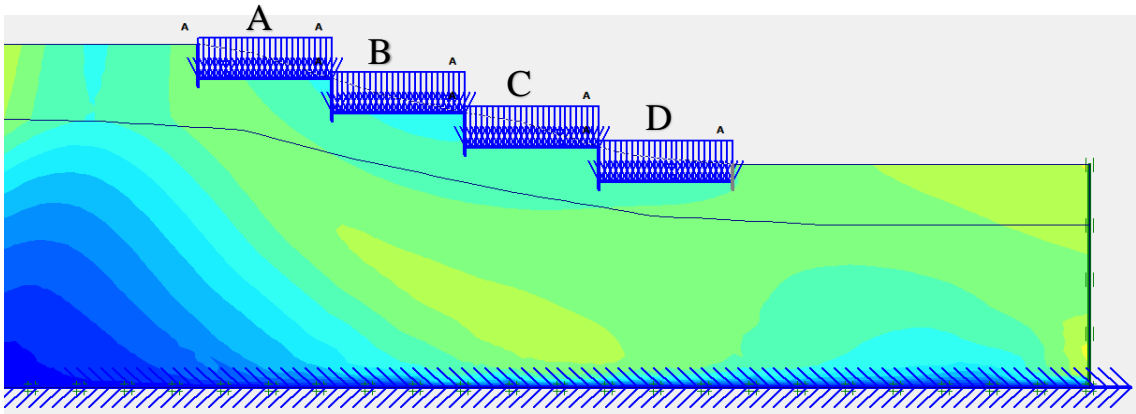
1992 yılında Erzincan da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 6.8 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,60g olan Erzincan depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Deplasmanların en fazla olduğu bölge, yapının sağ tarafında yer alan D bloğunun altında meydana geldiği görülmüş olup Şekil 7.23' da gösterilmiştir.



Şekil 7.23. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Erzincan depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 49,5 cm).

7.2.2.5 Kobe depremi

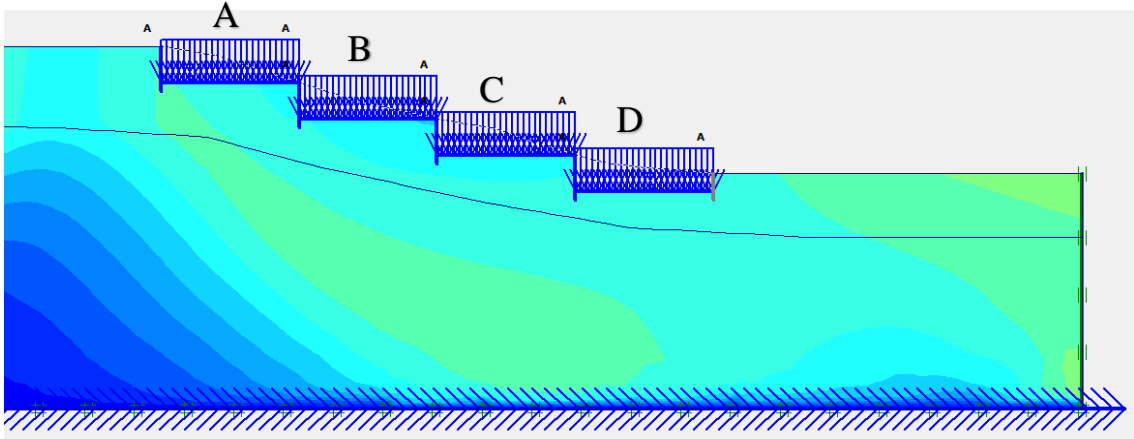
1995 yılında Kobe de meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,58g olan Kobe depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Deplasmanların en fazla olduğu bölge, A ve B bloklarının altında ve en üstteki kazıkta meydana geldiği görülmüş olup Şekil 7.24' de gösterilmiştir.



Şekil 7.24. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Kobe depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 30,5 cm).

7.2.2.6 Newzeland depremi

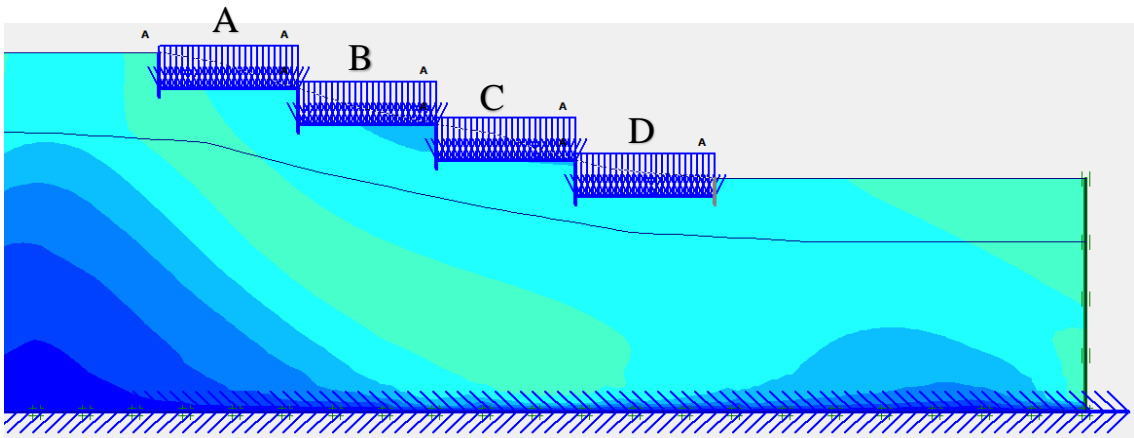
2016 yılında Yeni Zelanda da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.8 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,61g olan Yeni Zelanda depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Deplasmanların en fazla olduğu bölge, A ve B bloklarının altında ve en üstteki kazıkta oluşmuş olup Şekil 7.25’ de gösterilmiştir.



Şekil 7.25. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Yeni Zelanda depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 35,2 cm).

7.2.2.7 Victoria depremi

2010 yılında Victoria da meydana gelen magnitüd büyüklüğü 7.2 ve maksimum ivmesi (a_{max}) 0,43g olan Victoria depremi kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Deplasmanların en fazla olduğu bölge, A bloğunun altında ve en üstteki kazıkta oluşmuş olup Şekil 7.26’ de gösterilmiştir.



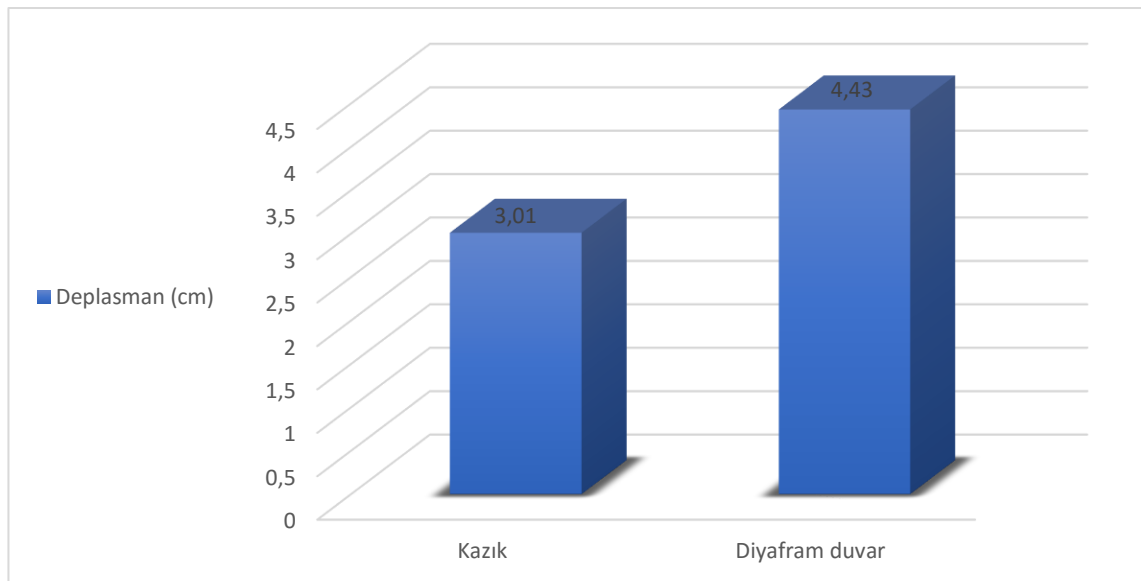
Şekil 7.26. Diyafram duvar modelinde dinamik analiz (Victoria depreminde yapıda oluşan maksimum deplasman 22,8 cm).

SONUÇLAR

Bu çalışmada Yalova ilinde yapılacak olan 8 bloklı bir yapının kalıcı iksa sistemleriyle desteklenmesi amacıyla diyafram duvar ve fore kazık destek yöntemleri ele alınmıştır. Destek sistemlerinin her biri öncelikle Plaxis programı ile statik analiz uygulaması daha sonra da dinamik analiz uygulamasına tabi tutulmuştur.

Statik analiz sonucunda;

Kazıklı modellemede oluşan deplasman 3,01 cm iken diyafram duvarlı modellemede oluşan deplasman 4,43 cm olarak hesaplanmıştır. Statik analizde oluşan deplasmanlar aşağıda Şekil 7.27’de gösterilmiştir.



Şekil 7.27. Statik analizde oluşan deplasmanlar.

Dinamik analiz sonucunda;

Düzce depremi için; kazıklı modellemede 21,24 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 30,7 cm deplasman oluşmuştur.

Van depremi için; kazıklı modellemede 16,7 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 19,7 cm deplasman meydana gelmiş,

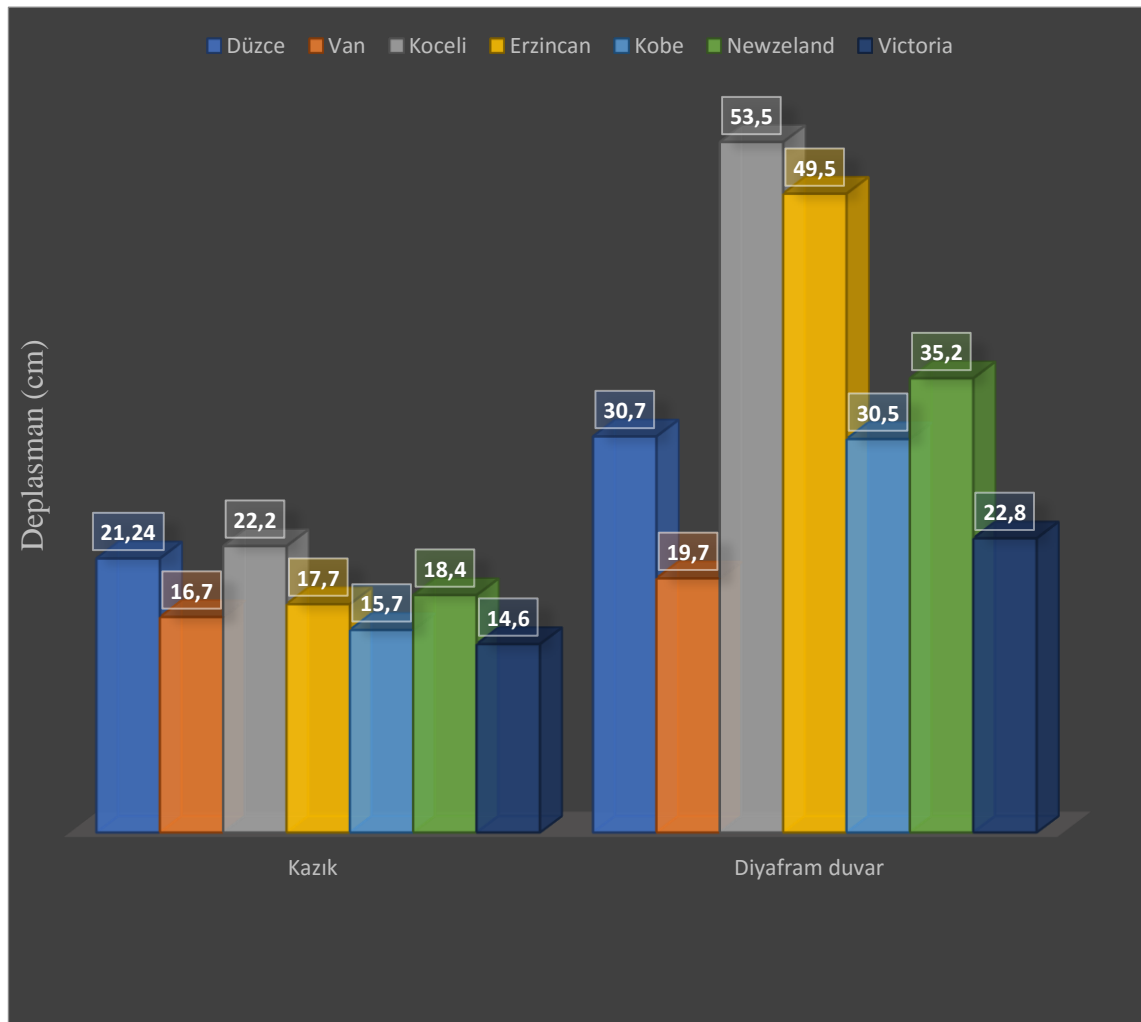
Kocaeli depremi için; kazıklı modellemede 22,2 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 53,5 cm deplasman meydana gelmiş,

Erzincan depremi için; kazıklı modellemede 17,7 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 49,5 cm deplasman meydana gelmiş,

Kobe depremi için; kazıklı modellemede 15,7 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 30,5 cm deplasman meydana gelmiş,

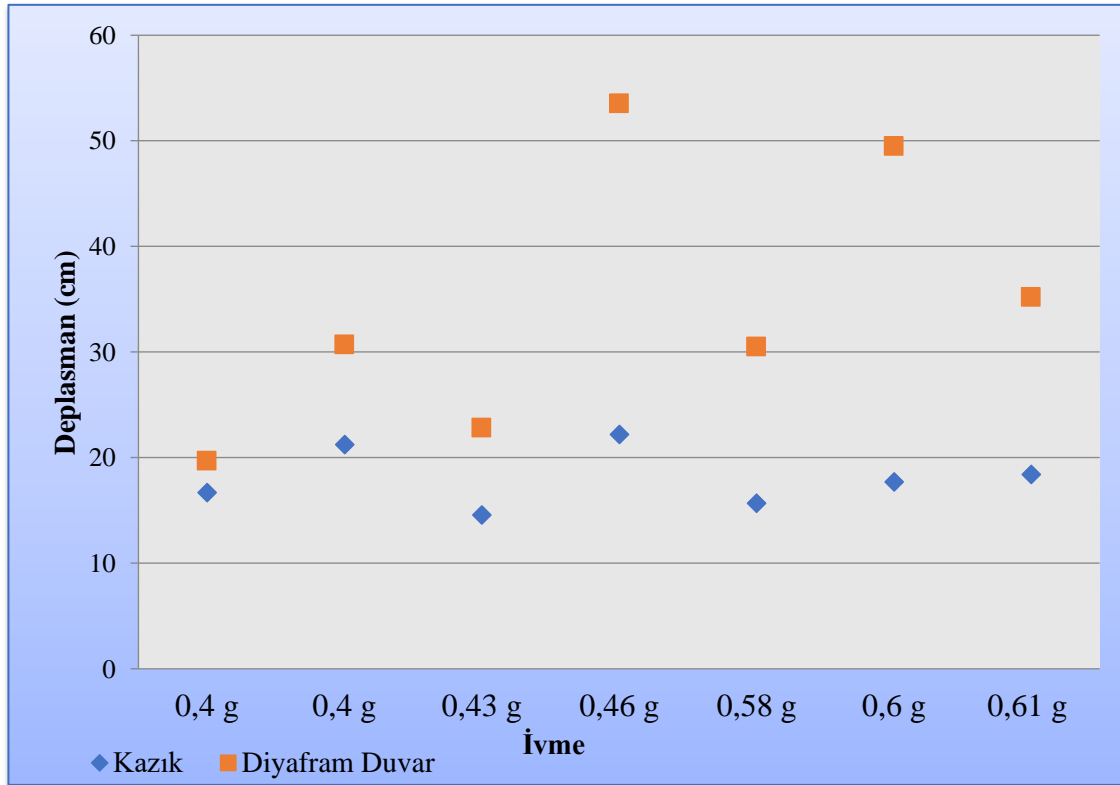
Yeni Zelanda depremi için; kazıklı modellemede 18,4 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 35,2 cm deplasman meydana gelmiş,

Victoria depremi için; kazıklı modellemede 14,6 cm deplasman oluşurken diyafram duvarlı modellemede 22,8 cm deplasman meydana gelmiştir. Meydana gelen deplasmanlar aşağıda Şekil 7.28 'de gösterilmiştir.



Şekil 7.28. Dinamik analizde kazık ve diyafram duvarda meydana gelen deplasmanlar.

Dinamik analiz sonucunda; maksimum ivme değerlerine göre kazıklı modelde ve diyafram duvarlı modellemede meydana gelen deplasmanlar aşağıda Şekil 7.29'da gösterilmiştir.



Şekil 7.29. İvme değerlerine göre kazıkta ve diyafram duvarda meydana gelen deplasmanlar.

Ülkemizde ve dünyada her geçen gün nüfusun artmasıyla birlikte yeni yerleşim alanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle deprem bölgelerinde yapılacak olan yapıların deprem sonrasında meydana gelebilecek can ve mal güvenliği çok önemli olmaktadır. Bunun için yapılar tasarlanırken ilerde meydana gelebilecek depremler göz önünde bulundurularak tasarım ve hesap yapılmalıdır. Bu çalışmada statik analiz sonucu oluşan deplasmanlara bakıldığında, kazıklı modellemede ve diyafram duvarlı modellemede oluşan deplasmanlar kabul edilebilir sınırlar içinde yer almaktadır. Ancak Van, Düzce, Kocaeli, Erzincan, Kobe, Newzeland, Victoria deprem kayıtları kullanılarak yapılan dinamik analizde oluşan deplasmanlar hem kazıklı modellemede hem de diyafram duvarlı modellemede çok fazla artmaktadır. Kazıklı modellemede oluşan deplasmanların statik durumda ve depremler durumunda diyafram duvarlı modellemede oluşan deplasmanlardan daha az olduğu görülmektedir. Bu durumda inşası yapılacak olan yapılar için bu projede kazıklı modelleme magnitüd büyüklüğü 6.5 ve üzerinde olan bölgelerde daha güvenli olacağından tercih edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akbaş, P. (2018). *Zemin Etüt Raporu*, Jeoloji Müh. Bölümü, Yalova, Türkiye.
- Aktepe, M. N. (2016). *Kazık Yükleme Deneylerini Değerlendirme Yöntemlerinden ÖZKAN-ALKU Yönteminin Geliştirilmesi ve Önerilen Yeni Yöntem İle Erken Göçme Yüğü Tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Aslan, V. (2017). *Derin Kazıların Sayısal Analizi İçin Parametrik Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, Türkiye.
- Bahar, M. (2009). *Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Birand, A. A. (2007). *Kazıklı Temeller*, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation Design: Principles and Practices*, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River.
- Çalışkan, Ö. (2003). *Kazıklı Temellerin Analitik Yöntemlerle Statik ve Betonarme Çözümleri*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
- Das, B.M. (1984). *Principles Of Foundation Engineering*, Wadsworth, Inc, California, USA.
- Dayıoğlu, M. (2010) *Derin Kazıların İncelenmesi ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek: Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Demir, D. (2015). *Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Meydana Gelen Deplasmanlar İle İlgili Parametrik Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Durlanık, N. (1995). *Kazıkların Eksenel ve Yatay Yük Taşıma Kapasiteleri*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Güler, E. (2017). *Şevlerin Dinamik Yükler Altındaki Performansının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- İnan, Ç. (1993). *Kazıklı Temeller ve Kazıklı Temellerin Bilgisayar Programı ile Hesabı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- Odbay, O. (1995). *Kazıklı Temeller ve Düşey Yükler Altında Temel Sistemlerinin Hesap ve Analiz Yöntemlerinin Rasyonelleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sağlam, A. (2006). *Derin Kazılarda Görülen Stabilite Problemleri ve İlgili Çözüm Kriterlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Toğrol, E. ve Tan, O. (2003). *Kazıklı Temeller*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.
- Tokgöz, C. (1997). *Kazık Taşıma Gücünün Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Kohezyonlu Lineer Olmayan Zemin Davranışında İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- TS 3168 EN 1536, 2001.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. (2018), Türkiye.
- Url-1. <http://www.karyapzemin.com.tr>, (Erişim Tarihi: 02.06.2019).
- Url-2. <http://www.naturalzemin.com>, (Erişim Tarihi: 25.06.2019).
- Url-3. <https://www.kentharita.com>, (Erişim Tarihi: 28.06.2019).
- Url-4. <http://www.parkzemin.com>, (Erişim Tarihi: 07.07.2019).
- Yıldırım, S. (2004). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye.

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yasin ZENCİR
Doğum Yeri ve Tarihi : MUŞ / 13.10.1989



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği

İletişim

Adres : Merkez / YALOVA
E-Posta Adresi : yasinznr@gmail.com

Akademik Çalışmaları

- Zencir, Y., Yılmaz, G., Işık, N.S., Afacan, K.B., (2019). Sonlu Elemanlar Yönteminde Destekli Kazı Teknikleri Uygulaması: Vaka Analizi. *Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi 26-28 Haziran, 2019.*

Tarih: 20/08/2019