

ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

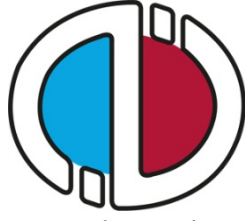
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAZIK, ZEMİN
ÇİVİSİ, ANKRAJ MODELLENMESİ

Gökhan ŞAHİN
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

BİLECİK, 2019
Ref. No.: 10292094



ESKİŞEHİR
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

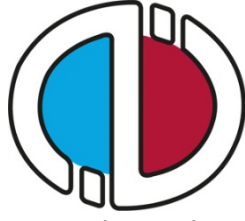
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAZIK, ZEMİN
ÇİVİSİ, ANKRAJ MODELLENMESİ

Gökhan ŞAHİN
Yüksek Lisans

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

BİLECİK, 2019



ESKİŞEHİR
ANADOLU UNIVERSITY



BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
BİLECİK
ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

MODELLING OF PILES, NAILS, ANCHORAGES BY
FINITE ELEMENT METOT

Gökhan ŞAHİN
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 41/03 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 20/08/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gökhan ŞAHİN'in "Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Kazık, Zemin Çivisi, Ankraj Modellenmesi" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE
(TEZ DANIŞMANI) :

Prof. Dr. Mustafa 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 çalışmam boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı tez danışmanım Prof. Dr. Gülgün YILMAZ'a en içten dileklerle birlikte teşekkür ederim.

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

Her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili aileme teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca benden desteğini esirgemeyen benim mücadele etmemde manevi emeği olan sevgili eŐime'de teşekkür ederim. Her türlü yardımlarından dolayı değerli dostlarım İnaŐat Mühendisi Yasin ZENCİR'e, İnaŐat Mühendisi Ali POLAT'a 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

Gökhan ŞAHİN

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAZIK, ZEMİN ÇİVİSİ, ANKRAJ MODELLENMESİ

ÖZET

Ülkemiz içinde bulunduğu coğrafi konum sebebiyle depremlerin etkisindedir. 17 Ağustos 1999 Adapazarı ve çevre illerinde oluşan deprem çok büyük can ve mal kaybına sebep olmuştur. Bu sebeple, deprem riski taşıyan bölgelerde deprem sırasında zeminde oluşan taşıma kapasitesi kaybını önlemek gerekmektedir. Zemin özelliklerine göre uygun yapı sistemleri seçilerek inşaatlar yapılmaktadır. Elverişsiz zeminler üzerine binalar yapılacaksa uygun iyileştirme ve tasarım kriterleri geliştirilmelidir. Bu çalışmanın amaçlarından en önemlisi, zeminde meydana gelen dinamik deprem yüklerinin etkisi sonucunda zeminde oluşan tahribatları engellemek ve deplasmanların oluşmasını önlemek amaçlı çalışmalar yapmaktır. Bu çalışmada, deprem yükleri etkisinde kalan eğimli bir bölgede oluşan deplasmanlar belirlenerek, oluşan deplasmanlara ve göçmeye karşı önlem almak amacıyla zemin iyileştirme yöntemlerinden kazık ile ankraj, kazık ile zemin çivisi uygulaması yapılmıştır. Plaxis programı kullanılarak deplasmanlar önce statik yükler etkisinde daha sonra dinamik deprem yükleri etkisinde belirlenmiştir. Bu çalışmada kazık ile zemin çivisi ve kazık ile ankraj uygulaması kullanılarak statik analiz yapıldığında oluşan deplasmanların kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu hesaplanmıştır. Kazık ile zemin çivisi uygulamasında yapılan dinamik analizler sonucunda oluşan deplasmanların kazık ile ankraja göre daha büyük olduğu hesaplanmalar sonucu tespit edilmiştir. Böylece deprem etkisi içinde olan bölgelerde kazık ile ankrajın birlikte kullanılması daha güvenli ve fonksiyonel bir çözüm olduğunu söylemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Deprem Yükleri, Zemin İyileştirme, Kazık ile Ankraj, Kazık ile Zemin Çivisi, Plaxis

MODELLING OF PILES, NAILS, ANCHORAGES BY FINITE ELEMENT**METOT****ABSTRACT**

Turkey is under the influence of earthquakes due to its geographic location. The Kocaeli earthquake happened in 17 August 1999 caused great loss of life and property in Adapazarı and its surrounding provinces. Therefore, it is necessary to prevent loss of bearing capacity of the soil during the earthquake. Buildings are constructed by selecting suitable systems according to the soil characteristics. If they are needed to be built on soils with undesirable properties, appropriate improvement and design criteria should be developed. In this study, displacements occurring in an inclined area affected by earthquake loads were determined. Piles with anchors, piles with ground nails (ground improvement techniques) have been applied in order to restrict the displacements and prevent the failure of the soil. The analyses were conducted by using the Plaxis program. Piles with anchors and piles with ground nails systems were applied to limit the slipping of the region subject to big displacements. With the proposed systems, the strength of the soil increased and the displacements remained within acceptable limits.

Keywords: Earthquake Loads, Soil Improvement, Piles with Anchors, Piles with Nails, Plaxis

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR.....
BEYANNAME
ÖZET.....	I
ŞEKİLLER DİZİNİ	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	X
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	2
3. ZEMİNİN DİNAMİK ETKİLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI.....	4
3.1. Sönüm Oranı	5
3.2. Dinamik Zemin Parametrelerinin Laboratuvarda Deneysel Olarak Belirlenmesi .	6
3.3. Dinamik Parametrelerin Arazi Deneyleri İle Belirlenmesi.....	7
3.3.1. Jeofizik Yöntemler	7
3.3.2. Arazi Yöntemleri.....	8
3.4. Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Özellikleri.....	11
4. KAZIK, ZEMİN ÇİVİSİ VE ANKRAJLARLA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	12
4.1. Kazıklar İle İlgili Genel Bilgiler	12
4.1.1. Kazıkların Kullanım Amaçları.....	12
4.1.2. Kazık Tipi Seçimini Etkileyen Faktörler.....	13
4.1.3. Kazıkların Kullanıldığı Yerler	13
4.1.4. Kazıkların Sınıflandırılması.....	15
4.2. Ankrajlar ile İlgili Genel Bilgiler	20
4.2.1. Ankrajların kullanıldığı yerler	20
4.2.2. Ankrajların Sınıflandırılması.....	22
4.2.3. Ankraj Elemanları	24
4.2.4. Zeminde ankraj imalatı.....	26
4.2.5. Tendonların Yerleştirilmesi.....	26
4.2.6. Enjeksiyon yapılması	27
4.2.7. Ankrajların enjeksiyonu	27

4.2.8. Ankraj aralığının belirlenmesi	27
4.2.9. Ankraj serbest boyu ve kök boyunun belirlenmesi.....	28
4.2.10. Ankrajlarda stabilite tahkikleri	29
4.2.11. Ankraj Taşıma Gücü Tahmini	30
4.3. Zemin Çivisi İle İlgili Genel Bilgiler	30
4.3.1. Uygulama alanları.....	31
4.3.2. Kullanılan malzemelerin tanımı.....	35
4.3.3. Zemin çivisi yapım aşamaları.....	37
4.3.4. Zemin çivisinin avantajları	40
4.3.5. Zemin Çivisi İçin Tercih Edilen Zemin Durumları	42
5. PROJE BİLGİLERİ	43
6. ZEMİN BİLGİLERİ.....	44
7. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAZIK, ZEMİN ÇİVİSİ, ANKRAJ MODELLENMESİ.....	47
7.1. Fore Kazık Modelleme	47
7.2. Ankraj Modelleme	47
7.3. Zemin Çivisi Modelleme	48
8. ZEMİNLERİN STATİK VE DİNAMİK DAVRANIŞININ ANALİZİ	50
8.1. Kazık ile Zemin Çivisi Modellemesi.....	50
8.1.1. Düzce depremi	50
8.1.2. Kocaeli depremi	52
8.1.3. Erzincan depremi	53
8.1.4. Victoria depremi	55
8.1.5. Yeni Zelanda depremi	57
8.1.6. Kobe depremi.....	58
8.2. Kazık ile Ankraj Modellemesi	60
8.2.1 Victoria depremi	60
8.2.2. Yeni Zelanda depremi	62
8.2.3. Kobe depremi.....	63
8.2.4. Düzce depremi	65
8.2.5. Kocaeli depremi	66
8.2.6. Erzincan depremi	68

9. SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZ GEÇMİŞ.....	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1. Gerilme şekil değiştirme davranış histeres ilmikleri (Özener, 2015).....	4
Şekil 3.2. Histeresis Eğrisi (Özener, 2015).	6
Şekil 3.3. Tek kuyu ile derinlik boyunca dalga yayılma hızlarının değişik tabakalar için ölçülmesi(Özener,2015).....	8
Şekil 3.4. Sismik yansıma yöntemi(Özener,2015).	9
Şekil 3.5. Sismik koni ucu (Özener,2015).	10
Şekil 3.6. Karşıt kuyu yöntemi ile dalga yayılma hızlarının ölçülmesi (Özener, 2015).....	11
Şekil 4.1. Kazık tipik konfigrasyonu(Koyunlu,1996).....	15
Şekil 4.2. Fore kazık imalat safhası (Url,1).....	16
Şekil 4.3. Çakma Kazıklar (Das,2011).	18
Şekil 4.4. Çakma Kazık İmalat Şekli(Toğrol,2009).	19
Şekil 4.5. Çalışma şekline göre kazıklar(Uzuner,2006).....	20
Şekil 4.6. Ankrajların kullanım alanları (FHWA,1999).	21
Şekil 4.7. Temel ankraj tipleri.	23
Şekil 4.8. Geçici ankraj modeli.	24
Şekil 4.9. Ankraj kafası detayı (Başeski,2008).	25
Şekil 4.10. Ankraj kök bölgesi detayı (Başeski,2008).....	26
Şekil 4.11. Öngermeli ankraj tasarımı.	28
Şekil 4.12. Ankrajlı iksa sistemlerinin yenilme durumları (FHWA-IF-99-015, 1999) .	29
Şekil 4.13. Zemin çivili duvar ile yapılan yol genişletme çalışması (Porterfield ve diğ,1994).....	31
Şekil 4.14. Köprü altı yol genişletme çalışması (Porterfield ve diğ, 1994).....	32
Şekil 4.15. Zemin çivili duvar ve mekanik stabilize duvar (Wood ve diğ, 2009).....	33
Şekil 4.16. Dik yamaçlı bölgelerde uygulanan zemin çivili ve mekanik stabilize duvar örneği (Özsu ve diğ, 2009).	34
Şekil 4.17. Zemin çivili iksa inşaatı - Dallas Stadyumu, Texas, USA.(Haywardbaker Company).	35
Şekil 4.18. Zemin çivisi duvarına ait kesit (Porterfield ve diğ, 1994).....	36
Şekil 4.19. Kullanılan malzemelere ait tip detay (Porterfield ve diğ, 1994)	36

Şekil 4.20.	Kaplama yapılmış zemin çivisi duvar örneği (Haywardbaker Company). .	37
Şekil 4.21.	Zemin çivili duvar imalat aşamaları (Porterfield ve diğ, 1994).....	38
Şekil 4.22.	Drenaj sistemli zemin çivisi (Lazarte ve diğ, 2015).....	40
Şekil 5.1.	Araziye ait plankote	43
Şekil 6.1.	Arazide yapılan sismik kırılma çalışması.....	46
Şekil 7.1.	Kazık ve ankraj uygulaması modellemesi(Plaxis).	48
Şekil 7.2.	Kazık ve zemin çivisi uygulaması modellemesi (Plaxis).	49
Şekil 8.1.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması (statik analiz deplasman 1,2 cm) (Plaxis).....	50
Şekil 8.2.	Düzce depremine ait depremine ait akselogram.	51
Şekil 8.3.	Düzce Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	51
Şekil 8.4.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 33,3 cm) (Plaxis).....	52
Şekil 8.5.	Kocaeli depremine ait akselogram.	52
Şekil 8.6.	Kocaeli Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	53
Şekil 8.7.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 36,1 cm) (Plaxis).....	53
Şekil 8.8.	Erzincan depremine ait akselogram.	54
Şekil 8.9.	Erzincan Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	54
Şekil 8.10.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması (dinamik analiz, deplasman 51,8 cm) (Plaxis).....	55
Şekil 8.11.	Victoria depremi akselogramı.....	55
Şekil 8.12.	Victoria Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	56
Şekil 8.13.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 32,4 cm) (Plaxis).....	56
Şekil 8.14.	Yeni Zellanda depremi akselogramı.	57
Şekil 8.15.	Yeni Zellanda Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	57
Şekil 8.16.	Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 44,2 cm) (Plaxis).....	58
Şekil 8.17.	Kobe depremine ait akselogram.....	58
Şekil 8.18.	Kobe Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).....	59

Şekil 8.19. Kazık ile zemin çivisi uygulaması (dinamik analiz, deplasman 41,5 cm) (Plaxis).....	59
Şekil 8.20. Kazık ile ankraj uygulaması (statik analiz deplasman 1,22 cm) (Plaxis)....	60
Şekil 8.21. Victoria depremi akselogramı.....	61
Şekil 8.22. Victoria Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	61
Şekil 8.23. Kazık ile ankraj uygulaması(dinamik analiz, deplasman 30,2 cm) (Plaxis).....	62
Şekil 8.24. Yeni Zellanda depremi akselogramı.	62
Şekil 8.25. Yeni Zellanda Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	63
Şekil 8.26. Kazık ile ankraj uygulaması(dinamik analiz, deplasman 38,3 cm) (Plaxis).....	63
Şekil 8.27. Kobe depremine ait akselogram.....	64
Şekil 8.28. Kobe Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).....	64
Şekil 8.29. Kazık ile ankraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 37,1 cm) (Plaxis).....	65
Şekil 8.30. Düzce depremine ait depremine ait akselogram.	65
Şekil 8.31. Düzce Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	66
Şekil 8.32. Kazık ile ankraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 27,2 cm) (Plaxis).....	66
Şekil 8.33. Kocaeli depremine ait akselogram.....	67
Şekil 8.34. Kocaeli Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).	67
Şekil 8.35. Kazık ile ankraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 32,1 cm) (Plaxis).....	68
Şekil 8.36. Erzincan depremine ait akselogram.	68
Şekil 8.37. Erzincan Depremine Ait Deplasmanların Yönü.	69
Şekil 8.38. Kazık ile ankraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 44 cm).....	69
Şekil 9.1. Statik analiz sonucu oluşan deplasman miktarı değerleri.....	71
Şekil 9.2. Kazık ile zemin çivisi uygulamasında dinamik analizler sonucu oluşan deplasmanlar	72
Şekil 9.3. Kazık ile ankraj uygulamasında dinamik analizler sonucu oluşan deplasmanlar	73

Şekil 9.4. Kazık ile ankraj ve kazık ile zemin çivisi uygulamasının dinamik analizler sonucunda oluşan deplasmanların karşılaştırılması	74
--	----

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 6.1. Zemin parametreleri	44
Çizelge 6.2. Zemine ait dinamik parametreler	45
Çizelge 7.1. Fore kazık parametreleri.....	47
Çizelge 7.2. Ankraj parametreleri.	47
Çizelge 7.3. Zemin çivilerine ait parametreler.....	48
Çizelge 8.1. Kazık ile zemin çivisi uygulamasından elde edilen deplasmanlar.....	60
Çizelge 8.2. Kazık ile ankraj uygulamasından elde edilen deplasmanlar.....	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

c'	: Efektif Kohezyon
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız Kayma Dayanımı
E	: Elastisite(Young) Modülü
M_{max}	: Maksimum Moment
P	: Toplam Kuvvet
σ'	: Efektif Gerilme
u	: Boşluk Suyu Basıncı
γ	: Zemin Doğal Birim Hacim Ağırlığı
γ'	: Efektif Birim Hacim Ağırlık
γ_d	: Doygun Birim Hacim Ağırlık
γ_w	: Suyun Birim Hacim Ağırlık
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'	: Efektif İçsel Sürtünme Açısı
ϕ_{cv}	: Kritik bölge içsel sürtünme açısı
ν	: Poisson Oranı
ε	: Eksenel Deformasyon
S	: Enine Dalga Hızı
P	: Boyuna Dalga Hızı
a_{maks}	: Pik ivme
EA	: Eksenel Rijitlik
EI	: Eğilme Rijitliği
A	: Kayma Akma Gerilmesi
G	: Kayma Elastik Modülü
f	: Frekans
WD	: Histerises İlmiğinin Alanı
K	: Bulk Modülü
Z	: Kalınlık Düz Atış
T_0	: Zemin Hakim Periyodu

Ed : Dinamik Elastisite Modülü
Gd : Dinamik Kayma Modülü
G_{max} : Kayma Modülünün Maksimum Değeri

Kısaltmalar

CPT : Konik Penetrasyon Deneyi

1. GİRİŞ

Depremler ülkemizin ve dünyamızın kaçınılmaz bir gerçeğidir. Ülkemiz deprem kuşağı içinde bulunmaktadır. Depremler sonucunda hem can hem mal kaybı olmaktadır. Bu nedenle deprem sonucunda oluşan tahribatları önlemek amaçlı zeminde iyileştirme ve derin bir kazıda zeminin göçmemesi ve ayrıca depremlerden dolayı deplasmanların kabul edilebilir sınırlar içinde oluşması için zeminde önlem almak gerekmektedir. Derin bir kazının yapılmasında zemin çoğu kez kendini tutamayabilir. Bu nedenle bazı yöntemlere başvurarak kazı yapacağımız yerin güvenliğini sağlamak amacıyla kazı yapacağımız yerde destekleme yapmak gerekmektedir. Depremler sırasında zemin tabakalarının davranışı zeminin göçüp göçmemesi açısından çok önemlidir. Sismik yükler sonucunda zeminlerde meydana gelen devrilme, kayma, düşme, heyelan gibi önemli derecede hasarlar oluşmaktadır.

Deprem hareketinin özellikleri; tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üssüne uzaklığı, deprem dalgasının ilerleme yolu üzerindeki jeolojik yapının etkisi, deprem dalgalarının girişimi, yerel yüzey topografyasının ve zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Spektral büyütme etki eden faktörlerin başında, ana kayanın bulunduğu yer, tabakaların kalınlıkları, zemin cinsi, zeminin dinamik özelliklerinin derinlikle farklılaşması ve topoğrafik özellikler gelmektedir (Haşal,2003).

Bu çalışmada; bu yöntemlerden kazık ile zemin çivisi ve kazık ile ankraj iksa sistemleri birlikte kullanılmıştır. Yapılan derin kazıda dinamik etkiler sonucu göçme meydana gelip gelmediği sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Zeminlerin dinamik davranışının kazık ile ankraj ve kazık ile zemin çivisi çözümü konusunda çalışılmış ve sonuca gidilmiş çalışmalara değinilmiştir.

Kaya ve arkadaşları (2002),17 Ağustos 1999 yılında Adapazarında meydana gelen deprem sonrasında Adapazarı zeminlerinin dinamik özelliklerini belirlemek adına kent merkezinde sondaj çalışmaları yapmışlar ve alınan numuler üzerinde deneyler yaparak zeminin dinamik dayanım özelliklerini belirlemişlerdir. Almış oldukları suya doymun ve örselenmemiş silt, kil ve siltli kum numulerini f:0,1 frekasında değişik dinamik kayma gerilmesi oranlarında deneylere tabi tutmuşlardır. Tekrarlı yük altında çevrim arttıkça şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncının arttığı, numunelerin plastisitesinin artması ile mukavemetin arttığı sonuçlarına ulaşmışlardır. Düşük dinamik kayma gerilmesi oranlarında Adapazarı zeminlerinin sıvılaştığını ve göçtüğünü söyleyerek, bu tür zeminlerde yapılaşma olmadan önce araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Medina ve Taylor (1983), çalışmalarında, yapıyı ve yakınında bulunan zemin bölgesini sonlu elemanlar yöntemi ile uzaktaki bulunan zemin bölgesini ise sonsuz elemanlar yöntemi ile modelleyerek hem statik halde hemde dinamik yükler altında zemin ve yapı etkileşimini dikkate alan analiz gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma içerisinde statik ve dinamik yükler için sonsuz eleman modelleri önerilmekte ve elastik zemin üzerine oturan, ortasından düşey yüklü dairesel rijit plak örneği üzerinde modelin doğruluğu kontrol edilmektedir.

Mylonakis vd. (2006),Deprem yüklerine maruz kalan köprünün zemin ile etkileşimini empedans işlevlerine bağlı incelemişlerdir.

Lotze, vd., (2001), çekme ve kesme yüklemesinin aynı anda uygulandığı ankrajların davranışını araştırmışlardır. İnceleme alanı olarak Amerika'daki nükleer santrallerde en çok kullanılan ankraj tür ve boylarına benzer şekilde ekilerek oluşturulan 179 adet ankrajın statik ve dinamik davranışlarını incelemişlerdir.

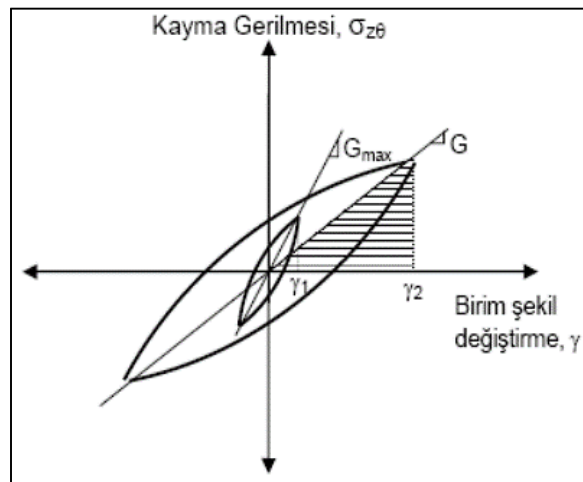
Kaya (2007), yaptığı tez çalışmasında 14 MPa basınç dayanımına sahip betona ekilen ankrajların farklı yüzey koşulları altında deneyler yaparak incelemiştir. Üç tip yüzey temizlik işlemleri tanımlanarak gerçekleştirilen çekip çıkarma deneylerinde derin ankrajlarda sıyrılma olmadan önce donatının büyük oranda pekleştigi ve ardından ani göçme ile göçtüğünü belirlemiştir. Kullanma yüzeyinin herhangi bir yüzey temizlik

işlemi görmemesi durumunda tasarım dayanımının en az %30 azaltılarak değerlendirilmesi gerektiğini ifade etmiştir.

Ozbolt, vd., (2006), yaptıkları çalışmada başlıklı tekil ankrajların sonlu elemanlar yöntemi yardımıyla nihai eksenel dayanımlarını incelemişlerdir. Derinlikleri 150-1500mm arasında değişen farklı gömülme derinliklerinde, küçük, orta ve geniş başlıklı ankraj çivilerinin davranışını beton koni modeli tahmin yöntemi sonuçlarıyla kıyaslamışlardır. Ankrajların derinlikleri arttıkça eksenel çekme yük kapasitelerinin arttığı ve geniş başlıklı ankraj çivilerinin nümerik hesaplamalar için uygun olduğunu gösterilmiştir.

3. ZEMİNİN DİNAMİK ETKİLER ALTINDAKİ DAVRANIŞI

Dinamik yükler altında zeminleri iki şekilde düşünmek gerekir. Bunlardan birincisi yapıların üzerine oturduğu temel altı malzemesi olarak ikincisi ise zeminin kendisinin inşaat malzemesi olarak kullanıldığı yapılar. Birincisinde, zemin üzerinde taşıdığı yapıyı, yapıya etkiyen atalet kuvvetlerinin şiddeti ve temel stabilitesi yönlerinden etkilerken ikincisinde ise, zeminin tekrarlı yükler altında malzeme davranışı önemli olmaktadır. Zeminin dinamik özelliklerin belirlenmesinde depremler ve sismik dalga yükleri gibi tekrarlı yüklemeler önemli bir yer tutmaktadır. Zeminlerin drenajsız olduğu durumlarda tekrarlı yükler altında zeminde dayanım kaybı; kohezyonsuz durumda zeminlerde sıvılaşma durumlarının incelenmesi gerekmektedir, kohezyonlu durumda, ise aşırı derece deformasyon ve göçme durumlarının incelenmesi gerekmektedir. Zeminlerin tekrarlı yükler altındaki davranışı; dayanım ve gerilme-şekil değiştirme karakteristikleri üzerinden incelenir (Özener, 2015). Gerilme-şekil değiştirme davranışları histeres ilmikleri aşağıda Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gerilme şekil değiştirme davranış histeres ilmikleri (Özener, 2015).

Gerilme-şekil değiştirme özellikleri olarak; dinamik kayma modülü, sönüm oranı değerleri ve bunların birim şekil değiştirmeye bağlı olarak değişimlerinin bulunmasıdır. Mukavemet özellikleri olarak da göçmeye veya büyük şekil değiştirmelere neden olan kayma gerilmesi genliği, çevrim sayılarının bulunmasıdır. Zeminlerin dinamik davranışı özellikleri, zeminlerde oluşan deformasyonların mertebesi

ile ilişkilidir. Elastik ve elasto-plastik davranış koşullarındaki şekil değiştirme seviyelerinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme özellikleri ön plana çıkmaktadır.

Daha büyük şekil değiştirme seviyelerinde ise uygulanan yük altında zemindeki mukavemet kayıpları ve plastik şekil değiştirme özellikleri önem kazanmaktadır. Zeminlerin dinamik özellikleri düşük deformasyon seviyelerinde, rijitlik, sönümlenme, Poisson oranı, yoğunluk gibi parametrelere bağlıdır. Bunlar arasında rijitlik ve sönümlenme en önemlileridir. Ayrıca zeminin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde aşağıdaki faktörlerde sıralanabilir.

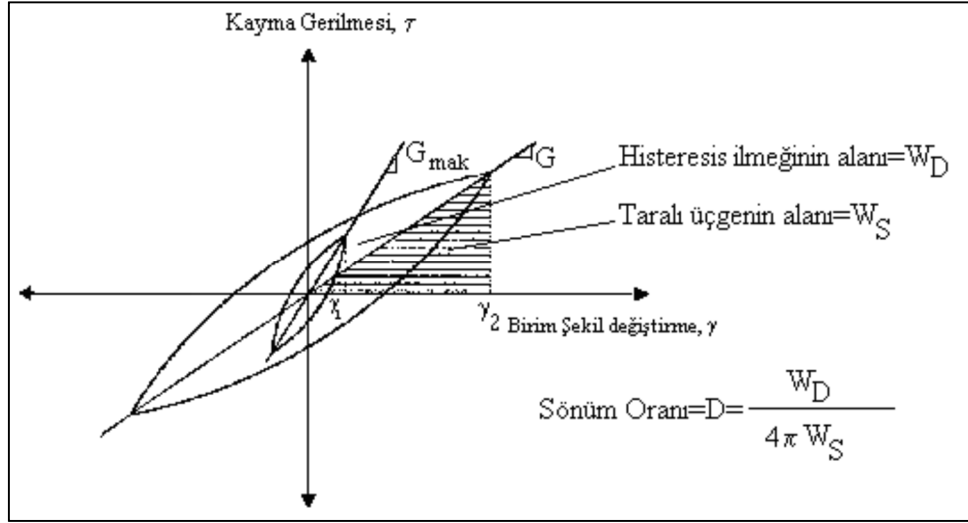
Bunlar; yükleme frekansı, dane çapı dağılımı, ince dane oranı, plastisite indeksi, ortalama efektif çevre gerilmesi, boşluk oranı, yükleme çevrim sayısı, suya doygunluk derecesi, aşırı pekiştirme oranı, kullanılan deneysel yöntem, yükleme biçimi ve yüklemenin doğrultusu (Özener, 2015).

Zeminin dinamik etkiler altında oluşan davranışlarını tanımlamak için mühendislik ana kayası, zemin, zemin transfer fonksiyonu, ve zemin içinde ve yüzeyindeki dinamik yükler ile bu yüklere bağlı olarak oluşacak gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için önce, in-situ (yerinde) yöntemler kullanılarak yeraltının zemin ana kaya modellenmesi yapılır. Model oluşturmak için kullanılan temel parametreler P ve S dalga hızları ile yoğunluk değerleridir. Bu parametre değerlerine ulaşmak için çeşitli jeofizik yöntemler kullanılır. Bu yöntemler sismik yüzey ve kuyu içi çalışmalar yapılarak uygulanmaktadır (Akgün,2013).

Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin önemli bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert anakaya içinde geçirirler. Seyahatlerinin son aşaması, özellikleri anakayaya göre oldukça farklı olan gevşek tutturulmuş zemin olarak adlandırılan yüzey tabakaları içinde gerçekleşir ve bu zemin tabakalarının fiziksel özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin karakteristiğini büyük ölçüde belirler (Yalçınkaya, 2010).

3.1. Sönüm Oranı

Sönümlenme oranı histeres ilmiği alanının histeres ilmiğinin uç noktalarını birleştiren doğrunun altında kalan üçgenin alanına oranı olarak tanımlanır(Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Histeresis Eğrisi (Özener, 2015).

Dinamik yüklenmiş bir malzemedeki ya da mekanik sistemdeki enerji miktarının ısıya dönüşüp azalmasına sönüm denir. Eğer bir malzeme sönümü büyük ise ya bu malzeme dinamik yükleme ya da titreşimler sırasında daha çok enerji yutması anlamına gelir. Zemin elemanında bir çevrim sonucu yutulan enerji zeminlerde sönüm miktarı olarak tanımlanmaktadır. Dinamik problemlerin çözümü açısından zeminlerin sönüm özelliklerini bilmek zeminlerde dalga yayılımı, deprem yükleri karşısında zemin davranışı önem taşımaktadır (Özener,2015).

3.2. Dinamik Zemin Parametrelerinin Laboratuvarda Deneysel Olarak Belirlenmesi

Doğadaki gerilme ve şekil değiştirme koşulları ile laboratuvarda gerçekleştirilen deneylerdeki gerilme ve şekil değiştirme koşulları yaklaşık olarak sağlanabilmektedir. Zemin numunesinin davranış biçimini; araziden alınan numuneler, meydana gelen örselenme veya yeniden oluşturulan numunelerdeki fiziksel özellik farklılıkları etkilemektedir. Dolayısıyla laboratuvar deneylerinden elde edilen bulguların arazi deneyleriyle desteklenmesi çok kullanılan bir yaklaşım yöntemidir. Zeminlerin dinamik özelliklerini deneysel olarak belirleyebilmek için depremler sırasında oluşabilecek yüksek mertebede şekil değiştirme seviyelerinde yaygın olarak,

Dinamik üç eksenli deneyler : Dinamik üç eksenli deneyi standart bir deneydir. Ya sabit bir yükün tekrarlı olarak uygulanması (yük kontrollü deney) veya sabit bir deformasyonun tekrarlı olarak uygulanması (deformasyon kontrollü deney) olarak

gerçekleştirilir. Yükseklik, çap oranı en az 2 olmalıdır. Bu numunedeki gerilme dağılışının üniform olmasını sağlar.

Dinamik basit kesme : Basit Kesme Deneyinde zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışları statik veya dinamik yükler altında incelenebilir. Projelerin geoteknik tasarımında, kumlu zeminler söz konusu olduğunda sıvılaşma direnci belirlenmesi pratikte çeşitli arazi deney sonuçlarına dayanarak yapılmaktadır.

Burulmalı kesme : Burma deneyi metalik malzemelerin kayma elastiklik modülü (G), kayma akma gerilmesi (A) ve kopma modülü gibi özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır. Bununla beraber plastik deformasyonla ilgili teorik çalışmalarda ve birçok mühendislik uygulamalarında faydalı olan bir deneydir. Bu deney takım çelikleri gibi yüksek mukavemetli gevrek malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti ve metalik malzemelerin dövülme özelliğinin saptanmasında yüksek sıcaklık burma deneyi şeklinde endüstriyel uygulamalarda sık kullanılan bir deneydir. Aynı zamanda kullanım yerlerinde burma momentinin uygulandığı şaft, dingil, matkap ucu gibi ürünlere doğrudan doğruya uygulanan bir deneydir.

Sarsma tablası : Malzemelerin üzerinde birebir deprem verilerini, rastgele deprem verilerini yada koşullandırılmış şartları malzeme yada yapı üzerinde simüle etmeye izin veren sistemlerdir.

Rezonant kolonu: 10^{-6} – 10^{-2} (0.0001%–1%) mertebelerindeki birim deformasyonlar için laboratuvar ortamında Kayma Modülü ve sönümlenmenin ölçülmesi için en uygun deney düzeneği rezonans kolon deneyidir. G / Gmax ve ε değerleri bu yöntemle belirlenebilir. Silindirik zemin numunesine elektromıknatıslar yardımı ile bir tork uygulanır. Bu torkun amplitüd ve frekansı ayarlanabilir.

3.3. Dinamik Parametrelerin Arazi Deneyleri İle Belirlenmesi

Zeminin dinamik parametreleri belirleyebilmek için geoteknik ve jeofizik yöntemler kullanılmaktadır.

3.3.1. Jeofizik Yöntemler

Jeofizik yöntemler özel bir uzmanlık işi olup alışılmış araştırma yöntemlerine göre daha kısa sürede ve ekonomik olarak Jeofizik gözlemlerin yorumunda geniş alanları taramak için kullanılmaktadır. Fiziksel özelliklerin farklı olduğu tabakaları ortaya çıkarmak için Jeofizik yöntemlerin birçoğu kullanılmaktadır. Fark belirgin

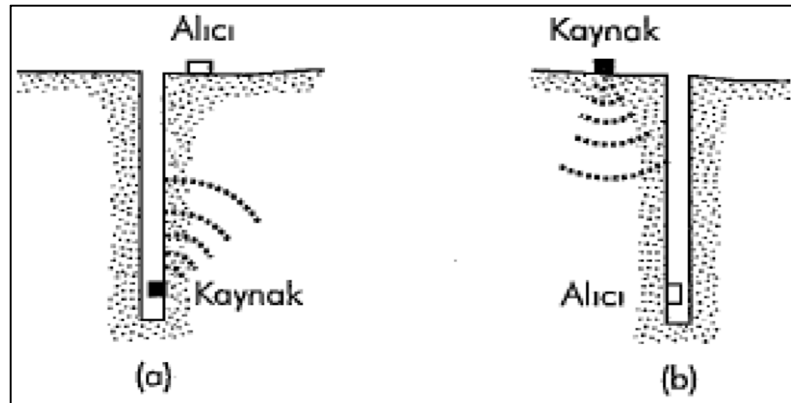
değilse jeofizik yöntemin başarı şansı azalmaktadır. Eğer tabakalar arasındaki fark belirgin değilse jeofizik yöntemin başarı şansı azalmaktadır. Bu jeofizik yöntemler bazen zemin veya kayacın parametrelerini bulmakta kullanılsa da sonuçlar bu parametreler için doğrudan ölçümlerle karşılaştırılmalıdır.

3.3.2. Arazi Yöntemleri

Bu yöntemde değişik aralıklarla yerleştirilmiş alıcılara (R1, R2, R3) zemin yüzünde uygulanan bir titreşim kaynağından yayılan dalgalar tarafından algılanmaktadır. Dalga hızları birbirinden farklı olduğu için P, S ve R dalgaları alıcılara değişik zamanlarda varmakta ve her dalga için varış zamanı ile titreşim kaynağından uzaklık arasında ilişkiler elde edilebilmektedir. Zeminlerin daha derinlerdeki dalga yayılma hızlarını belirlemek için aşağıdaki arazi ölçüm yöntemleri uygulanmaktadır.

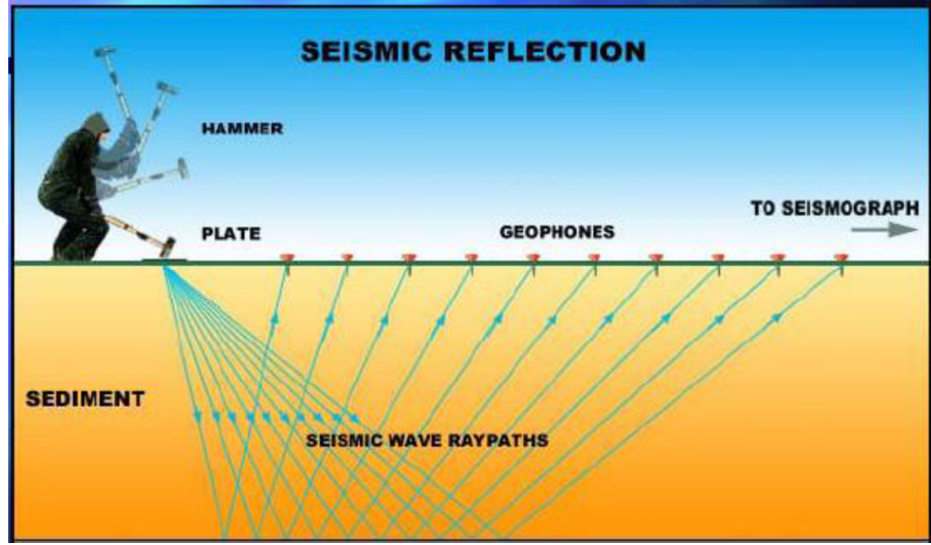
- a) Sismik Kuyu Yöntemi
- b) Yansıma Yöntemi
- c) Sismik Koni Yöntemi
- d) Karşıt Kuyu Yöntemi sayılabilir.

Sismik Kuyu Yöntemi: Dalga yayılma hızları zeminlerde en güvenilir biçimde sismik kuyu yöntemleri ile ölçülebilmektedir. Şekil 3.3'de gösterilen açılan bir sondaj kuyusu kullanılarak zemin yüzünden itibaren aşağı doğru değişik tabakalardaki P ve S dalgaları yayılma hızları saptanabilmektedir.



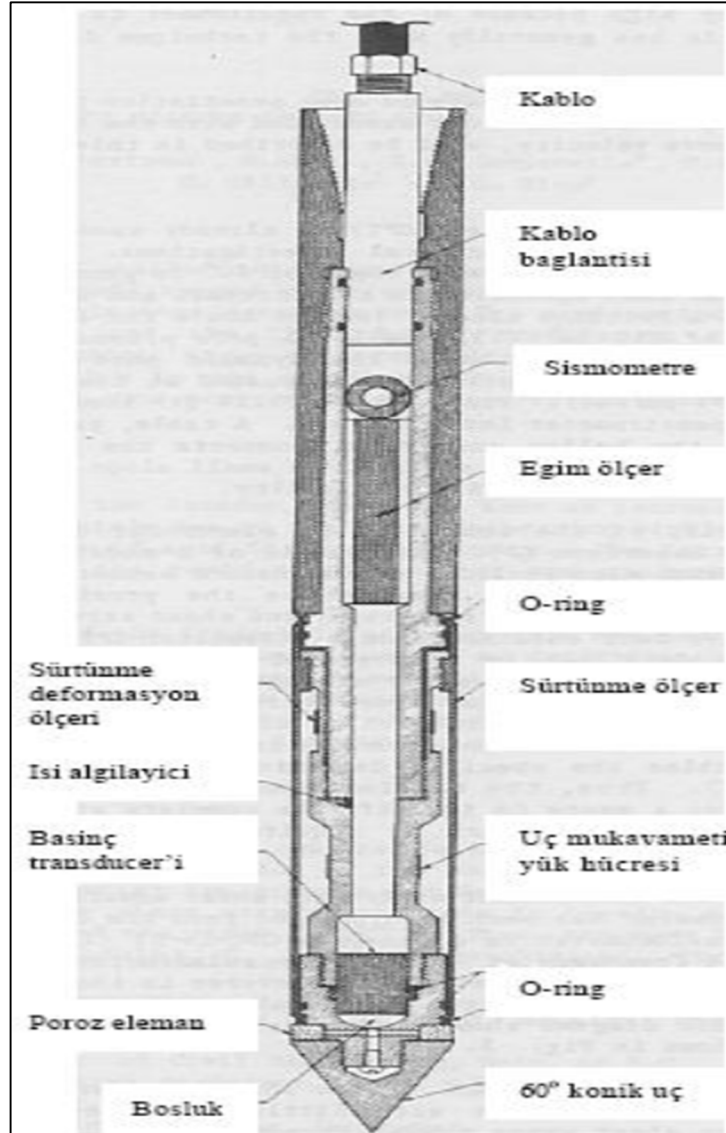
Şekil 3.3. Tek kuyu ile derinlik boyunca dalga yayılma hızlarının değişik tabakalar için ölçülmesi(Özener,2015).

Yansıma Yöntemi: Zemin katmanlarının dalga iletme hızı ve kalınlıklarının yer yüzeyinden ölçülmesine sismik yansıma deneyleri izin verir. Herhangi bir kaynaktan üretilen P dalgasının bir alıcı tarafından varış zamanının kaydedilmesi şeklinde yapılır. Şekil 3.4 'de sismik yansıma deneyi gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Sismik yansıma yöntemi(Özener,2015).

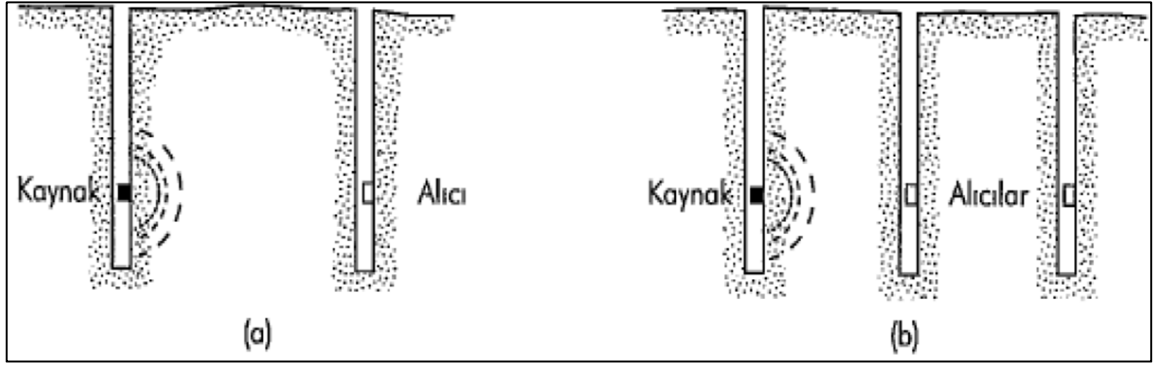
Sismik Koni Yöntemi: Sismik kuyu içi metodların CPT deneyi ile birlikte gerçekleştirilmesi, temel zeminlerinin stratigrafik, mukavemet ve dinamik özelliklerinin belirlenmesinde çok hızlı, güvenilir ve ekonomik bir araç teşkil edilmiştir. Sürtünme kolonunun hemen yukarısına yerleştirilmiş bir sismik koni penetrometre, bir jeofon veya akselerometre yerleştirilmiş bir geleneksel konik penetrometreden oluşur. Şekil 3.5'de sismik koni ucu gösterilmiştir. Ölçü alınırken konik penetrometre ile değişik aşamalarda durulur ve zemin yüzeyinde uygulanan dinamik enerji ile üretilen dalgaların konik penetrometredeki jeofon ile algılanması sağlanmaktadır.



Şekil 3.5. Sismik koni ucu (Özener,2015).

Dinamik enerji genelde konik uca bağlı tijlerle sıkıca yaslandırılmış bir kirişin uçlarına balyoz ile çarpmak suretiyle uygulanmaktadır. Çarpmanın yapıldığı noktanın hemen yakınına yerleştirilmiş bir alıcı ile vuruş zamanı kaydedilmektedir.

Karşıt Kuyu Yöntemi: Karşıt kuyu yönteminde en az iki sondaj kuyusu açılmaktadır. Birinci kuyu içinde uygulanan titreşimlerden yayılan kütle dalgalarını diğer kuyu içinde kaydedilmektedir. Dalga yayılma hızları dalga varış zamanı ve kuyu aralığından hesaplanmaktadır. Karşıt kuyu yönteminin en önemli elemanları, sondaj kuyuları, sismik kaynak, sismik alıcılar ile kayıt yapan ve zamanı ölçen aygıtlar olmaktadır. Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Karşıt kuyu yöntemi ile dalga yayılma hızlarının ölçülmesi(Özener,2015).

3.4. Zeminlerin Gerilme-Şekil Değişirme Özellikleri

Zeminler genellikle elasto-plastik davranış gösteren anizotrop malzemelerdir. Zeminlerin farklı şekil değiştirme seviyelerinde farklı gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterdiği bilinmektedir. Farklı şekil değiştirme seviyelerinde zeminler farklı gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterdiği anlaşılmaktadır. Gerilme-şekil değiştirme karakteristiği; dinamik kayma modülü ve sönüm oranı parametrelerinin birim deformasyon düzeyi ile değişimi üzerinden incelenmektedir. Çevrim sayısı arttıkça deformasyon kontrollü deneylerde(deformasyon düzeyi sabit) kayma gerilmesi genlikleri azalmaktadır ve histeris ilmiğinin küçülmesine ve yatıklaşmasına neden olmaktadır. Dinamik kayma modülü ve sönüm oranı değerleri her bir çevrim sonunda (histerez ilmiği üzerinden) bulunur. Zeminlerin dinamik davranışının şekil değiştirme aralığına göre farklılık gösterdiği ve dinamik davranış özelliklerinin belirlenmesinde ve analizinde olası şekil değiştirme seviyesinin belirleyici bir rol oynadığı bilinmektedir.

4. KAZIK, ZEMİN ÇİVİSİ VE ANKRAJLARLA İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

4.1. Kazıklar İle İlgili Genel Bilgiler

Kazıkların ana görevleri, yapının temelinden zeminine aktarılan yükleri yumuşak ve gevşek zemin tabakalarının altında yer alan taşıma gücü yüksek, sıkışabilirliği az sağlam zemin tabakalarına yükleri aktarmaktır. Düşey yüklere maruz kalan bir kazığın taşıma gücü, kısmen kazığın ucunda oluşan noktasal direncin, kısmen kazık shaftı ile temas halinde olan zemin yüzeyi ile kazık yüzeyi arasında gelişen aderans ile yüzeysel sürtünme direncinin toplamına eşittir.

Kazıklar üstten gelen yapıların yüklerini genellikle aksel basınçla taşımakla birlikte rıhtım, şev, iksa yapıları ve açık deniz platformları mühendislik uygulamalarında ortaya çıkan deprem, dalga, darbe kaldırma, yanıl torak etkisi ve çekme türü kuvvetlerin karşılanması gibi görevleri de gerektiğinde üstlenebilmektedir (Odbay,1995).

4.1.1. Kazıkların Kullanım Amaçları

Kazıklar aşağıda belirtilen başlıca belli amaçlara hizmet etmek üzere inşa edilmektedir.

Derinlerde bulunan ve taşıma karakteristikleri yüksek olan sağlam zemin tabakalara güvenilir biçimde üst yapı yüklerinin aktarılabilmesi. Bu kazıklar uç kazıkları olarak nitelendirilirler.

Üstten gelen yapı yüklerinin yumuşak ve gevşek kalın zemin tabakalarına sürtünme yardımıyla güvenilir bir şekilde aktarılmasına sürtünme kazığı denir.

Gevşek ve granüler zeminlerin taşıma kapasitesini artırmak amacıyla kompaksiyon ile zeminlere kazık çakılmasına kompaksiyon kazıkları denir.

Eğilme momentine ve hidrostatik basıncına maruz yapıların stabilitesini artırmak ve bu nedenle doğabilecek yapı hasarının önüne geçmek amacıyla kazıkların uygun eğimlerde zemine çakılmasına çekme kazıkları denir.

Sahile yanaşan gemiler ve benzeri yüzen cisimlerin darbelerini söndürmek amacıyla yapılan kazıklara tampon kazıkları denir.

Zeminlere aktarılan çekme yüklerini karşılamak amacıyla yapılan kazıklara ankraj kazıkları denilmektedir.

Yatay, eğik ve benzeri kuvvetlerin zemine güvenli bir şekilde aktarılması için eğik kazıkları inşa edilir.

Deniz yapıları ve yer altı suyu altında kalan radye temellerin maruz kaldığı kaldırma kuvvetlerinin etkisini karşılamak amacıyla “uzun kazıklar” inşa edilirler.

4.1.2. Kazık Tipi Seçimini Etkileyen Faktörler

Kazık tipinde seçimi etkileyen faktörler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır (Özkan ve Sağlamer, 1995).

1. Ekonomik olması,
2. Kazıkların boylarının eşit veya değişken olması, kazıkların boyları, boyların değişken olması durumunda uygulanabilirlik,
3. Mevcut olan zemin koşullarında, her kazık tipin emniyetle taşıyabileceği yük,
4. Kazıkların, zeminde imalinde kolaylık, imalat hızı veya hazırlanma ve çakılma hızı.
5. Kazık başlıklarının kolay kesilmesi veya uygun olarak emniyetle alınabilmesi,
6. Gerektiğinde kazık sayısını arttırabilme kolaylığı,
7. Eski yapıya ilave kazık yapılması durumunda, önceden yapılmış kazıkların tipi,
8. Eğik kazık gerektiğinde, kazığın belirli bir açı ile uygulanabilme kolaylığı,
9. Uygulanacak kazık tipi için yüklenici ve işverenin tecrübeleri

4.1.3. Kazıkların Kullanıldığı Yerler

Kazıklı temellerin oluşması zorunlu ise bu kazıkların uygulamada kullandığı başlıca yerler maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır(Das, 1990).

Yüze yakın tabakalarını oluşturan zemin strüktörünün üst katmanları, üst yapı yüklerinin zemine aktarılmasında elverişli koşullara sahip değilse yani taşıma gücü düşük, sıkışabilmesi fazla ise; yüklerin taşıyıcılık özelliği yüksek olan ve zemin profilinde zemin yüzeyinden daha derinlerde yer alan daha sağlam zemin ya da kayalıklara aktarılması zorunluluğu ortaya çıkaran koşullarda kullanılırlar.

Taşıma gücü düşük, zeminlerde kazıklar aracıyla yapı yüklerinin sağlam zemine aktarılması uygun çözümlerdendir.

Erozyon hareketleri sonucunda köprü ve köprüyol ayaklarında temel altının oyulmasına engel olmak için adı geçen elemanlar kazıklı olarak tasarlanıp düzenlenebilir.

Deprem ya da erozyon hareketler neticesinde köprüyol ve köprü ayaklarında oyulmalara engel olmak için kazıklar tasarlanabilir.

Kuleler, açık deniz petrol platformları, rıhtım paydaları gibi deniz yapıları ayrıca hava meydanlarında yapılan rıhtım kuleleri, iksa duvarları, şev stabilitesi gibi bazı mühendislik uygulamalarında deprem ve suyun kaldırma kuvvetleri ile yanal toprak basınçlarının karşılanması gibi alanlarda kazıklar kullanırlar.

Yumuşak dokulu gevşek ve hassas zeminler yani nehir ve göl ve çevrelerinde zeminlerin iyileştirilmesi ve sağlamlaştırılmasında kazıklar kullanılabilirler.

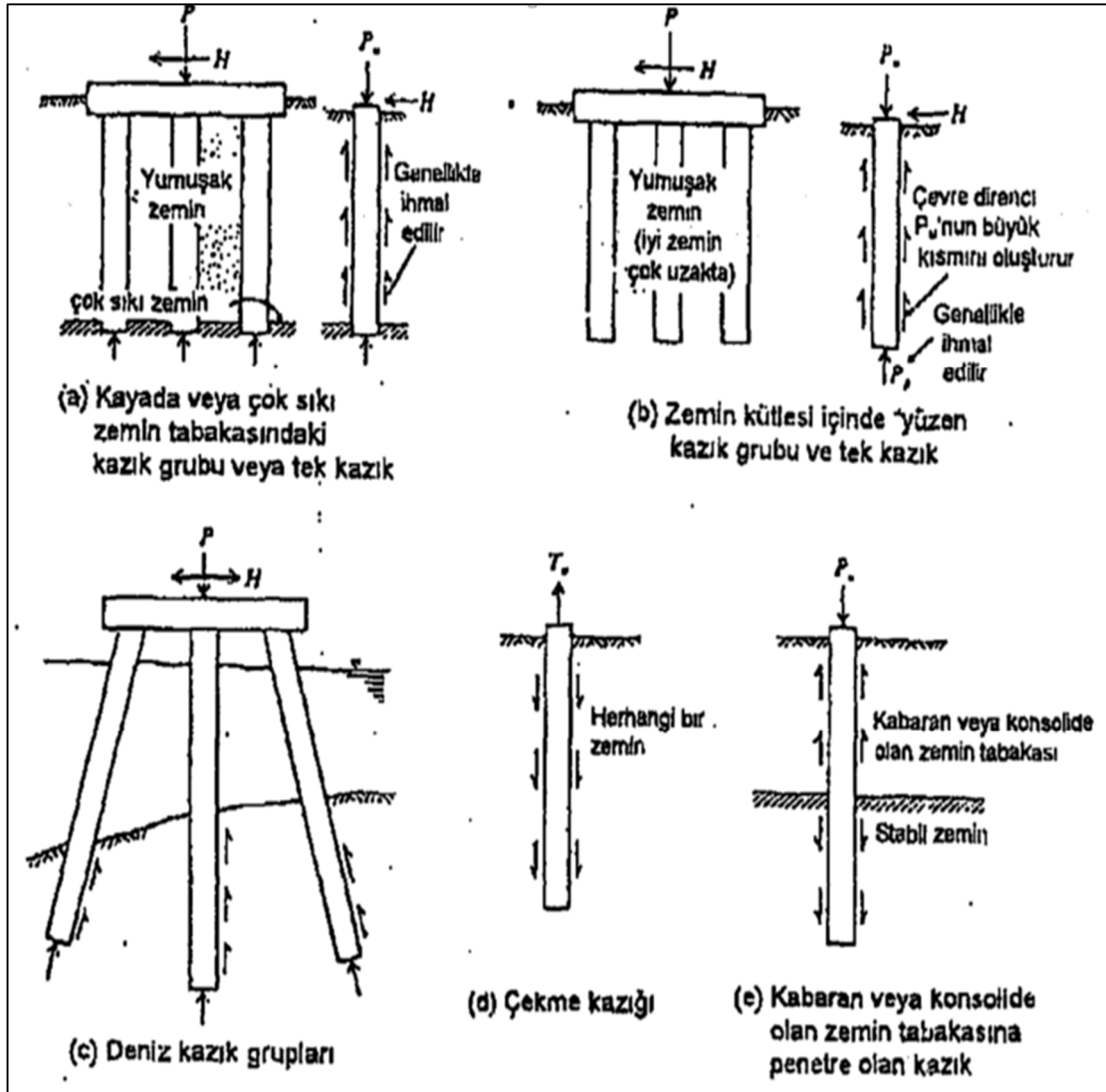
Sıvılaşma olan zeminlerde zeminin taşıma gücünü artırmak amacıyla kazıklardan yarar sağlanmaktadır(Odbay,1995).

Dayanma yapıları veya yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgâr ve deprem yükü gibi yanal etkilerin karşılanması amacı ile düzenlenebilirler.

Yüksek yapı temellerinde zemin, rüzgâr ve deprem yükü gibi veya dayanma yapıları yanal etkilerin karşılanması amacı ile düzenlenebilirler.

Bazı durumlarda zeminde oluşan ötelenmeleri engellemek amacıyla da kullanılabilirler.

Zeminlerin taşıma gücünün artması için kullanılabilirler. Şekil 4.1 'da belirtilen tipik kazık konfigrasyonu gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kazık tipik konfigrasyonu(Koyunlu,1996).

4.1.4. Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar çalışma şekline göre ve imal edilmiş şekline göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmalar alt başlıklar halinde açıklanmıştır.

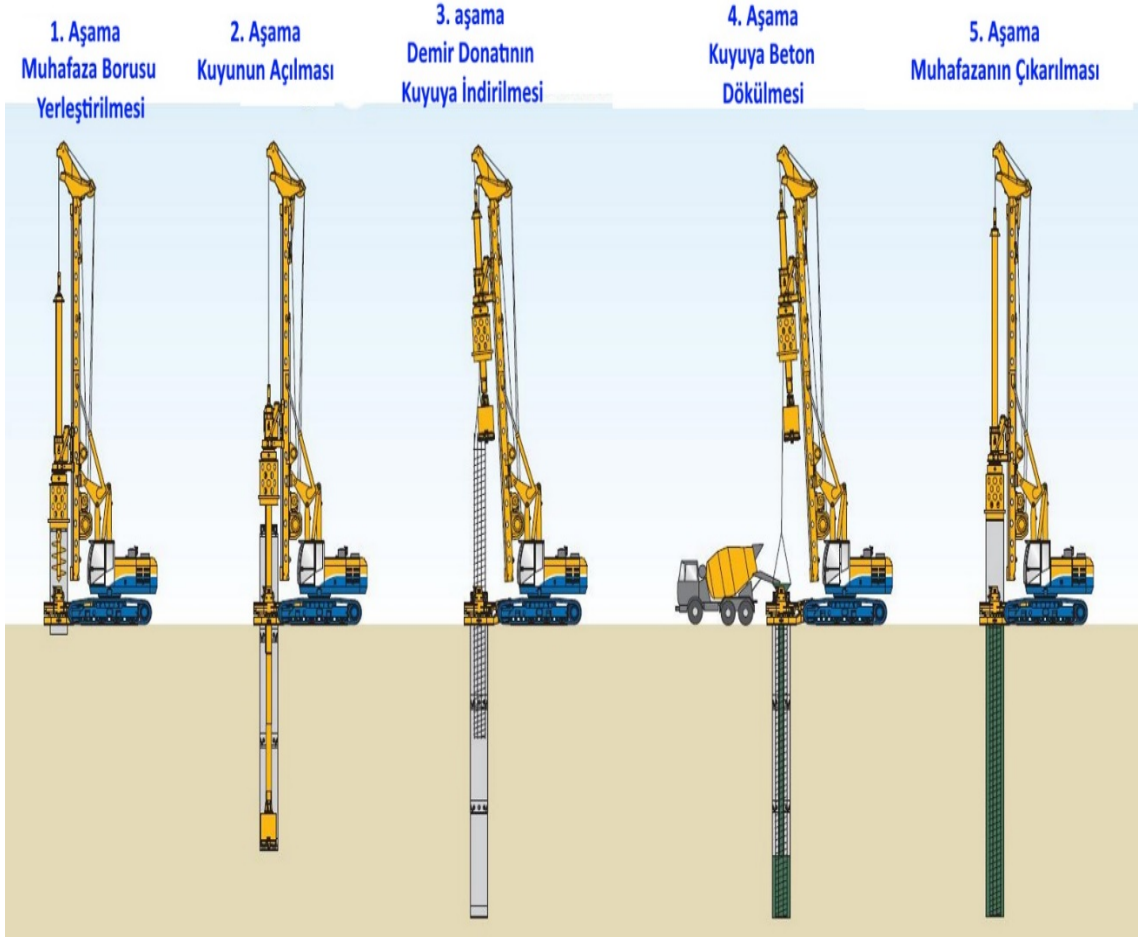
4.1.4.1. İmal Ediliş Şekline Göre Kazıklar

Kazıklar, imal edilmiş durumuna göre çakma kazıklar ve fore kazıklar olmak üzere iki ana sınıfta incelenmektedirler.

4.1.4.1.1. Fore Kazıklar

Kazığın hacmi kadar zeminin boşaltılması ile zeminde oluşturulan deliğin içine beton doldurulması ile imal edilen kazık fore kazık olarak tanımlanmaktadır. Fore

kazığı olarak adlandırdığımız delme kazığı zemini yana doğru sıkıştırılmaz ve ötelemez (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Fore kazık imalat safhası (Url,1).

İksa sistemleri ve derin temel kazıkları çevrede bulunan yolların ve yapıların zarar görmemesi için imal edilen kazı duvarlarının destekleme yöntemlerinden birisidir. Fore kazıklar, kazı derinliğine zemin şartlarına ve sürsaj(çevresel) yüklerine bağlı olarak seçilir. Yüksek güvenlik gerektiren durumlarda kuşak kirişi ve ankraj grubundan oluşan iksa sistemleri tercih sebebidir (Tschebotarioff,1951).

Fore kazığın olumlu veya olumsuz yönleri aşağıda verilmektedir.

Olumlu yönleri;

a) Zemin kazıldıktan sonra zeminin betonlanması ile oluşturulan kazık olduğundan, zeminde kabarma olmaz.

b) Farklı zemin koşullarına göre kazık boyutları ayarlanabilir.

c) Kazıkların yapımı sırasında çevrede oluşan önemli titreşim ve sarsıntı yaratmazlar. Bu özellik, şehir içinde çevre yapıların bu tür etkilere karşı hassas olduğu durumlarda büyük avantajlardandır.

d) Yumuşak kayaç ve killi zeminde son bulan kazık uçları özel aygıtlarla genişletilerek taşıma gücü arttırılabilir.

e) Zeminin taşıma gücüne göre boyları ayarlanabilir.

f) Küçük imalat sahalarında kullanımları daha yaygındır.

Olumsuz yönleri;

a) Beklenmeyen zemin koşulları ile karşılaşılması halinde proje süresinde önemli gecikmeler olabilir. Bu nedenle, fore kazıkların yapılacağı alanda detaylı bir zemin incelemesi yapılmış olmalıdır.

b) Yer altı suyunun varlığı halinde beton kalitesi etkilenebilmektedir. Özellikle kazık tabanı zemininde su akışı nedeni ile gevşeme ve kabarma olasılığı vardır.

c) Foraj sırasında granüler zeminlerde gevşeme görülebilir (Yıldırım, 2009).

d) Fore kazığının yapımından sonra betonun yerinde kontrolü yapılamaz.

e) Çapı küçük olan kazıkların su altında dökülmesi zordur.

f) Su altında dökülen beton döküm ve priz zorlukları ciddi boyutlardır.

4.1.4.1.2. Çakma Kazıklar

Çakma kazıkları, önceden fabrikada hazırlanırlar ve zemine üzerlerine ağırlık düşürülerek çakılırlar. Bu kazıklar oldukça büyük yükleri yumuşak zemin tabakaları altındaki sağlam zemin tabakalarına iletmek için kullanılmaktadır. Kesit alanı kare dairesel, ya da sekizgen olabilir. Uç kısmı Şekil 4.3'deki gibi kesik koni şeklinde imal edilebilir. Kazık boyunun zemine göre değişmediği, tam olarak belirlenebildiği projelerde daha çok tercih edilir. Çakma kazıklar, taşınma sırasında kesit özelliklerinin ve donatı miktarının belirlenmesinde, maruz kalacağı gerilmeler önemli rol oynar (Toğrol,2009).

Bu kazık türünün olumlu ve olumsuz yönleri aşağıda verilmektedir.

Olumlu yönleri;

a) Kazık yapım işini yeraltı suyunun varlığı etkilememektedir.

b) Kazıkta kullanılan malzemenin kalitesi önceden belirlenebilmektedir.

c) Çakma kazıkları uzun boylarda çakılabilmektedirler.

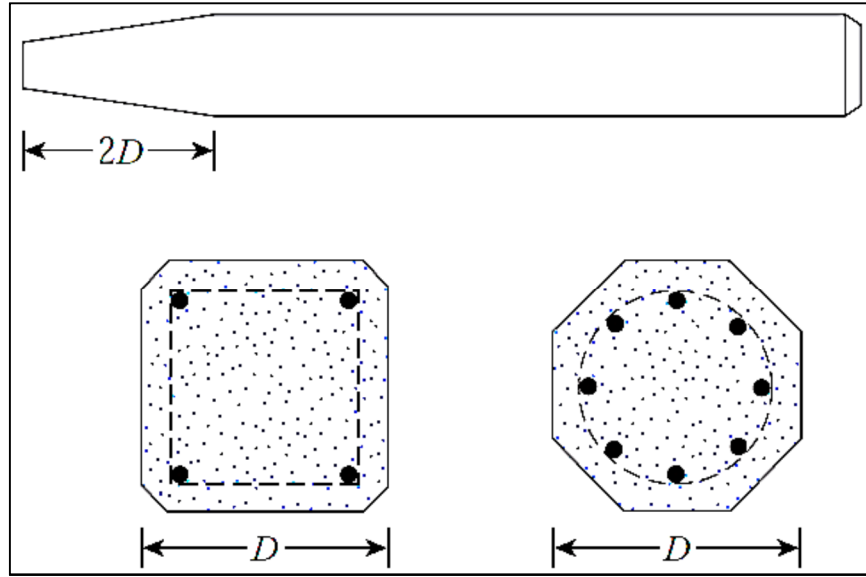
d) Su derinliğinin geçilmesi deniz yapılarında daha kolay olmaktadır.

Olumsuz yönleri;

a) Çakma kazıkların boyları kolayca değiştirilememektedir.

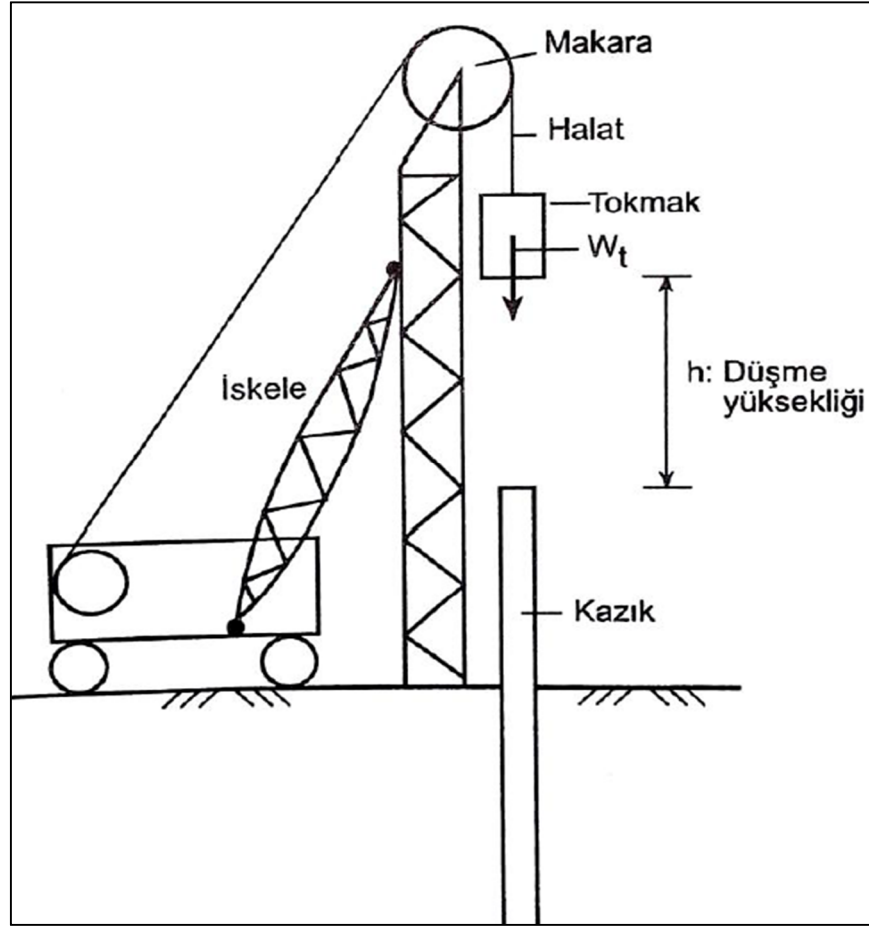
b) Çakma kazıkları, büyük çaplarda, çakma zorlukları yaşanmaktadır.

c) Çakma işlemi sırasında, çevrede kabarma ve zor çakma koşullarında kazıkta hasar olasılığı görülmektedir(Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Çakma Kazıklar (,2011).

Çakma kazıkların çakılmasında, kazığı çakılma işlemine hazır hale getiren vinç ve kazığı çakan tokmaktan oluşan düzenekler kullanılır. En basiti, tokmağın belli bir yükseklikten kendi ağırlığı ile serbest düşüş yapması prensibine dayanan serbest düşmeli şahmerdanlardır. Yapılan büyük projelerde süre sorunu sebebiyle daha hızlı çalışmak amacıyla buharlı şahmerdanlar ve dizel şahmerdanlar kullanılabilir (Toğrol,2009). Çakma kazıkların imalat şekli Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.



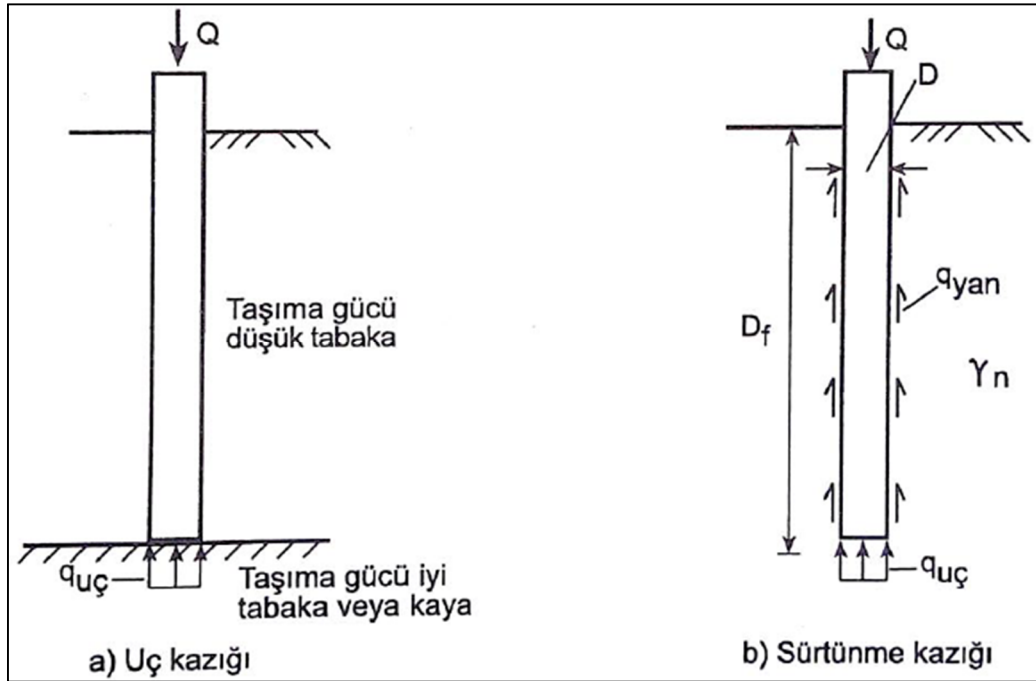
4.4. Çakma Kazık İmalat Şekli (Toğrol, 2009).

4.1.4.2. Çalışma şekline göre kazıklar

Çalışma şekline göre kazıklar sürtünme kazığı ve uç kazığı olmak üzere iki ana sınıfta incelenirler.

Uç kazığı, yapının oturacağı gevşek zemini ve yumuşak dayanımlı zemini geçerek yapıda oluşan yükü doğrudan sert ve sıkı zemine aktarır. Yani kazığa gelen yükler kazık ucu vasıtasıyla zemine iletilir. Uç kazıkları sert zemine ve sıkı zemine içine soketlendiği gibi yüzeysel olarak da temas edecek şekilde de imal edilebilir.

Sürtünme kazıkları, üst yapıdan gelen yükleri kazığın yanal yüzeyi sürtünmesi ile taşıtılmasına denir. Bazı durumlarda güvenli tarafta kalmak amacıyla zayıf zeminde, sürtünme direncine oranla oldukça düşük kaldığı için sürtünme kazıklarının bu uç direnci ihmal edilebilir. Uç kazığı ve sürtünme kazığı Şekil 4.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Çalışma şekline göre (Uzuner,2006).

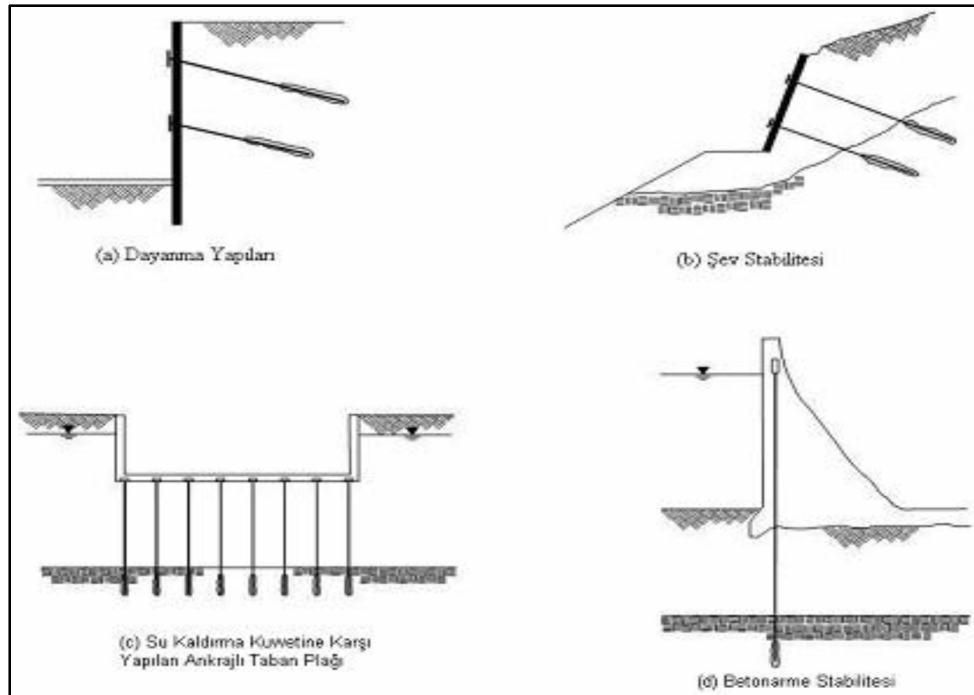
4.2. Ankrajlar ile İlgili Genel Bilgiler

Ankrajlar yüksek yapıların dönmeye karşı güvenceye alınmasında, şev duvarlarının desteklenmesinde, derin kazıların güvenle açılmasında ve inşaat sırasında güvenli olarak durması için düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde ve yeraltı yapılarının duraylılığının artırılmasında, yapıların kaymaya karşı güvenliğinin artırılmasında, zeminin ön konsolidasyonunun sağlanmasında ve yapıların sismik duraylılığının artırılmasında yaygın olarak kullanılan destek elemanlarıdır. Başka bir deyişle ankrajlar, üzerine uygulanan gerilme (çekme) kuvvetini taşıyıcı zemine ileten yapısal elemanlardır. Ankrajlar pasif veya öngermeli olabilirler. Kendi başına hiçbir yük taşımazlar pasif ankrajlar. Öngermeli ankrajın, pasif ankrajdan daha dayanıklı olduğu zamanla anlaşılmıştır.

4.2.1. Ankrajların kullanıldığı yerler

- Düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde,
- Dönmeye karşı yapıların güvenceye alınmasında,
- Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı güvenliğinin sağlanmasında,
- Yeraltı yapılarının duraylılıklarının artırılmasında,
- Zeminin ön konsolidasyonunun sağlanmasında,

- f) Yapıların sismik duraylılıklarının arttırılmasında,
- g) Deneysel sahası dar olan yerlerde kazık yükleme deneylerinde öngerme sağlayan eleman olarak,
- h) Barajların yükseltilmesinde,
- i) Dalgakıran ve iskelelerde, gemilerin iskele babalarına verdikleri yükün dağıtılmasında kullanılır. Aşağıda Şekil 4.6 'da ankrajın kullanım alanları gösterilmiştir.



Şekil 4.. Ankrajların kullanım alanları (FHWA,1999).

İksa sistemlerinin dengesinin yatay destekler ile sağlanması hasebiyle kullanılan ankrajlar arasında zemin ankrajlarının kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. İnşaat sırasında göçme, derin kazıların güvenle açılması ve kayma vb gibi deformasyonların oluşmaması için yüksek şev duvarlarının desteklenmesinde kullanılan destek sistemleridir.

Derin kazılarda yatay deplasmanların izin verilen sınırlar içinde kalabilmesi için, çok sıra destekli duvarların kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Gelişen teknoloji ile birlikte derin kazıların bulunduğu projelerde çok sıra ankrajlı veya çelik boru kullanılmıştır. İksa duvarlarının kazı aşamalarında çelik borular ya da ankrajlarla

desteklenmiştir. Bu destek sistemlerin mesafeleri az ise eğer burada oluşan eğilme momenti oldukça düşük bir değere ulaşabilir (Georgidas,1999).

Diğer destekleme sistemlerine göre ankrajlar uygun bir şekilde ve uygun bir yerde yapılırsa gerek teknik açıdan gerek ekonomik açıdan daha çok avantajlı hale gelir. Son yıllarda esneklik ve kullanım alanları nedeniyle zemin ankrajları çok fazla tercih sebebi olmuştur. Teoride ankraj davranışlarını açıklamak zor olduğu için ankrajı daha iyi irdelemek adına deneylere ihtiyaç duyulmuştur (Altun,2013).

Ankraj projelerinin hazırlanmasında etkili olan parametreler; yer altı su seviyesi, zemin indeks özellikleri, zemin profili, kayma direncidir. Ayrıca çevredeki yapıların temelleri hakkında yeterli bilgiler edinilmesi gerekmektedir(Tan,2008).

4.2.2.Ankrajların Sınıflandırılması

4.2.2.1. Kullanım Sürelerine Göre Ankrajların Sınıflandırılması

a) Geçici ankrajlar: Derin bir kazıda kazılan yerin deformasyon yapmaması için yani kazı yüzeylerinin desteklenmesi için tasarlanmış olan ve kullanım süreleri 2 yıl olan ankraj tipidir. Servis ömürlerine göre 2'ye ayrılırlar.

1 Nolu geçici ankrajlar: Göçmesi halinde çok ciddi sorunlar yaratmayan ve toplumun güvenliğini etkilemeyen ankraj tipidir. Servis süreleri 6 aydan daha azdır.

2 Nolu geçici ankrajlar: Göçmesi sonucunda oldukça ciddi sorunlar ortaya çıkabilen ankrajlardır. Servis süreleri 2 yıl civarındadır.

b) Kalıcı ankrajlar: Kazı destekleme sistemlerinin ve sürekli yapıların, servis ömrü boyunca güvenliğinin ve duraylılığının sağlanması amacıyla yapılan ankraj tipidir.

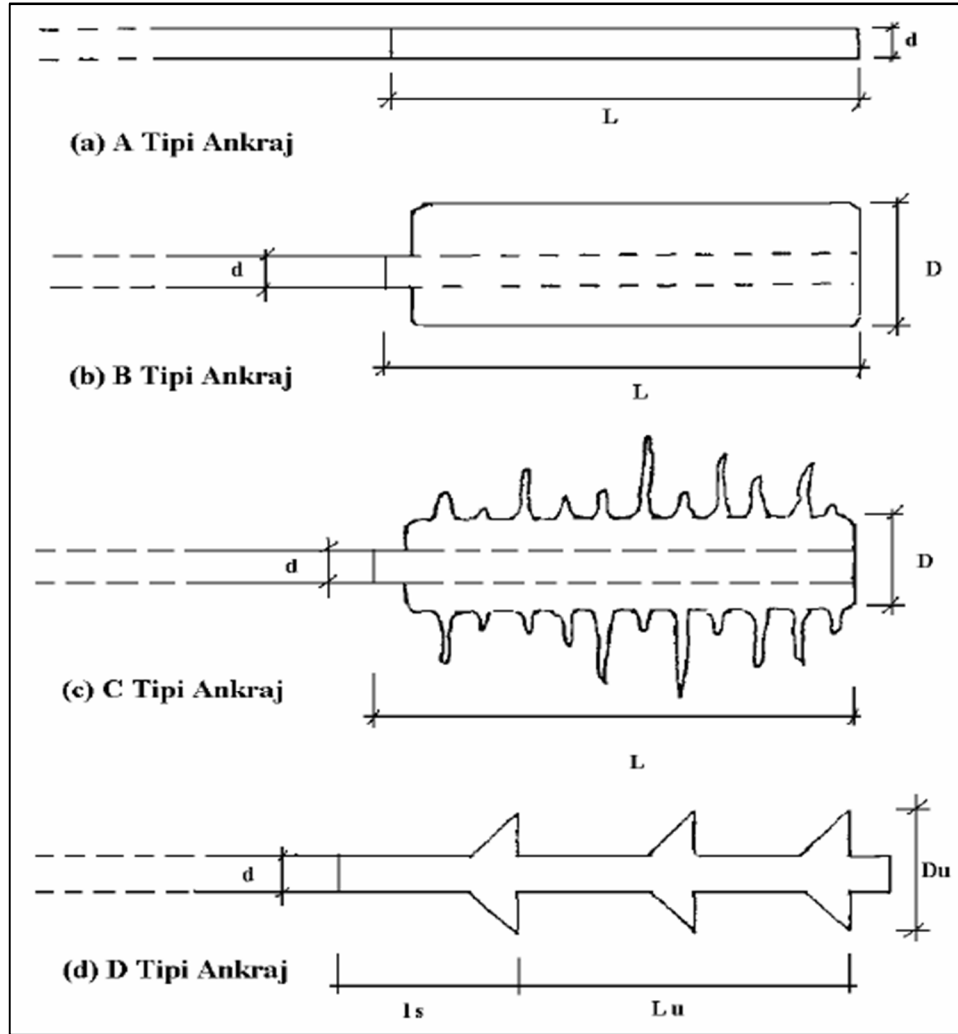
3 Nolu sürekli ankrajlar: Göçme durumunda çok ciddi sorunlar yaratan ve korozyon riskinin yüksek olduğu ankrajlardır.

4.2.2.2. Üretim Teknikleri Gözönüne Alınarak Ankrajların Sınıflandırılması

Zeminin geometrisi ankrajın taşıma gücünü etkiler. Bir ankrajın tasarımı yapılırken ankrajın kök kısmına ait çevresinin zemine ilettiği gerilmeler, enjeksiyon, delme yöntemi ve ankraja uygulanan üretim tekniğinden etkilenmektedir. Ankrajlara ait bütün bu kriterler göz önüne alınarak ankrajları 4 ana grupta toplamak mümkündür(Şekil 4.7).

A Tipi Ankrajlar: Katı ve sert kohezyonlu zeminlerde ya da kayalarda genellikle kullanılırlar. Dayanım, deliğin duraylılığına bağlıdır, doğrusal ya da doğrusal

olmayan düz shaftlı ankrajlardır. Taşıma gücü, ankrajın ara yüzeyi üzerinde oluşan kayma gerilmelerine bağlıdır (Hanna, 1983).



Şekil 4.6. Temel ankraj tipleri.

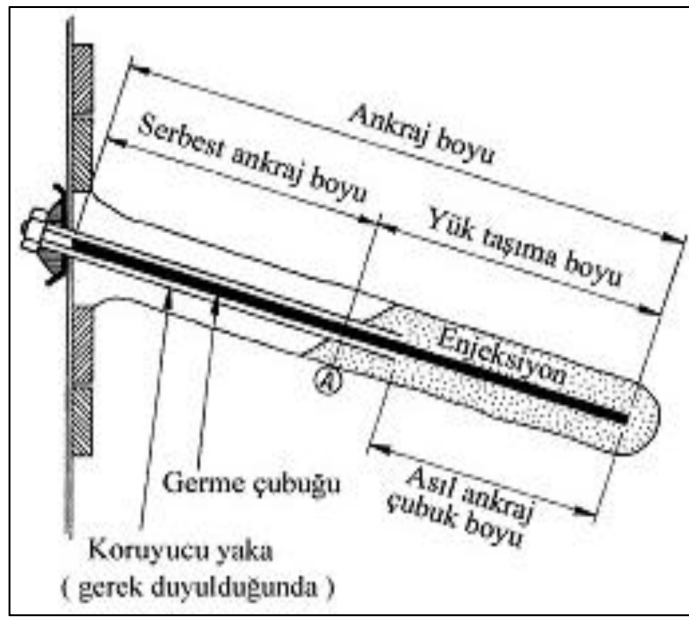
B Tipi Ankrajlar: Ankraj kök çapının zemin içinde minimum basınç yaratarak genişletilmesi sonrası çimento harcının, $<1000 \text{ kN/m}^2$ değerlerindeki basınç altında boşluklara ve çatlaklara girmesi sağlanarak oluşturulan ankraj tipidir.

C Tipi Ankrajlar: Çimento harcının 2000 kN/m^2 'den daha yüksek bir basınç altında zemin boşluklarına sızdırılması ile ankraj kökü genişletilir. Kohezyonlu zeminlerde de başarılı bir şekilde kullanıldığı gibi kohezyonsuz zeminlerde de kullanılır. Taşıma gücü uniform bir kayma dayanımının ankraj kökü boyunca varolduğu ilkesine göre hesaplanmaktadır.

D Tipi Ankrajlar: Katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılan bu ankrajlarda, kayma dayanımı ve uç dayanımı sıyrılmaya karşı direnci oluşturur. Duvar desteklemesinde bazı şekillerinde D tipi ankrajların kullanılması çok yaygın bir uygulama olmamakla birlikte kohezyonsuz zeminlerde de kullanılabilirler.

4.2.3. Ankraj Elemanları

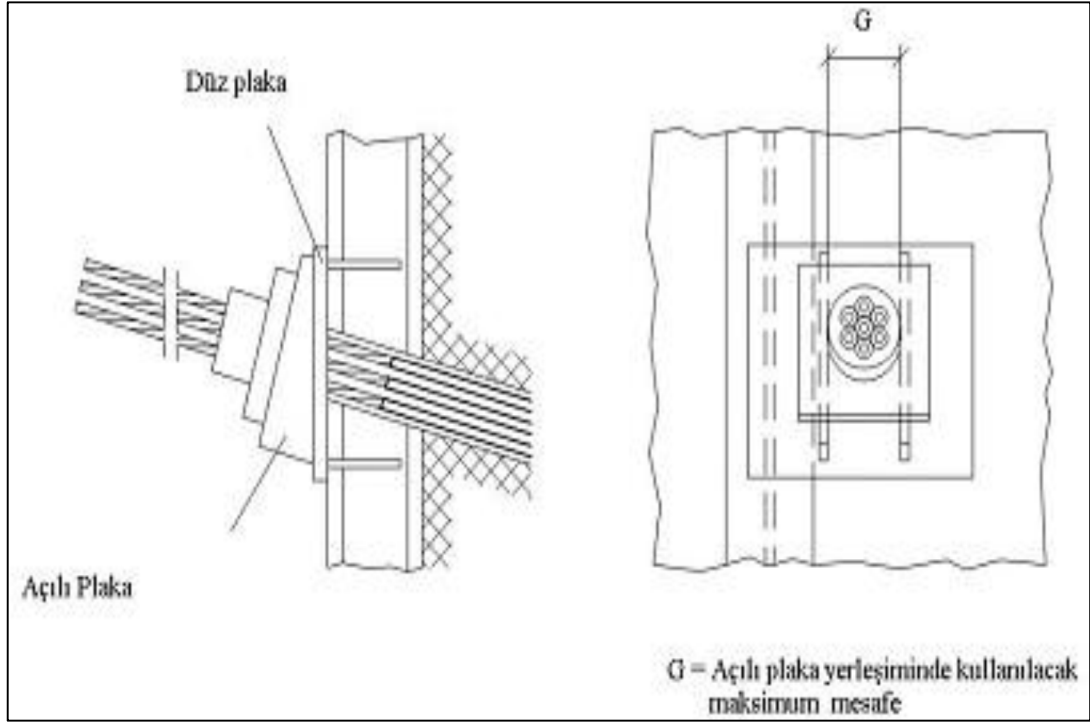
Zemin ankrajları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar serbest ankraj boyu, ankraj kafası ve ankraj köküdür (Şekil 4.8).



Şekil 4.7. Geçici ankraj modeli.

4.2.3.1. Ankraj Kafası

Ankraj kafasında bulunan başlık plakası, ile beraber çalışan bu kısım öngermenin uygulandığı ve servis yüküne gelen ankrajın kilitlenmesinin yapıldığı bölgedir. Ankraj kafası öngörme kuvvetinin yüzeye yayılmasını sağlamaktadır. Tendonu oluşturan halatların tip ve adetlerine göre boyutlandırılır ankraj kafası (Şekil 4.9).



Şekil 4.8. Ankraj kafası detayı (Başeski,2008).

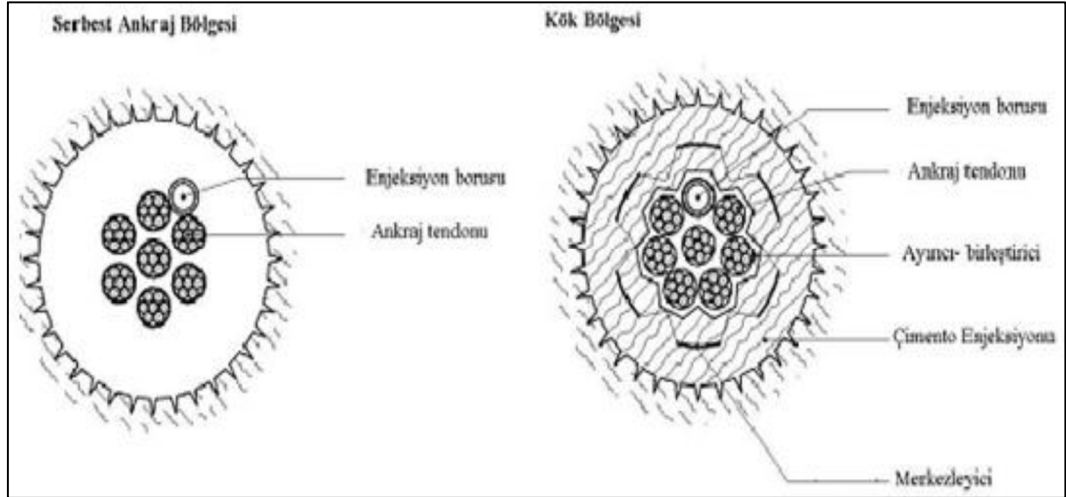
4.2.3.2. Serbest Ankraj Boyu

Ankraj kafası ile ankraj gövdesinin başlangıcı arasındaki mesafedir. Yani öngerme kuvvetini kök bölgesine ileten ve artan gerilmeyle beraber elastik uzama gösteren bölgedir. Serbest ankraj kısmının yapısı ankrajın niçin kullanılacağına bağlıdır. Bunlar aşağıda maddeler halinde listelenmiştir (BS-8081, 1989).

- Ankrajın ömrünün kalıcı veya geçici olmasına
- Mekanik örselenme veya korozyona karşı koruma düzeneğine
- Her an çekme kuvvetini ölçme olasılığına
- Ankrajın kademeli olarak gerilme gerekliliğine
- Zeminin enine hareketlerinin karşılanma olasılığı gibi faktörlere bağlıdır.

4.2.3.3. Ankraj Kökü

Enjeksiyon yapılarak oluşturulan ankraj kökü, enjeksiyon-zemin aderansı ile öngerme kuvvetinin sağlam zemine aktarılmasını sağlayan kısmına ankraj kökü denilmektedir. Yüksek basınç altında çimento harcının ankraj deliğine basılarak doldurulması ile kök bölgesi oluşturulmaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Ankraj kök bölgesi detayı (Başeski,2008).

4.2.4. Zeminde ankraj imalatı

Zemin ankrajları şu şekilde sıralanabilir; ankraj deliğinin açılması, ankraj demetinin yerleştirilmesi, akıtma yapılması ve öngerme kuvveti uygulanması ile imal edilmektedir. Zemin koşullarına göre iksa yüzeyinde, anolar halinde kazı tekniği uygulanmaktadır ve makinenin delgi yapabilmesi için projede belirtilen boyda, çapta ve eğimde delik açılması gerekmektedir. Kök bölgesinde delme işlemi özellikle hızla yapılmaktadır. Burada zeminin örşelenmesi en aza indirilir ve geçilen zemin formasyonlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Delgi işleminden sonra sahada hazırlanan ankraj demeti, kuyu içerisine kirlenmesine izin verilmeden yerleştirilir. Basıncılı akıtma dışarı taşırılarak ankraj kök bölgesi temiz ve yeterli mukavemette oluşturulacaktır. Öngerme uygulanır ankraja.

4.2.5. Tendonların Yerleştirilmesi

Ankrajların yapılmasında ikinci işlem olarak tendonun açılan deliğe yerleştirilmesidir. Deliğe yerleştirilen ankraj tendonu tel, çubuk veya halat olmaktadır. Yerleştirme esnasında ankrajın verimli çalışması için tendonun delik merkezinde yer almasına dikkat edilmelidir. Çok halatlı sistemlerde halatların birbirine dolaşması önlenmelidir. Tendonun delik merkezinde yer almasına dikkat edilmesi gerekmektedir çünkü ankrajın verimli bir şekilde çalışması için. Ankrajın germe esnasında halatlara farklı yükler gelerek kopmamaları için ve ankraj kafasının dönmesine ve halatların

birbirlerine her metrede telle bağlanır ve betonun içinde kalan kısımları tek bir hortumun içinden geçirilir.

4.2.6. Enjeksiyon yapılması

Ankraj tendonu deliğe yerleştirildikten sonra akıtma işlemine geçilir. Bu akıtma işlemi ile ankraj kökü oluşturulmaktadır. Enjeksiyon ankraj kökleri için yeterli derecede bir tutunma dayanımı sağlamalıdır. Deliğe yerleştirilen ankraj tendonundan sonra akıtma işlemine geçilmektedir. Bu akıtma işleminden sonra ankraj kökü meydana gelmektedir. Belirli oranlarda hazırlanan çimento su karışımı şerbeti yüksek basınç altında ankrajın kök kısmına püskürtülmektedir. Bu işlem bir akıtma makinesi yardımı ile ankraj tendonu ile birlikte deliğe yerleştirilen hortumlar vasıtasıyla yapılmaktadır.

Enjeksiyon basıncı çimento şerbeti zemin boşluklarından kaçmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Çimento şerbeti enjeksiyon sırasında önceden kestirilen miktarı geçtiği takdirde akıtma durdurulmalıdır. 24 saat sonra delik yeniden açılmalıdır. Enjeksiyon tekrarlanarak ankraj kökü oluşturulmalıdır. Kök kısmında oluşturulan beton kütleinin çapı enjeksiyon basıncı ile ayarlanmaktadır (Berilgen,1996).

4.2.7. Ankrajların enjeksiyonu

Enjeksiyon malzemelerine göre 2 türe ayrılır.

Çimentolu enjeksiyonlar; Standart portlant çimentosunun yanında katkılı çimentolarda kullanılır. Klor limiti %1'i geçmemelidir. Sülfat miktarı %4'ü geçmemelidir.

Reçineli enjeksiyonlar; Epoksi ve polyester reçineler kaplamalarda kaya bulonları için ya da ankraj kökünün korunması için kullanılmaktadırlar. Uygulamadan ve testlerden edinilen tecrübelerden yararlanılarak epoksiler ve polyesterler reçinelerin istenen özellikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmektedir.

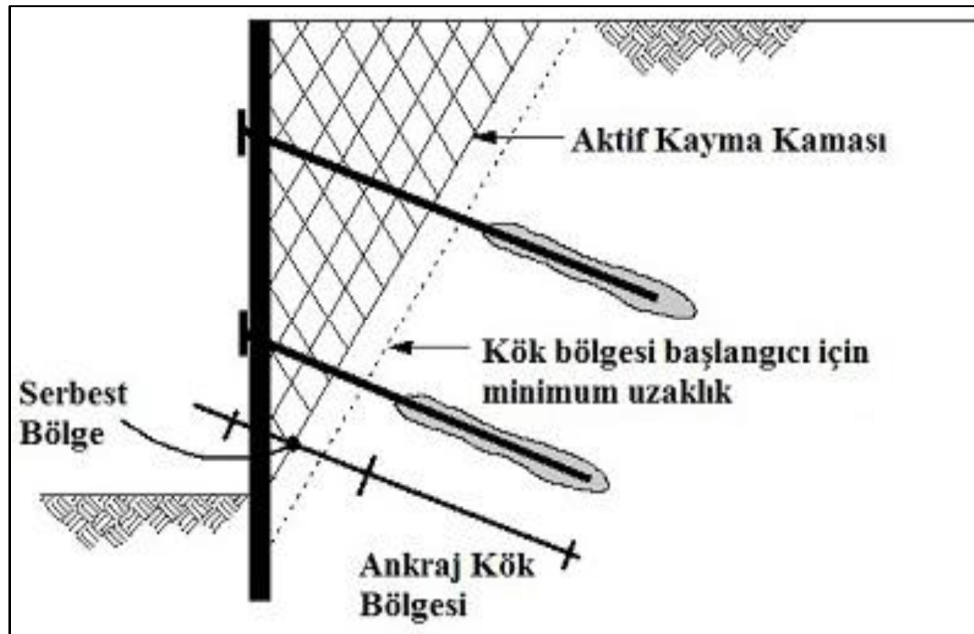
4.2.8. Ankraj aralığının belirlenmesi

Önce iksa sistemi analiz edilir ve ankraj kuvvetleri belirlenir. Her ankraja ait güvenli taşıma gücü bulunur. Sonrasında ankrajın kaldırabileceği maksimum kuvvet hesaplanır. Ankraja ait yatay ve düşey aralıklar ankraj kök çapının 4-5 katı veya en az 1.5m aralıklı olarak yerleştirilmelidir. Sahada yapılan çalışma uygun imalat ve uygun enjeksiyonun yapılması için ankraj yatay doğrultusu 15 derece açıyla yapılması

gerekmektedir. Ankrajlar yapı temellerini olumsuz etkilemeyecek ve yer altı yapılarını olumsuz etkilemeyecek durumda olması için eğimin dikkatlice verilmesi gerekir. Ankraj kuvvetinin düşey bileşeni daha büyük açılarda değerlendirilmelidir.

4.2.9. Ankraj serbest boyu ve kök boyunun belirlenmesi

Ankrajların serbest boyu hesaplanırken; kökün duraylılık analizlerine göre bulunacak aktif kayma kaması dışında kalması sağlanması gerekmektedir. Kök Rankine aktif yüzeyinden $1/5 H$ (min 1.5m) kadar uzakta ve ona paralel bir yüzeyin dışında kalmalıdır. Duvarın yüzünden başlayarak köke kadar eğik serbest boyu en az 4.5m olması gerekmektedir(Şekil 4.11).



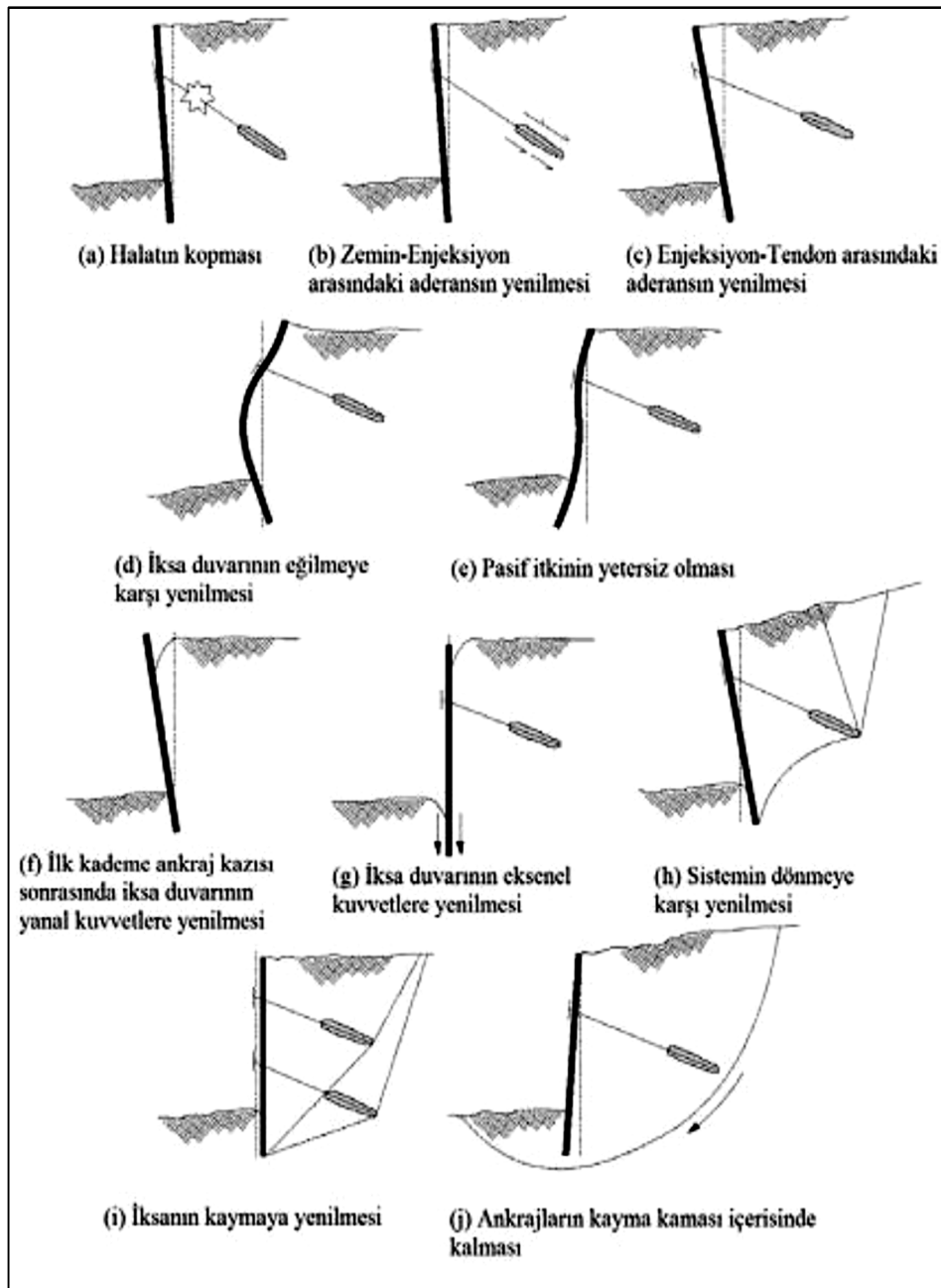
Şekil 4.10. Öngermeli ankraj tasarımı.

Kaya zeminlerde ankraj kök uzunluğu 3-10m arasında olabilir. Kök boyunca kayanın niteliğinde ani bir düşüş, ciddi miktarlarda yük taşıma gücünü düşürebilir. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde ankrajların kök boyları 3-10m arası olabilir. Ankraj kökleri arasında etkileşimi sınırlamak için ankraj köklerinin merkezden merkeze olan uzaklıkları, D ankraj kökünün en büyük çapı olmak üzere $4D$ 'den az olmaması gerekmektedir. Uygulama yapılırken min aralık 1.5m ile 2m arasında değişmektedir. Bir ankrajın komşu temel ile kök kısmı ya da yer altı yapısı arasındaki uzaklık 3m den

az olması gerekmektedir. Üstünde yüzeysel temel bulunması durumunda ankraj kök kısmının derinliği 5m ya da daha fazla olması gerekmektedir.

4.2.10. Ankrajlarda stabilite tahkikleri

Ankrajların kullanım sürelerinin bilinmesi gerekiyor çünkü ona göre taşıma gücü hesabı yapılacaktır. Güvenli bir ankraj taşıma gücünü belirlerken aşağıdaki bazı durumlar dikkate alınması gerekmektedir(Şekil 4.12).



Şekil 4.11. Ankrajlı iksa sistemlerinin yenilme durumları (FHWA-IF-99-015, 1999) .

4.2.11. Ankraj Taşıma Gücü Tahmini

Ankrajlar yüksek mukavemetli özel çeliklerden yapılmış ve korozyona karşı korumalı halatlardan oluşmaktadır. Daha önce de açıkladığımız gibi üzerine uygulanan gerilme kuvvetini sağlam zemine ileten yapı elemanlarına ankraj denilmektedir.

Taşıma gücünün hesaplanması için zemin ankrajlarının, enjeksiyon ara yüzeyinin durumunun tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Ankraj taşıma gücünü etkileyen başlıca faktörler şu şekilde sıralanabilir.

1. Zeminin ankraj çevresindeki geoteknik özellikleri
2. Ankraj üzerinde bulunan jeolojik yükler
3. Ankraj kökünün boyutu ve ankraj kökünün şekli
4. Beton akıtma basıncı
5. Ankrajda gerilme-şekil değiştirme bağıntısı
6. Sondaj metodu ve sondaj ekipmanları

7. Ankrajın taşıyabileceği yük birçok parametreye bağlı olduğundan dolayı hesapla bulunan değerler gerçekçi olmayabilir. Daha reel sonuçlar elde edilmesi için ankraj yükleme deneyinin yapılması gerekmektedir.

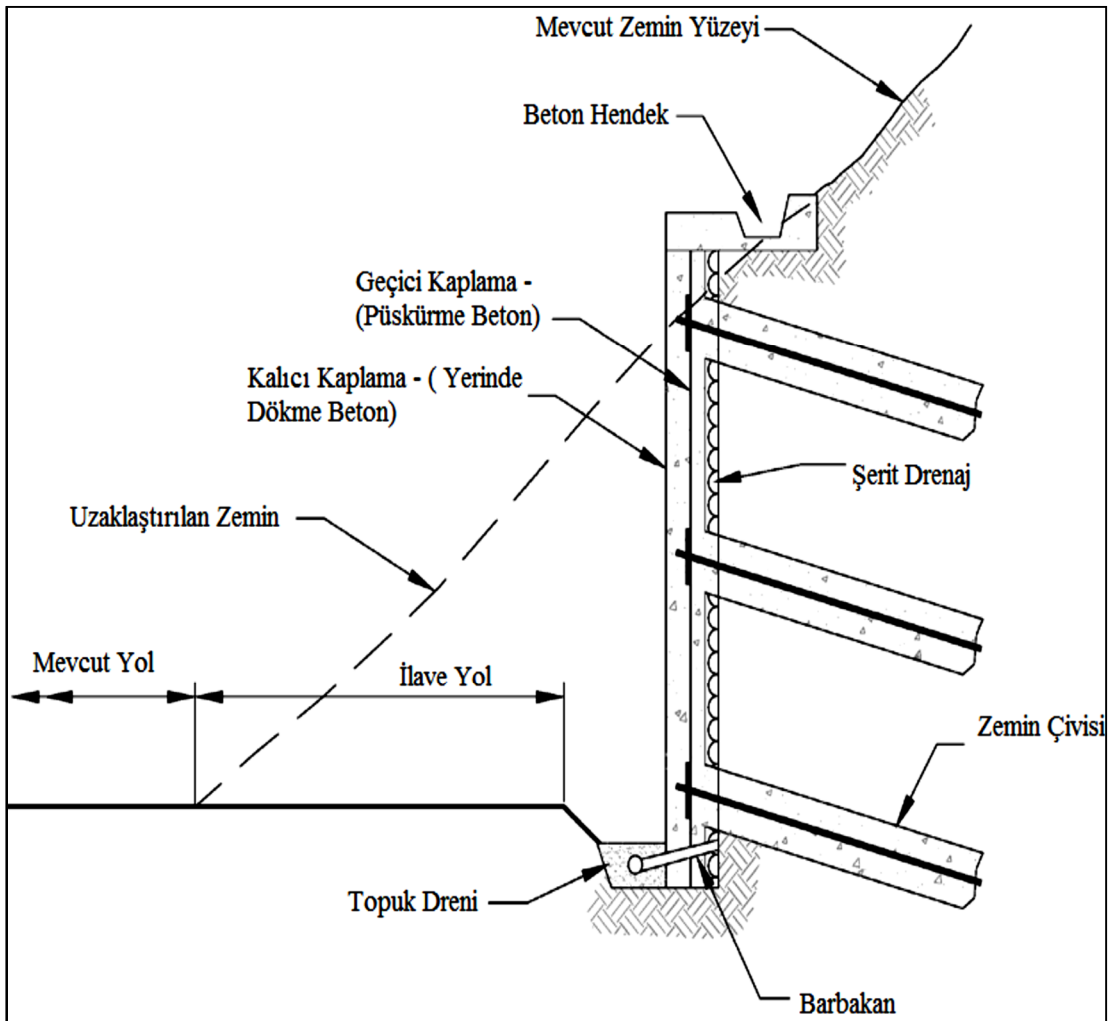
4.3. Zemin Çivisi İle İlgili Genel Bilgiler

Şevlerin sabit kalabilmesi için bodrum katlı yapıların imalatları için veya yol genişletme yapıların imalatları için uygulanabilen sistemlere zemin çivili duvarlar denilmektedir. Zeminin delinerek içine yerleştirilen zemin çivisi enjeksiyonla kaplanır ve çeliklerin pasif olarak çalışması amaçlanır. Zemin çivilerin enjeksiyon ile kaplanmasının temel amacı yükü stabil zemine aktarmak ve hemde korozyonu engellemektir. Zemin hareketliliğinden dolayı, zemin ile çivi arasında etkileşim oluşur, dolayısıyla çivide çekme kuvveti meydana gelir. Zemine monte edilen çivi sayesinde kesme düzlemi üzerinde oluşan normal kuvvet artar bundan dolayı kayma yüzeyi üzerindeki kayma mukavemeti artar ve sürükleyici kuvvetler azalır. Her kazı aşamasında, çiviler zemine monte edilir, enjeksiyonlanır ve ardından püskürtme beton ile yüzey kaplanır. Çiviler zemine yatay olarak veya hafif eğimli bir şekilde monte edilir. Zemin, çivi ve kaplama elemanları arasındaki etkileşimler, zemin çivili duvarların performansında önemli rol oynamaktadır.

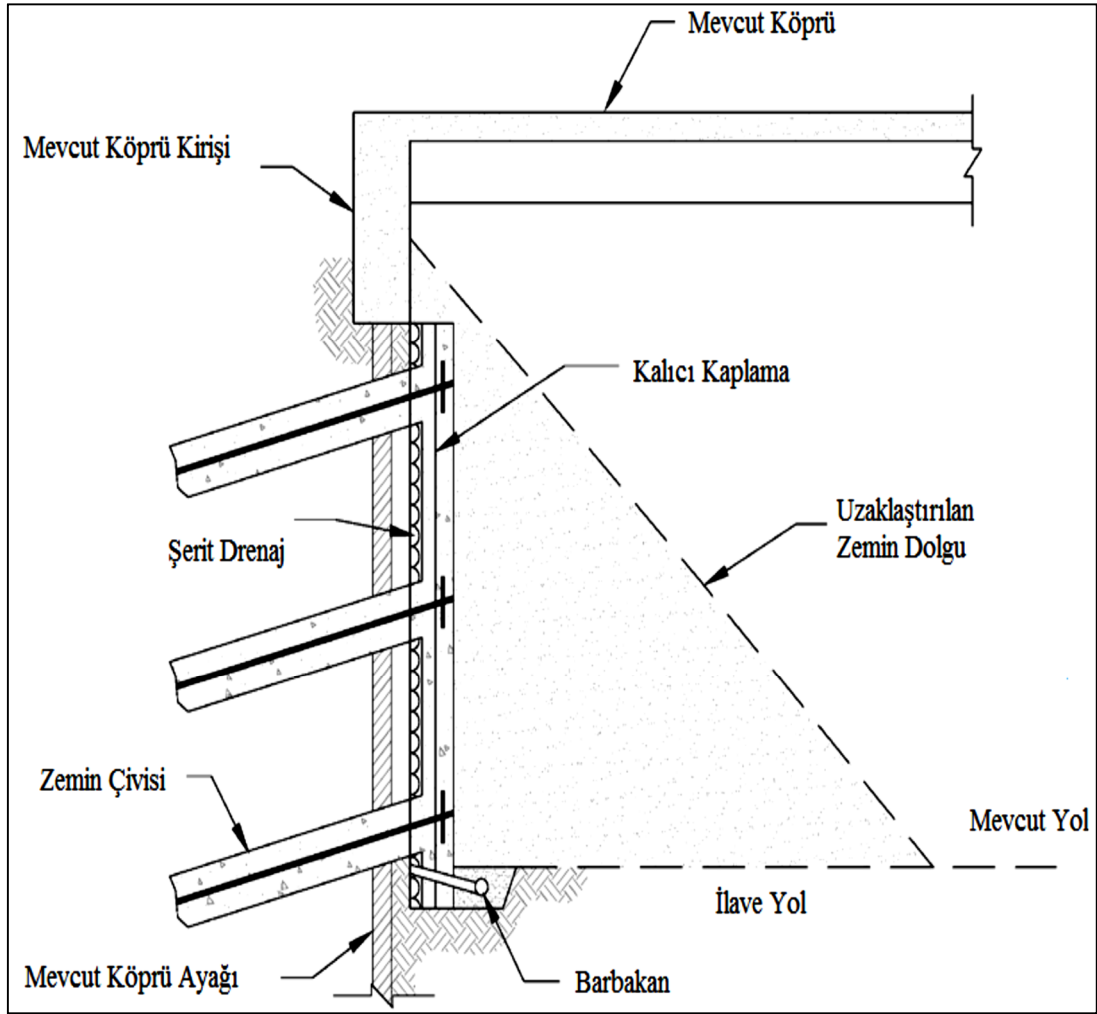
4.3.1. Uygulama alanları

Zemin çivilerin kullanım alanları geniştir. Mevcut köprü altı dolgularının kaldırılmasında, tünel giriş ve çıkışlarında, yol genişletme kazılarında, mevcut istinat duvarlarının tamiri ve güçlendirilmesinde ve diğer iksa sistemleri ile birlikte kullanılabilir.

Yol genişletme çalışmalarında, ilave açılacak yolun üzerinde bulunan zemin kaldırılarak, zemin çivili duvar imalatı yapılabilir. Kullanılan malzemelerin küçük ebatlı olmasından dolayı zemin çivili duvarlar tercih sebebidir. Köprü ayağı altı imalatlarda çivi boyları, eğimleri, konumları dikkatlice planlanmalı, çiviler temel imatları ve köprü kiriş ile çakışmamalıdır. Zemin çivileri ile yapılan yol genişletme çalışmaları Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



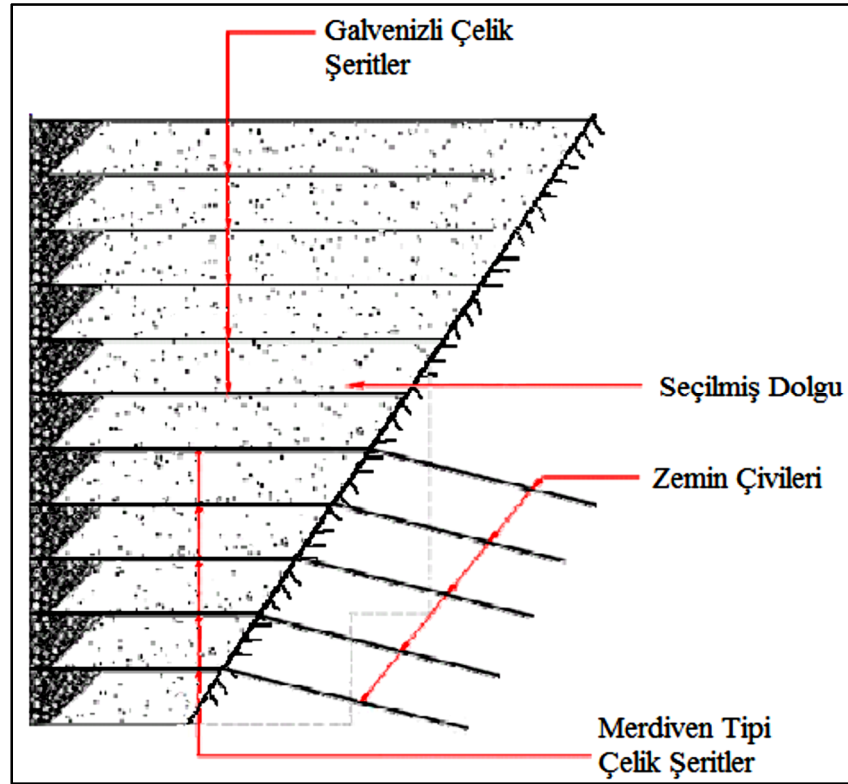
Şekil 4.12. Zemin çivili duvar ile yapılan yol genişletme çalışması (Porterfield ve diğ,1994).



Şekil 4.13. Köprü altı yol genişletme çalışması (Porterfield ve diğ, 1994).

Yıpranmış istinat duvarlarına veya hasarlı istinat yapılarına zemin çivisi ile güçlendirme yapılabilmektedir. Örnek verecek olursak imalat hatası veya tasarım hatalarından dolayı deforme olan mekanik olarak sabitleştirilmiş zemin duvarlarının güçlendirilmesinde zemin çivisi kullanılabilir. Duvarın yüzeyinden delinerek, toprakarmenin arkasında bulunan zemine kadar zemin çivisi monte edilmektedir. Mekanik stabilize olan bu duvarın hareket etmesi ile toprakarme dolgu yükü çivilere, çivilerde yükü toprakarmenin arkasında bulunan zemine iletir. Bu şekilde mekanik stabilize duvarın göçmesi engellenmiş olunur. Bu işlemler doğru delme ve enjeksiyonlama metotları ile yapılmalı, mekanik stabilize duvara zarar vermemelidir. Açılan çivi delikleri çökmemeli ve drenajlar ile çakışmadan arka zemine ulaşabilmelidir. Bazı durumlarda, mekanik stabilize duvarların, delim işlemine başlamadan önce kısmi veya tümüyle çökmesini engellemek için tedbir almak

basamak teşkil edilmesi gerekmektedir. Ayrıca, duvar topuğunun stabilitesi için gereken minimum gömme derinliği, duvarın önünde yer alan şevin açısıyla doğru orantılı olduğu için, dik yamaçlarda ihtiyaç duyulan kazı miktarı artmaktadır. Zemin çivisi ile mekanik stabilize duvar birlikte kullanıldığında, toprakarme projesinde kullanılan şerit boyları, imalat için gereken kazı ve dolgu miktarları önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Donatı şeritlerinin bulunduğu duvar dolgusunu yamaca oturtmak için, tasarlanan duvar yüksekliğinin en az yüzde yetmişi kadar kazı yaparak basamak teşkil etmek gerekmektedir. Ancak zemin çivili duvar ile birlikte kullanıldığında bu oran yüzde otuza kadar düşmektedir (Özsu ve diğ.,2009). Bu tür bir uygulama örneği Şekil 4.16'de görülmektedir.



Şekil 4.15. Dik yamaçlı bölgelerde uygulanan zemin çivili ve mekanik stabilize duvar örneği (Özsu ve diğ., 2009).

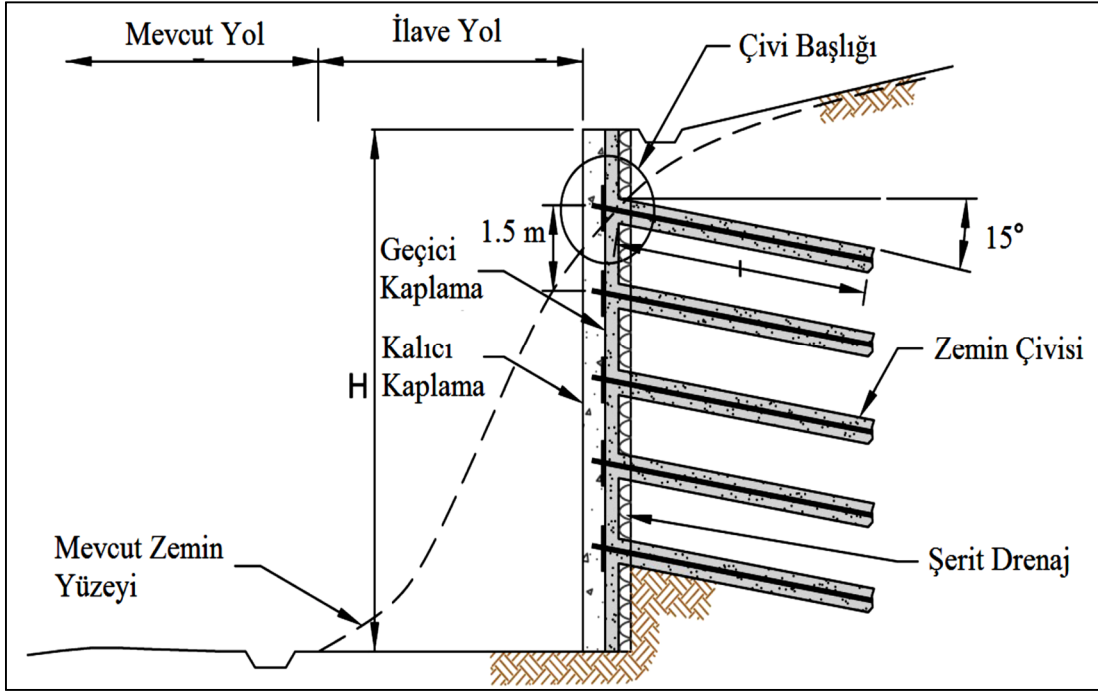
Yüksekliğin fazla olduğu arazilerde zeminin deformasyon yapmaması için zemin çivileri kullanılabilir. Şekil 4.17'de stat inşasında uygulanan zemin çivili iksa sistemi görülmektedir.



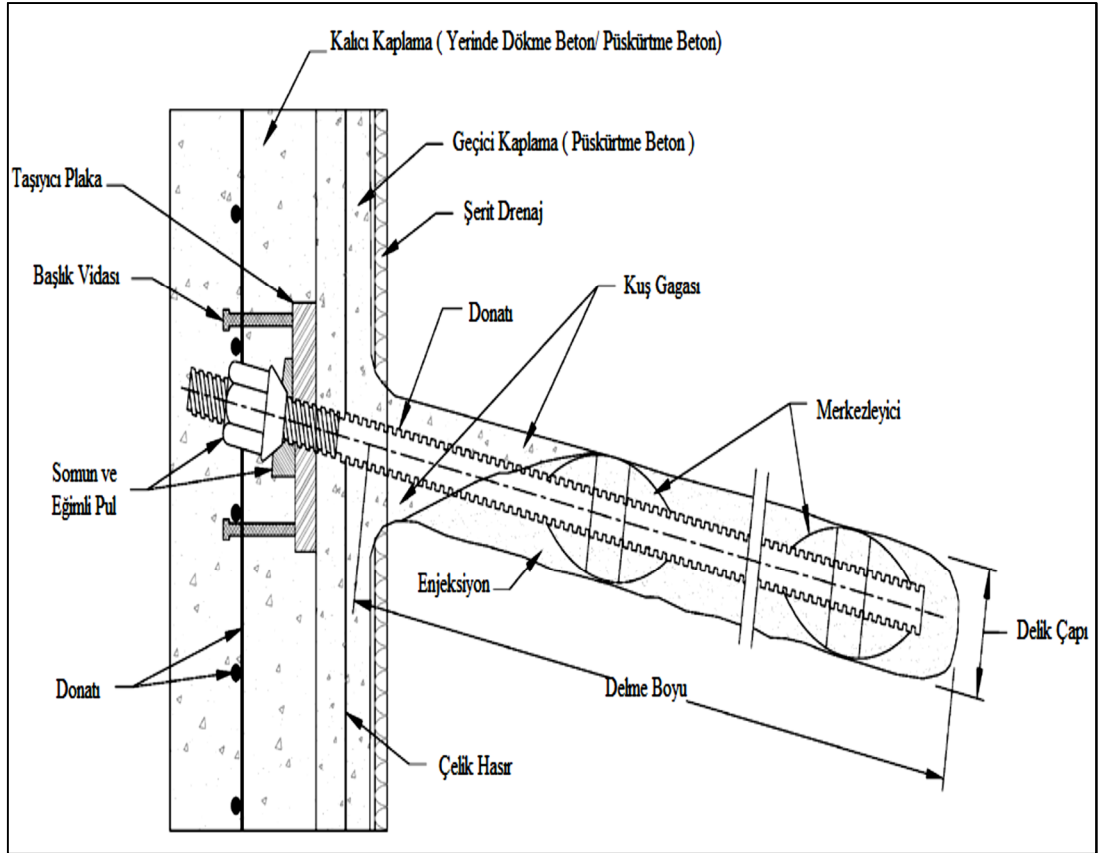
Şekil 4.16. Zemin çivili iksa inşaatı - Dallas Stadyumu, Texas, USA.(Haywardbaker Company).

4.3.2. Kullanılan malzemelerin tanımı

Zemin çivili duvar imalatları için kullanılan malzemeler aşağıda verilmiştir. Şekil 4.18’de zemin çivili duvara ait kesit Şekil 4.19’da kullanılmış olan malzemelerin detayı gösterilmektedir; çelik donatı (çivi), enjeksiyon, çivi başlığı, püskürtme beton, çelik hasır, çelik hasır üzeri ilave donatılar, taşıyıcı plaka, somun, merkezleyici, manşon, drenaj, kafa vidaları.



Şekil 4.17. Zemin çivisi duvarına ait kesit (Porterfield ve diğ, 1994).



Şekil 4.18. Kullanılan malzemelere ait tip detay (Porterfield ve diğ, 1994).

Şekil 4.20 'de kaplama yapılmış zemin çivisi duvar örneği görülmektedir.



Şekil 4.19. Kaplama yapılmış zemin çivisi duvar örneği (Haywardbaker Company).

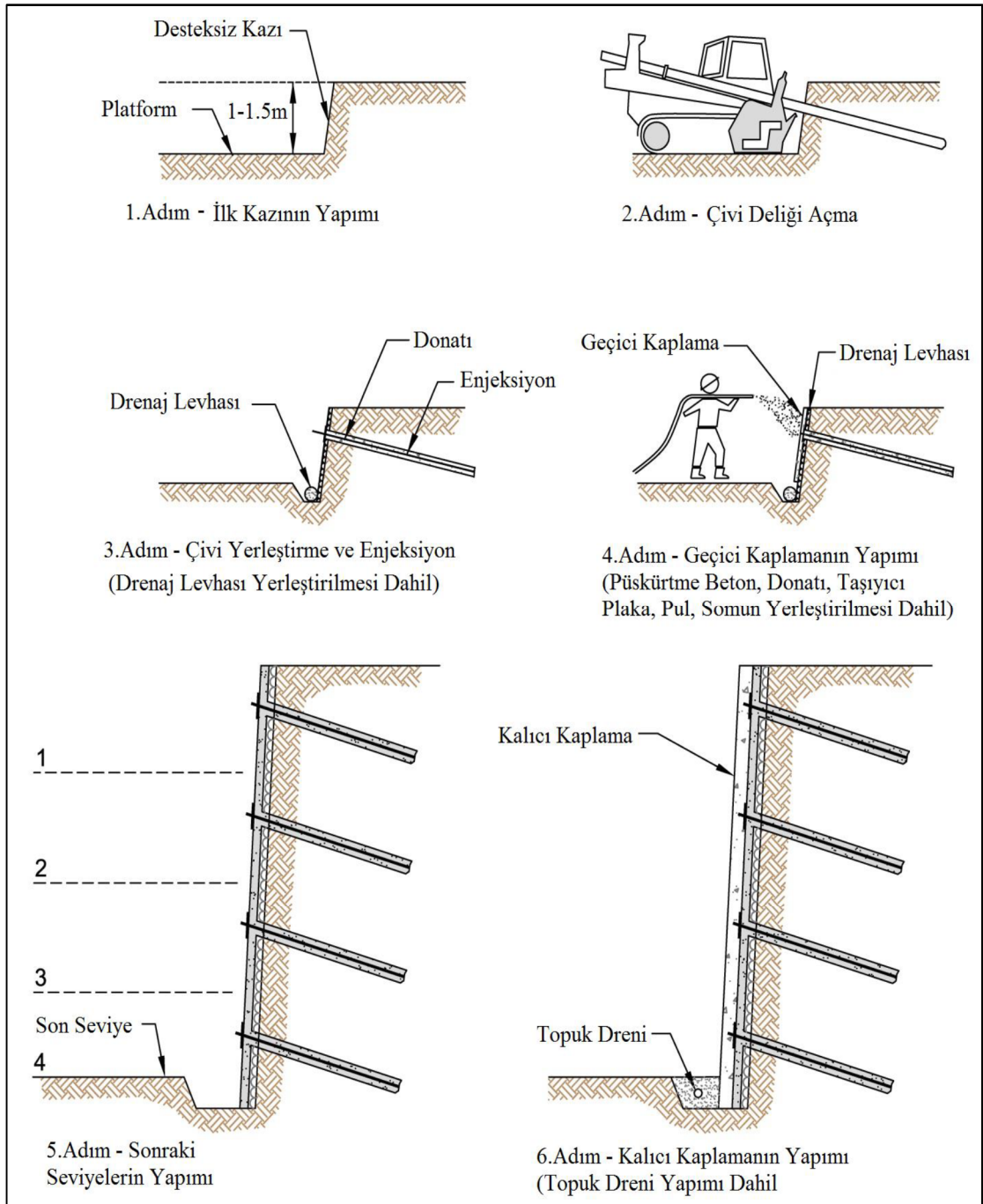
4.3.3. Zemin çivisi yapım aşamaları

Zemin çivisi için delik açılması ve çivinin montajından sonra deliğin enjeksiyonla kaplanması en yaygın uygulama şeklidir. Diğer bir yöntem, çivinin enjeksiyonsuz direk zemine çakılarak yapılmasıdır. Çok hızlı bir yöntemdir ancak enjeksiyon olmadığı için korozyona karşı korumasızdır. Bundan dolayı geçici zemin stabilizasyonlarında kullanılır. İçi boşluklu çelik çivilerle yapılan imalatlar da mevcuttur. Çivi, zemini delerken aynı zamanda enjeksiyonlama işlemini de yapar. Diğer yöntemlere göre daha hızlı imalat yapılır. Öncelikle çivi deliğinin açılıp, ardından çivinin yerleştirilerek enjeksiyonlandığı yöntem ile yapılan zemin çivili duvarın yapım aşamaları Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

Zemin çivili duvar imalatının yapım aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Kazı işlemi
- Zeminde çiviler için delgi yapılması
- Çivinin monte edilmesi ve enjeksiyonlanması

- Drenaj levhalarının yerleştirilmesi
- Geçici yüzeyin oluşturulması
- İstenilen kazı kotuna ulaşılıya kadar bu adımların tekrar edilmesi
- Kalıcı kaplamanın yapılmasıdır.



Şekil 4.20. Zemin çivili duvar imalat aşamaları (Porterfield ve diğ, 1994).

İlk çivinin monte edileceği yükseklik düşünülerek, 1-1,5 metre civarında kazı yapılır.

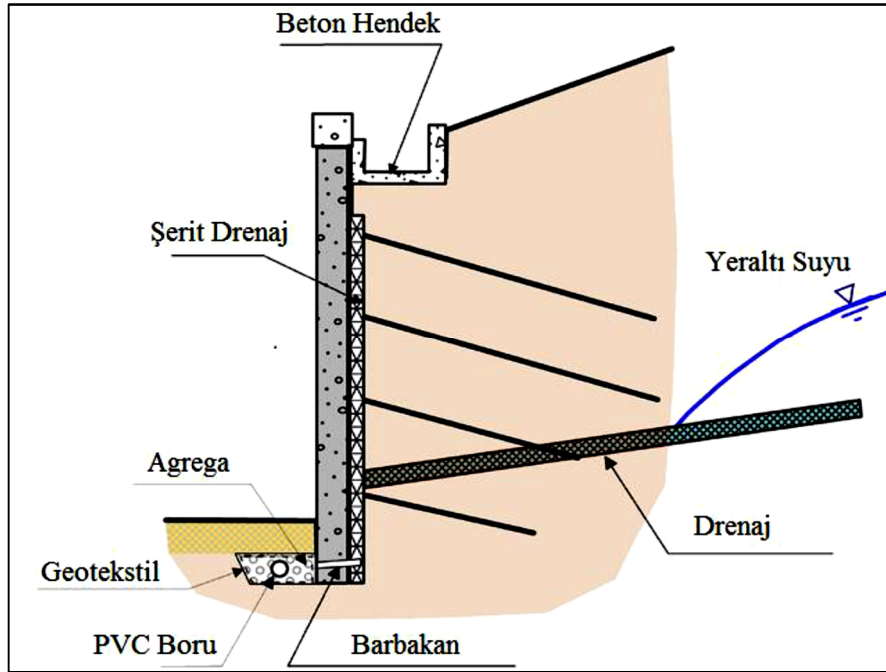
Kazı yapılan yüzeyin mümkün olduğunca pürüzsüz olmasına dikkat edilmelidir. Düzgün kazılmayan yüzeyler, fazla püskürtme beton kullanılmasına sebep olur. Zeminin, kazı süresince, şişme, aşırı deformasyon veya olumsuz bir durumla karşılaşma ihtimalinden dolayı sürekli gözlemlenmesi gerekmektedir. Zeminin aşırı deformasyon göstermesi durumunda, ön kısmına zeminden bir set hazırlanabilir. Kazı yapılan alanda delgi makinasının rahat çalışabileceği platformlar oluşturmak gerekir. İlk sıra kazının tamamlanmasının ardından, zemin içinde çivileri monte etmek için delgi yapılır. Çivi delikleri genellikle 15°'lik açılar ile açılmaktadır. 10°,20°,25°'lik açılarla da açılması mümkündür. Kazı alanı yanında bulunan telekomünikasyon, doğalgaz, elektrik gibi altyapı sistemlerinin bulunması durumunda veya köprü ayağında giriş ve temel sistemleri ile çakışmaması istendiğinde ilk sıralarda, 20°'lik ve 25°'lik açılar ile açılan çivi delimleri olabilir. 10°'den daha küçük açılar, enjeksiyonun, çivi deliği içinde akma sorunu yaşatabilir, çivi içinde boşluklar oluşabilir. Çivi deliklerinin birbirleriyle de çakışmalarına dikkat edilmelidir (Geotechnical Engineering Manual, 2015).

Çivi delimlerine birer adet atlayarak devam edilmelidir. Yeni açılan çivi deliğinde çökme yaşanmaması için, açılan deliğin yaklaşık 1.5 m etrafında en az 24 saat geçmeden yeni bir delim işlemi yapılmamalıdır. Delim işleminden sonra açılan delikte göçme veya dökülen malzeme olup olmadığı kontrol edilmelidir. Projeye uygun çivi deliklerinin tümü açılır ve bir sonraki aşamaya geçilir. Çivi boylarının projeye uygun olup olmadığı kontrol edilmelidir. Çivilerin ısı derecesi 0°'den yüksek olması gerekmektedir çünkü 0°'den düşük olması, çivinin enjeksiyonla temasında enjeksiyonun donma ihtimalini ortaya çıkarır. Çivi deliklerinin açılmasının ardından, çiviler yerleştirilir. Çivi tam olarak deliğe girmez ise, delikte çökme veya açılan delik boyu yetersiz kalmış olabilir. Bu gibi durumlarda deliğin tekrar açılması gerekebilir. Kesinlikle donatı zorla deliğe saplanmamalı veya donatı kesilmemelidir. Enjeksiyon karışımı projesine uygun oranda oluşturulmalıdır. Çivi deliği tamamen dolasıya kadar enjeksiyon basılır. Enjeksiyon, donatı ile çevre zemin arasında kuvvetli bir bağ oluşturur. Kendi akışı ile elde edilen çivi – zemin arasındaki bağ direnci genellikle yeterli olmaktadır. Ancak zeminin özellik bakımından zayıf olduğu durumlarda, zemin çivilerinin boylarını makul seviyede tutmak için yüksek bağ direnci gerekebilir.

Granüler zeminde, düşük basınç ile enjekte edilen enjeksiyona, kendi akışı ile akan enjeksiyona kıyasla daha yüksek bağ direnci sağlar. Basınçlı enjeksiyon, ince daneli zeminlerde nadiren tercih edilir çünkü bağ direncinde küçük bir artış gösterir (Lazarte ve diğ, 2015).

Çivi deliklerindeki dışarı atılmak istenilen zemin, düzgün bir şekilde alınmazsa, enjeksiyon ile zemin arasında oluşan bağ direnci beklenenden düşük çıkar.

Drenaj uygulaması, geçici duvarlar için zemindeki yeraltı sularının durumuna göre konulmayabilir ancak kalıcı duvarlar için kullanılması gerekmektedir. Drenaj levhaları kazı yüzeyi ile çelik hasır arasında yerleştirilir. Şekil 4.22’de drenaj sistemli zemin çivili duvar imalatı görülmektedir.



Şekil 4.21. Drenaj sistemli zemin çivisi (Lazarte ve diğ, 2015).

4.3.4. Zemin çivisinin avantajları

Zemin çivisinin avantajları 3 ana kategoride gruplandırılmaktadır; bunlar yapım, performans ve maliyet olarak sıralanabilir (Lazarte ve diğ, 2015).

4.3.4.1. Yapım

- Zemin çivileri genellikle kısa oldukları için daha dar alanlarda çalışma imkanı sağlar.

- Fore kazık ve kazık çakma gibi büyük ekipman gerektiren diğer yapım tekniklerine göre çevresel etkileri daha azdır.

- Destek boruları ile yapılan sistemlere göre daha rahat kazı ortamına sahiptir.

- İmal süresi çok hızlıdır ve ankrajlı sisteme göre daha az yapı malzemesi kullanılır.

- İri kaya, alt yapı sistemleri gibi zorluklarla karşılaşıldığında, çivinin eğiminin değiştirilmesi veya konumunun değiştirilmesi daha kolaydır. Ankrajlı imalatlarla kıyaslandığında kazıkların düzenlenmesi veya ilave kuşak kirişi yapılması gibi ilave maliyetler çıkarmaz.

- Zemin çivili sistemlerde kazık sistemi için gerekli olan yukardan çalışma alanına ihtiyaç yoktur. Bu özellik köprü ayaklarında yapılan imalatlar için çok kullanışlıdır.

- Zemin çivisi küçük ekipmanlardan oluştuğundan dolayı, uzak bölgelere mobilize olabilmesi maliyet açısından daha avantajlı olabilir.

- Çok sayıda zemin çivisi imalatı yapan nitelikli yüklenici vardır.

- Mühendisler zemin çivisi hakkında geniş bilgi ağına sahiptir.

4.3.4.2. Performans

- Zemin çivisi diğer yapılara göre daha esnek bir yapıya sahiptir ve bir dereceye kadar büyük toplam ve farklı oturmaları karşılar.

- Yol yapımı sırasında zemin çivisi imalatlarının kontrollerinin düzgün yapılması halinde ölçülen zemin çivisi duvarının sapmaları tolere edilebilir limitler içinde tutulur.

- Zemin çivisi duvarları sismik olaylar boyunca sağlam performans gösterir.

- Zemin çivili duvar için birim alana düşen güçlendirme elemanı, ankrajlı duvara göre çok daha fazladır.

- Zemin çivili duvara uygulanabilen şekillendirilmiş yüzey, çevreyle uyumlu, daha doğal bir görünüm sağlar.

4.3.4.3. Maliyet

Klasik bir zemin çivili duvar, yaklaşık olarak 3-5m'den daha uzun olan betonarme duvarlara göre çok daha ekonomiktir. Zemin çivili duvar prosedürüne uygun

yapıldığı takdirde genellikle ankrajlı duvarlara göre eşit veya daha avantajlı maliyetlere imal edilir. Püskürtme beton yüzeyinin, genellikle diğer yüzey imalatlarına sahip yapılara göre maliyeti daha düşüktür.

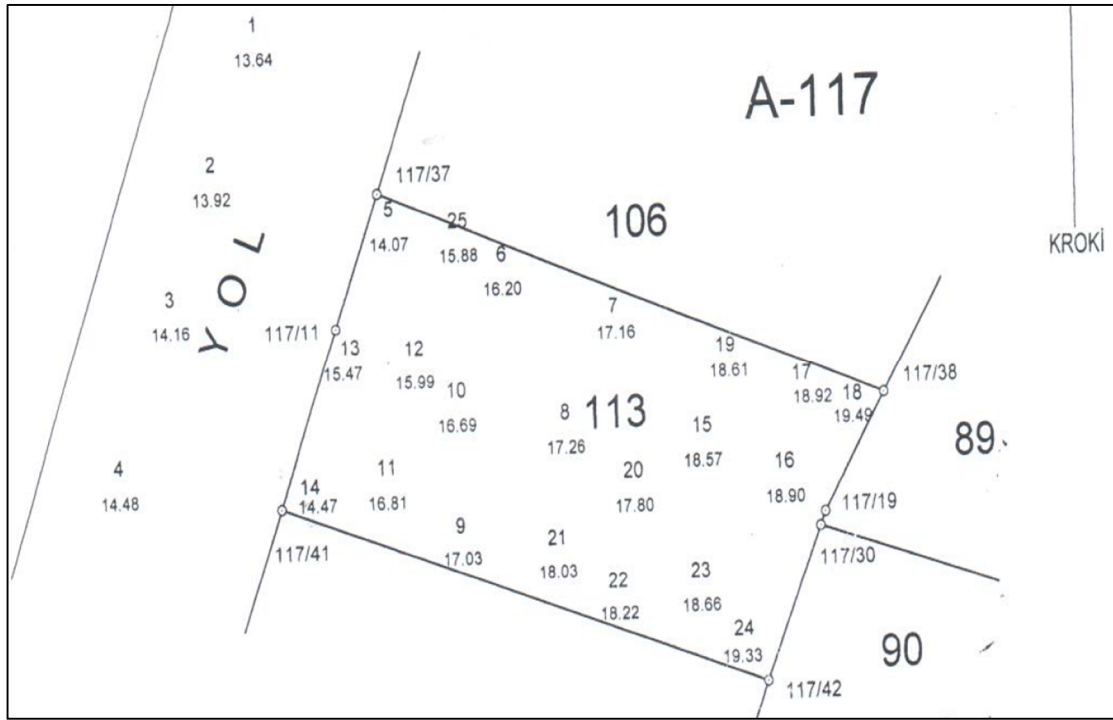
4.3.5. Zemin Çivisi İçin Tercih Edilen Zemin Durumları

Aşağıda bahsedilen durumlarda ekonomik olarak daha etkili ve teknik olarak daha uygundur (Lazarte ve diğ, 2003).

- Kazıldığında desteksiz olarak 1-2m yükseklikte durabilen ve dikey olarak bir-iki gün bekleyebilen zeminler.
- Özellikle geçirgen zeminlerde, uygulanan zemin çivilerinin konumunun, yeraltı su seviyesinin üstünde kaldığı durumlar.
- Çivi deliklerinin, çivinin montaj edilip, enjeksiyonla kaplanana kadar, kılıf kullanmadan uygulanmasına izin veren zeminler.

5. PROJE BİLGİLERİ

Bu çalışmada, temel kazısı Yalova ili Merkez ilçesi Bağlar başı Mahallesinde olup 423 m² yüz ölçümüne sahip arazi üzerinde yapılacak 1 adet bodrum + 3 katlı binanın kazısının güvenli bir şekilde yapılması amacıyla çalışma alanın yer altı yapısının ortaya konması, statik hesaplar için gerekli zemin parametrelerinin ve jeofizik parametrelerin (yatak katsayısı ve spektrum karakteristik katsayıları) sıvılaşma, oturma yer altı suyu durumu tespiti ile mühendislik önlemlerinin ve önerilerin belirlenmesi amacıyla çalışma alanın içerisine 3 adet temel araştırma sondajı uygulanmıştır. Çalışma alanına ait arazinin durumu Şekil 5.1' de verilmiştir



Şekil 5.1. Araziye ait plankote

İnşaat alanında 7 metre yüksekliğinde bir kazıya ihtiyaç duyulmaktadır. Araziye bitişik yollar ve binalar bulunmasından dolayı, bu yapıların ve kazı çukurunun inşaat süresi boyunca emniyete alınması gerekmektedir.

6. ZEMİN BİLGİLERİ

İnceleme alanında temel zemin olarak Neojen Yaşlı Kılıç Formasyonu hakim yayılım göstermektedir. Çalışma alanı temel zemini irdelendiğinde 0-6 metre arası kil 6-9 metreler arası sert kil gözlenmiştir. Çalışma alanında uygulanan sondaj kuyularında yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Saha içinde 3 adet toplam derinliği 45,93 metre olan temel etüt sondajları uygulanmıştır. Çalışma alanında toplam eğim %10 -20 aralığında değişmektedir. Çalışma alanında uygulanan sondaj kuyularından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde elek analizi, su muhtevası, indeks dayanım ve konsolidasyon özelliklerinin tespitine yönelik zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Zemin tabaklarına ait zemin parametreleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Zemin parametreleri

	ZEMİN KATMANLARI	γ_n (kN/m ³)	Φ (°)	c (kPa)	E (MPa)	Poison oranı (v)
TABAKA1	KİL	19	7	100	80	0,3
TABAKA2	SERT KİL	20	6,5	120	120	0,3

Bu çalışmada, seçilecek olan iksa sistemini belirlemek için en olumsuz yükleme durumunu temsil eden kesit maksimum tabii zemin kotu ve bina yükü seçilerek hesaplarda kullanılmıştır. Hesaplar da iksa sisteminin hemen arkasında oluşacak gerek bina yükü gerek araçlardan kaynaklı hareketli yükler için $q=10$ kPa sürsaj yükü analizlerde dikkate alınarak çözüm yapılmıştır. Arazide yapılan sismik çalışma neticesinde elde edilen zemine ait dinamik parametreler Çizelge 6.2’ de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Zemin ait dinamik parametreler

Zemin Parametreleri	1.Tabaka	2.Tabaka	Birim
Enine(S)Dalga Hızı	182	313	m/sn
Boyuna(P)Dalga Hızı(Ort)	467	787	m/sn
Yoğunluk(ρ)	1.44	1.64	gr/cm ³
Dinamik Kayma Modülü(Gd)	477	1609	kg/cm ²
Poisson Oranı(ν)	0.41	0.41	
Dinamik Elastisite Modülü(E _d)	1346	4524	kg/cm ²
Bulk Modülü(K)	2499	8025	kg/cm ²
Kalınlık (Z)Düz Atış	2.77		m.
Kalınlık (Z)Ters Atış	3.03		m.
Zemin Hakim Periyodu(T ₀)	0.66	0.66	sn.
Kaçınılması Gereken Periyot Aralığı	T ₀₁ :0.44	T ₀₂ :0.99	sn.

Zeminin dinamik parametrelerinin ölçülmesine ait çalışma Şekil 6.1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Arazide yapılan sismik kırılma çalışması.

7. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE KAZIK, ZEMİN ÇİVİSİ, ANKRAJ MODELLENMESİ

7.1. Fore Kazık Modelleme

Arazide yapılacak olan temel kazısı derinliği 7 metredir ve iksa sistemi $\phi 100$ cm çaplı fore kazıklardan oluşturulmuştur. $\phi 100$ cm çaplı fore kazıklar yatayda merkezden merkeze 150 cm aralıklar ile imal edilmiştir. Kayma düzlemi ve temel kazısı göz önüne alınarak fore kazığın boyu 18 m olarak belirlenmiştir. Fore kazık ile ilgili parametreler Çizelge 7.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.1. Fore kazık parametreleri

FORE KAZIK				
Çap (m)	Boy (m)	Eksenel Rijitlik (EA) (kN)	Eğilme Rijitliği (EI) (kN.m ²)	Poisson Oranı (ν)
1	18	1,571E+07	9,817E+05	0,20

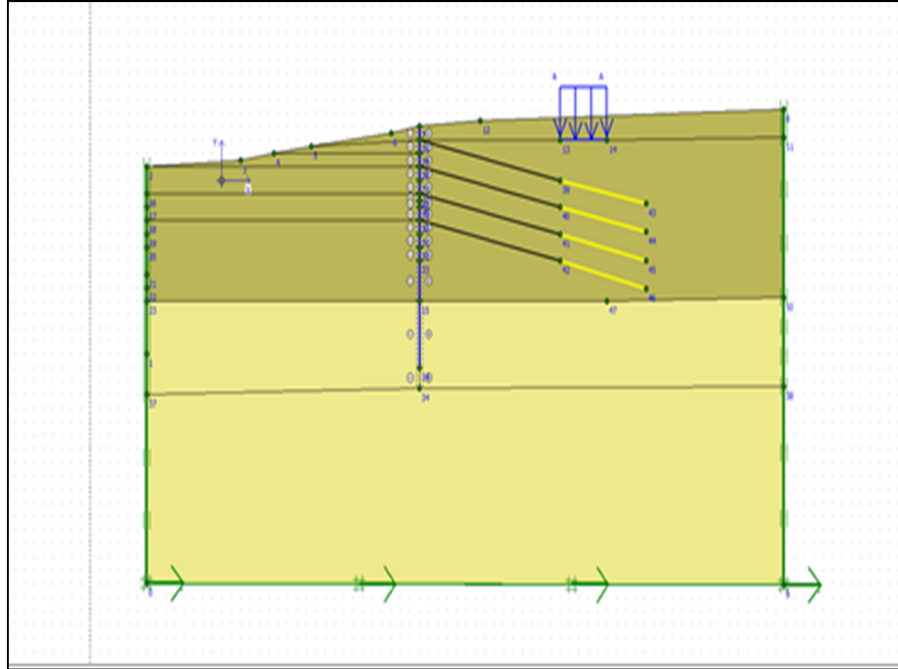
7.2. Ankraj Modelleme

Çalışmada kazıklarla birlikte öngörülen ankrajlar kullanılmasına karar verilmiştir. Ankrajların yatayda 1,60 metre aralıklarla, düşeyde ise 1.50 aralıklarla yerleştirilmiştir. Ankrajların yatayla 15 derece açı yapması uygun bulunmuştur. Ankrajların boyu 23 metredir, kök kısmı ise 8 metre olarak belirlenmiştir. Ankrajların boylarının belirlenmesinde kayma düzleminin dışına geçmesine dikkat edilmiştir, böylece kök kısmının sağlam ve duraylı zemin içinde kalmasına özen gösterilmiştir. Çizelge 7.2’de ankraja ait parametreler gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Ankraj parametreleri.

Boy (m)	Eksenel Rijitlik (EA) (kN)	L (m)
23	8,400E+04	1,60

Plaxis programı kullanılarak kazık ve ankraj modelleme aşağıda Şekil 7.1 'de verilmiştir.



Şekil 7.1. Kazık ve ankraj uygulaması modellemesi(Plaxis).

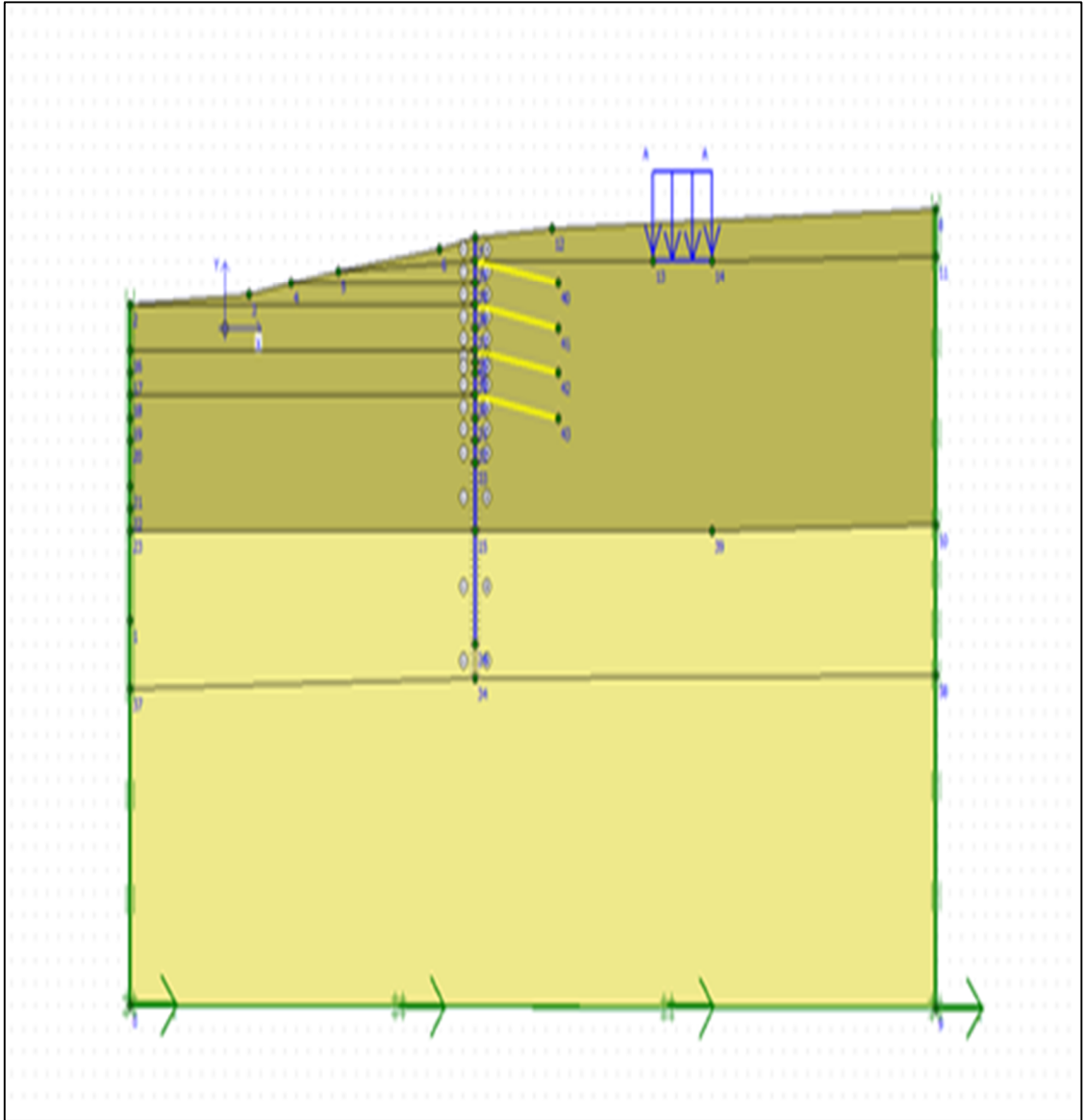
7.3. Zemin Çivisi Modelleme

Temel kazısı derinliği 7 m dir ve kullanılan zemin çivisi uygulaması yatayda 1,5 metre aralıklarla, düşeyde ise 1,5 aralıklarla yerleştirilmiştir. Çapı 28 mm olup zemin çivilerinin boyu 7 m dir. Çizelge 7.3'de zemin çivisi parametreleri verilmiştir.

Çizelge 7.3. Zemin çivilerine ait parametreler.

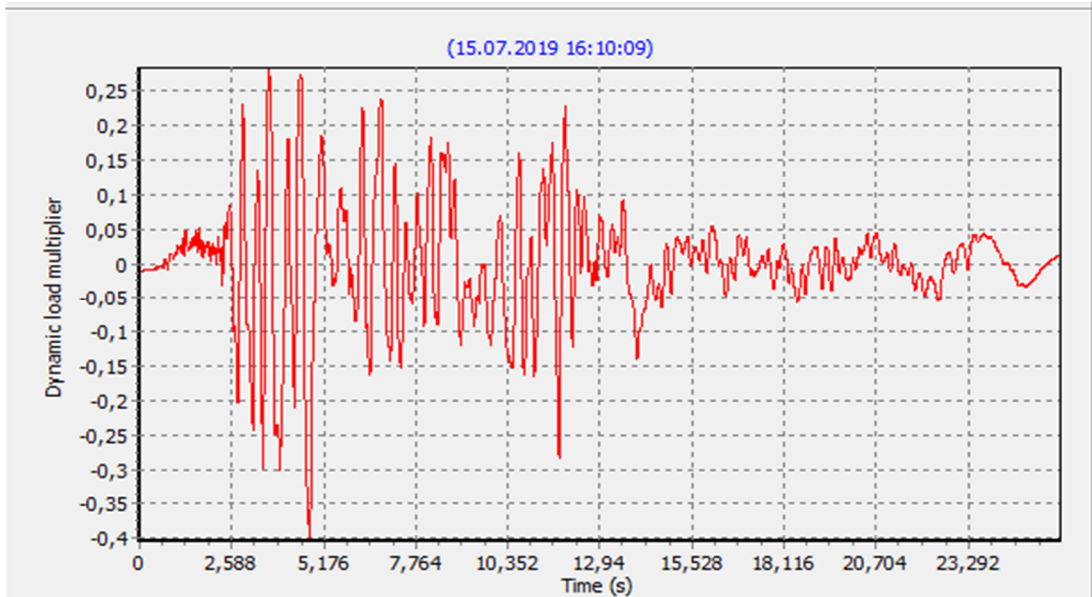
Çap (mm)	Boy (m)	Eksenel Rijitlik (EA) (kN)	L (m)
28	7	8,621E+04	1,50

Sonlu elemanlar programı ile zemin çivisi uygulaması tasarımı Şekil 7.2.' de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. Kazık ve zemin çivisi uygulaması modellenmesi (Plaxis).

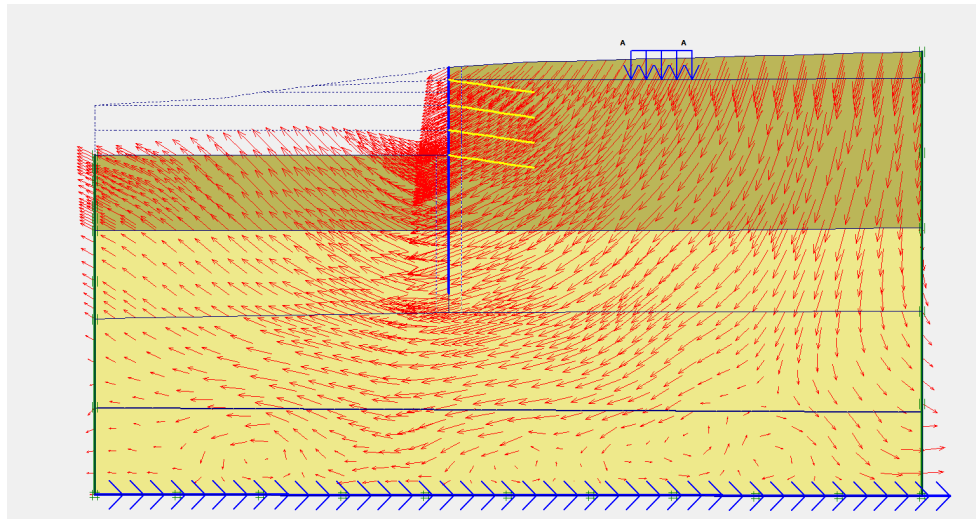
Düzce depremine ait akselogram Şekil 8.2’de verilmektedir.



Şekil 8.2. Düzce depremine ait akselogram.

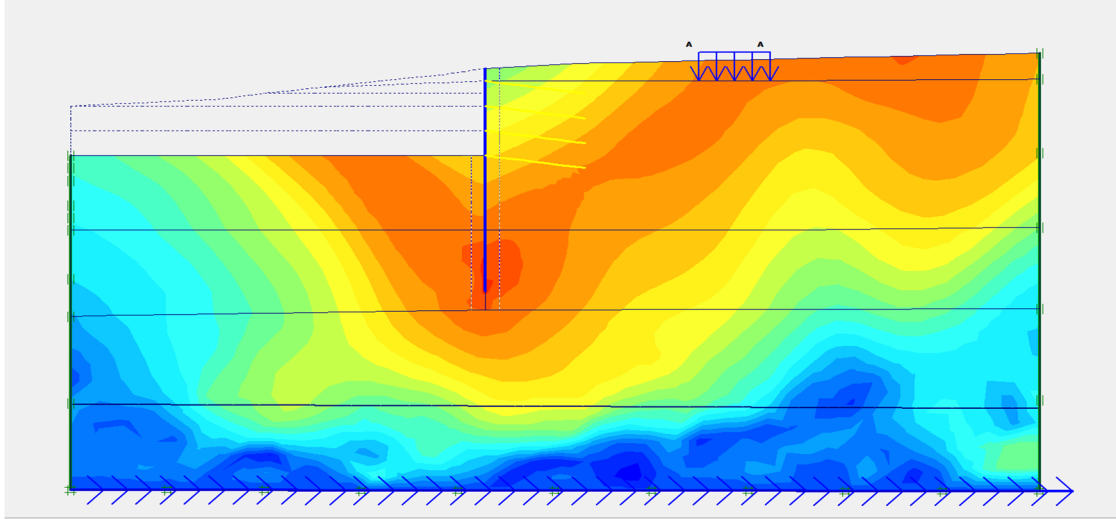
Kazık ve zemin çivisi birlikte kullanılarak statik analiz yapıldıktan sonra, moment büyüklüğü 7.2 ve $a_{maks} = 0,4g$ olan 1999 yılında Düzce’de gerçekleşen deprem kayıtları kullanarak Plaxis programı ile analiz edilmiştir.

Düzce depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.3 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 8.3. Düzce Depremine Ait Deplasmanların Yönü (Plaxis).

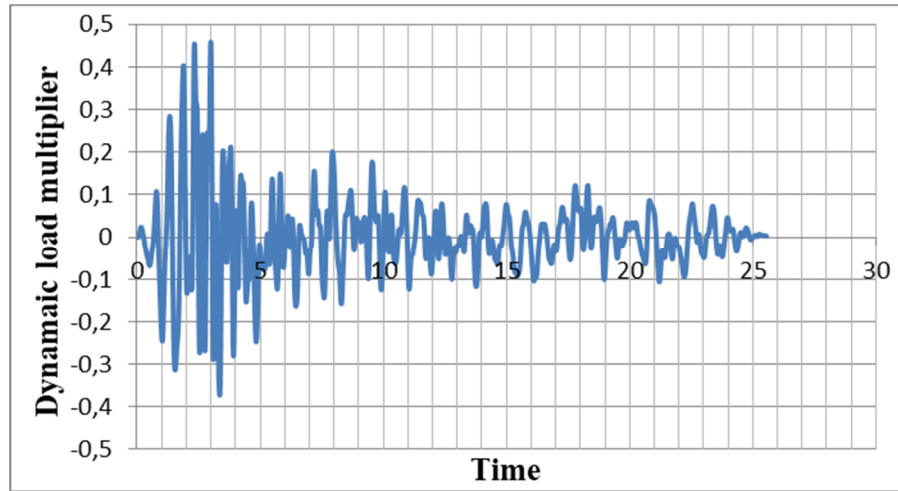
Yapılan bu analiz sonucu oluşan deplasman 33,3 cm dir (Şekil 8.4).



Şekil 8.4. Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 33,3 cm) (Plaxis).

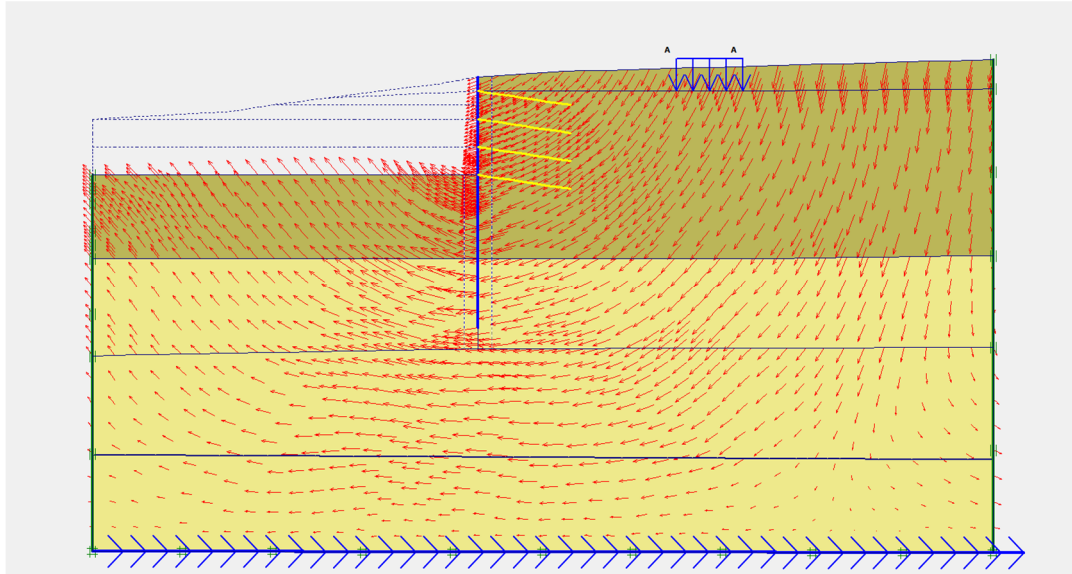
8.1.2. Kocaeli depremi

Kocaeli depremi Ağustos ayı içinde 1999 yılında Anadolu'da bulunan bir fay hattı üzerinde meydana gelmiştir. Kocaeli'de oluşan bu depremin insanların hem canını hem malını kaybetmesine neden olmuştur (Özmen, 2000). Bu depremin maximum ivme değeri $a_{maks} = 0,46$ g dir. Akselogram Şekil 8.5.'de verilmektedir.



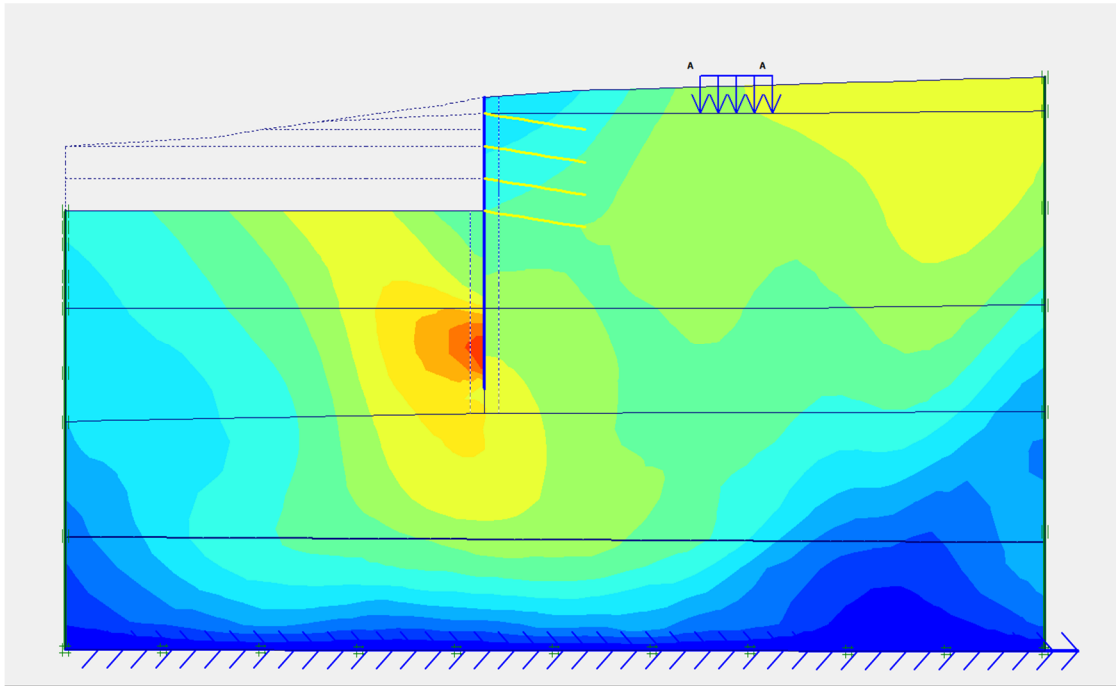
Şekil 8.5. Kocaeli depremine ait akselogram.

Kocaeli depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.6 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.6. Kocaeli Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

Yapılan analiz sonucunda oluşan deplasman 36,1 cm dir(Şekil 8.7).

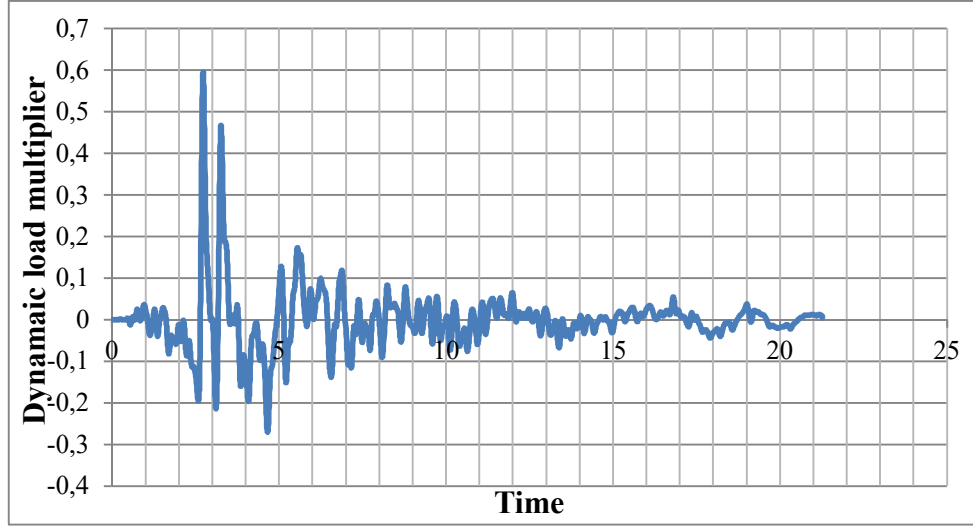


Şekil 8.7. Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 36,1 cm) (Plaxis).

8.1.3. Erzincan depremi

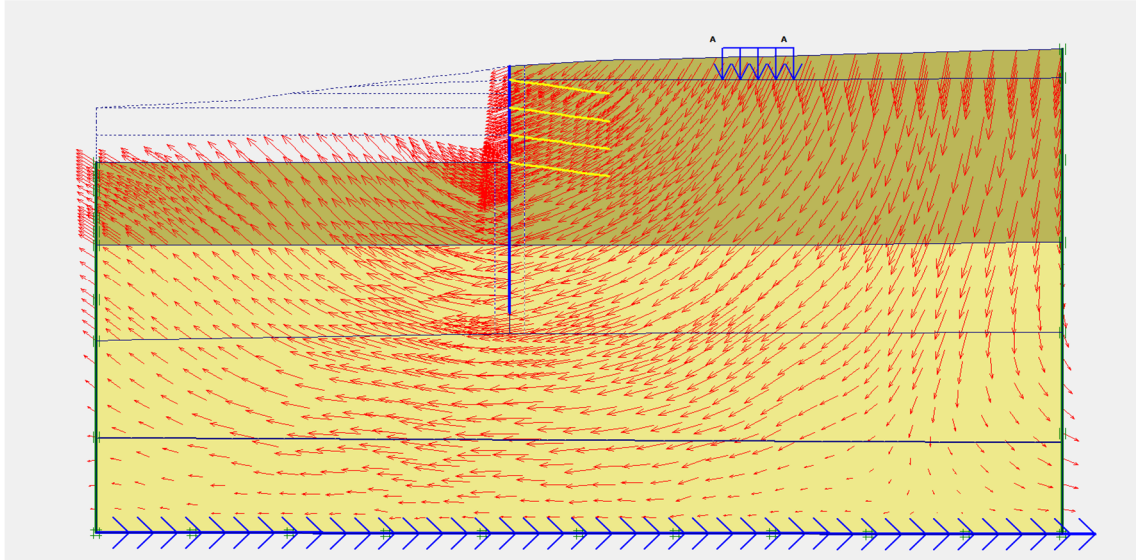
1992 yılında Erzincan 'ın güneydoğusunda meydana gelen deprem kuzey anadolu fayı üzerinde meydana gelmiştir. İnsanlar yaşanan deprem sonucunda gerek

maddi gerek manevi zararlara uğramışlardır. Bu depremin maximum ivme değeri $a_{maks} = 0,60$ g dir. Akselogram Şekil 8.8' de verilmektedir.



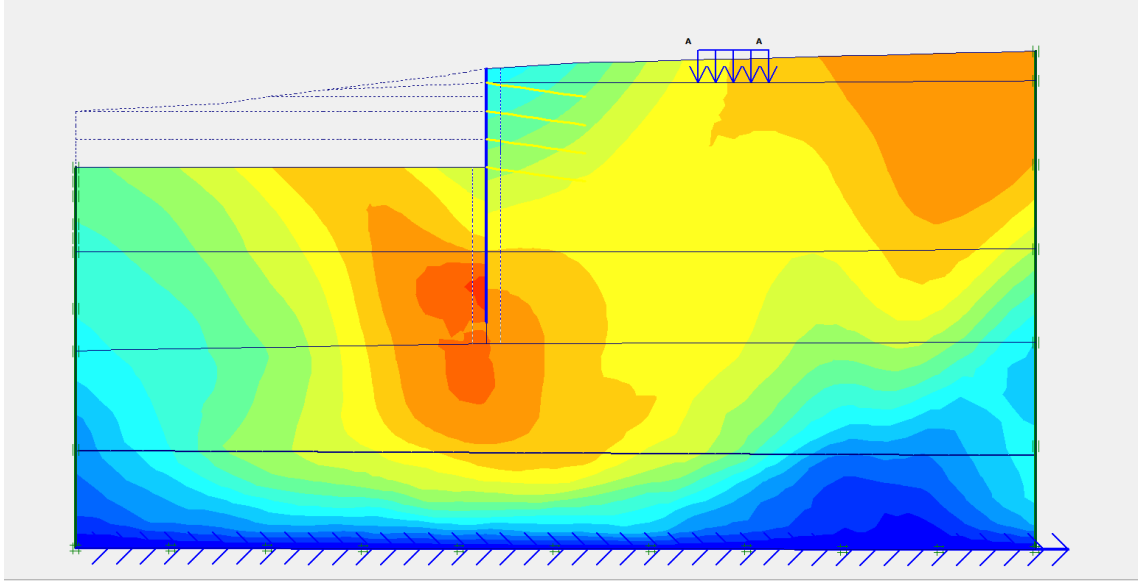
Şekil 8.8. Erzincan depremine ait akselogram.

Erzincan depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.9 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.9. Erzincan Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

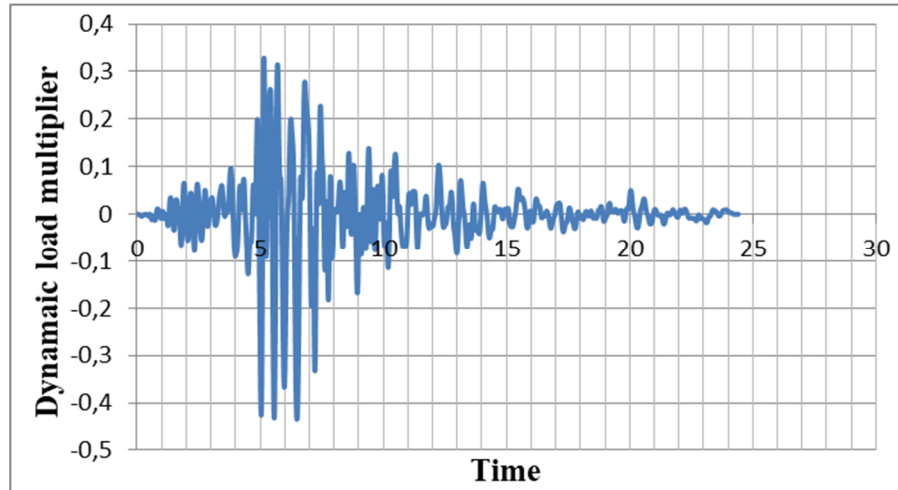
Sonlu elemanar yöntemi ile yapılan analiz sonucunda oluşan deplasman 51,8 cm dir (Şekil 8.10).



Şekil 8.10. Kazık ile zemin çivisi uygulaması (dinamik analiz, deplasman 51,8 cm) (Plaxis).

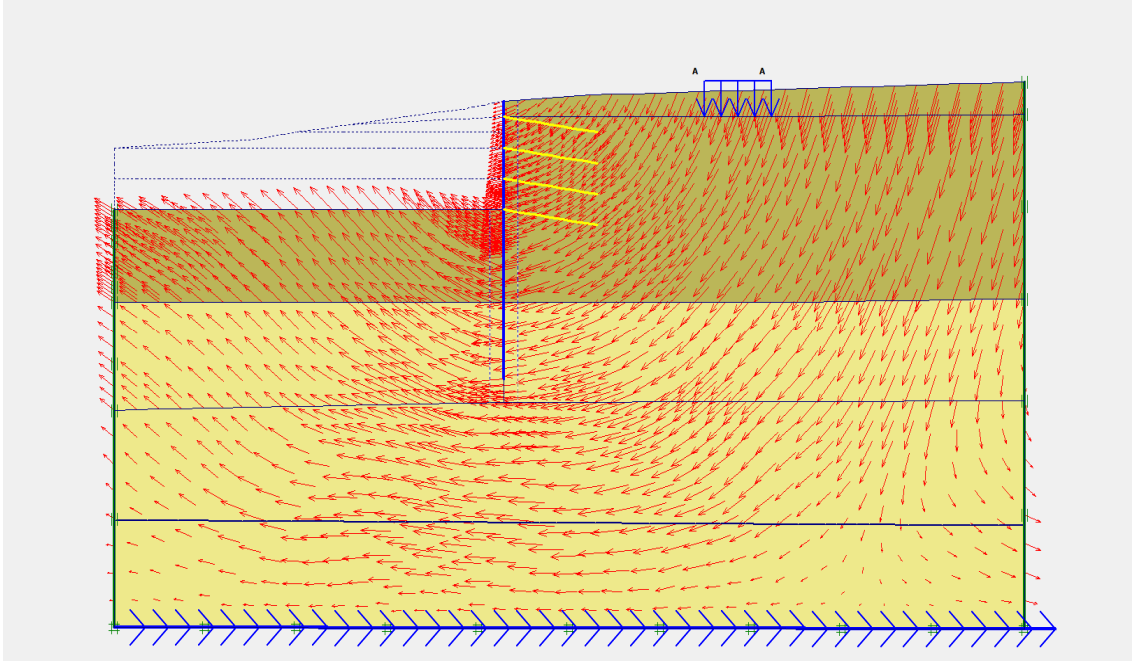
8.1.4. Victoria depremi

Victoria da 2010 yılında 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 8.11’de verilmiştir.



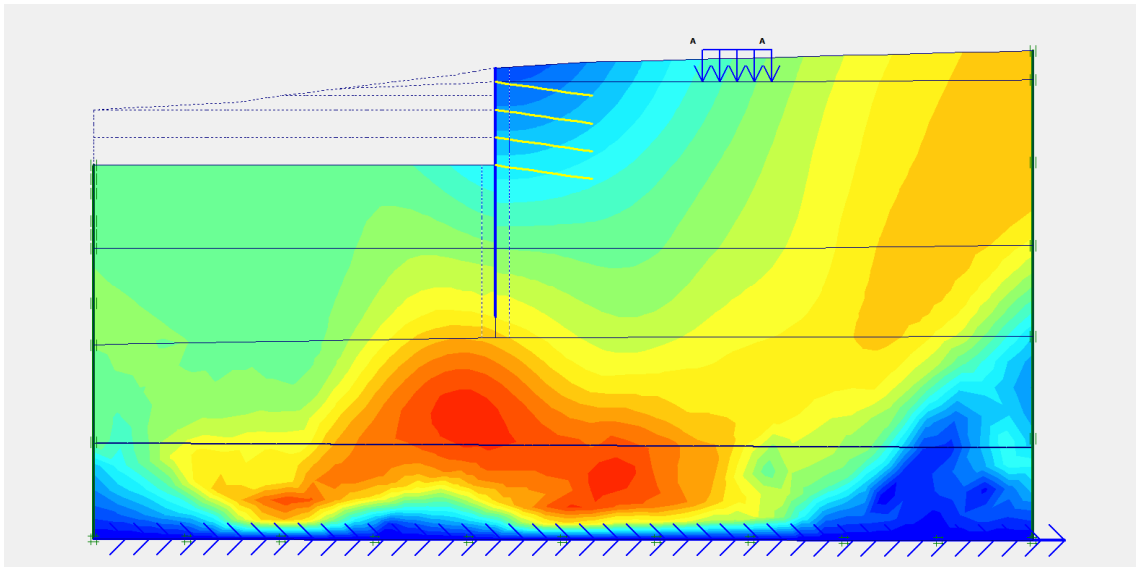
Şekil 8.11. Victoria depremi akselogramı.

Victoria depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.12 ‘de gösterilmiştir.



Şekil 8.12. Victoria Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

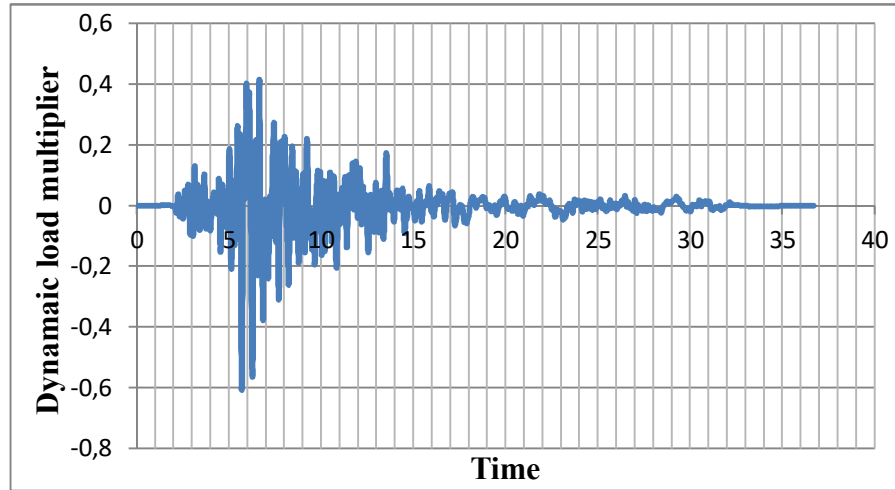
Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 32,4 cm dir(Şekil 8.13).



Şekil 8.13. Kazık ilezemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 32,4 cm) (Plaxis).

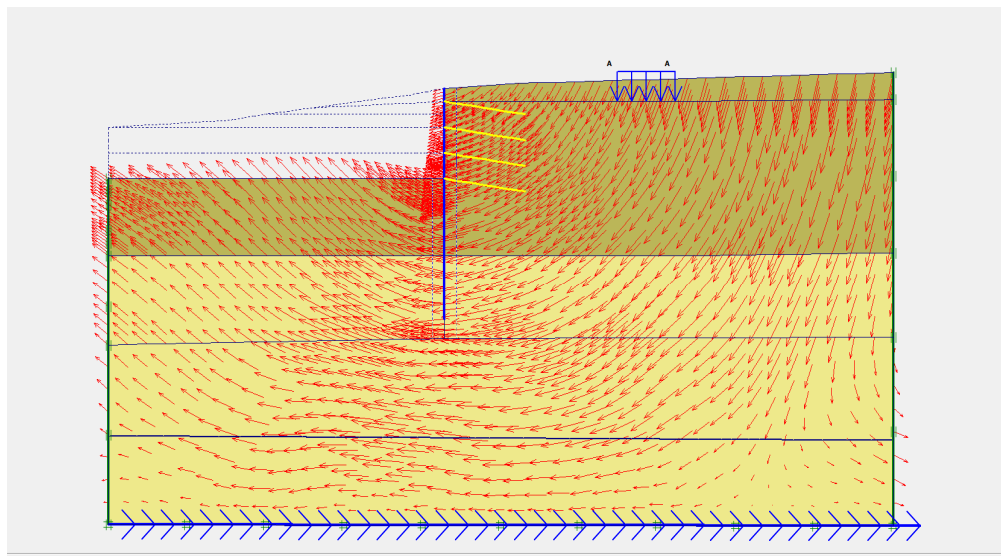
8.1.5. Yeni Zelanda depremi

2011 yılında Yeni Zelanda'nın Güney Adası'nda Yeni Zelanda depremi meydana gelmiştir. Yeni Zelanda depremi sonucu insanlar hem can hem mal kaybına uğramışlardır. Depreme ait iki ivme kullanılmıştır ve maksimum ivme kaydı yani (a_{maks}) 0,61g olan akselogram Şekil 8.14'de gösterilmektedir.



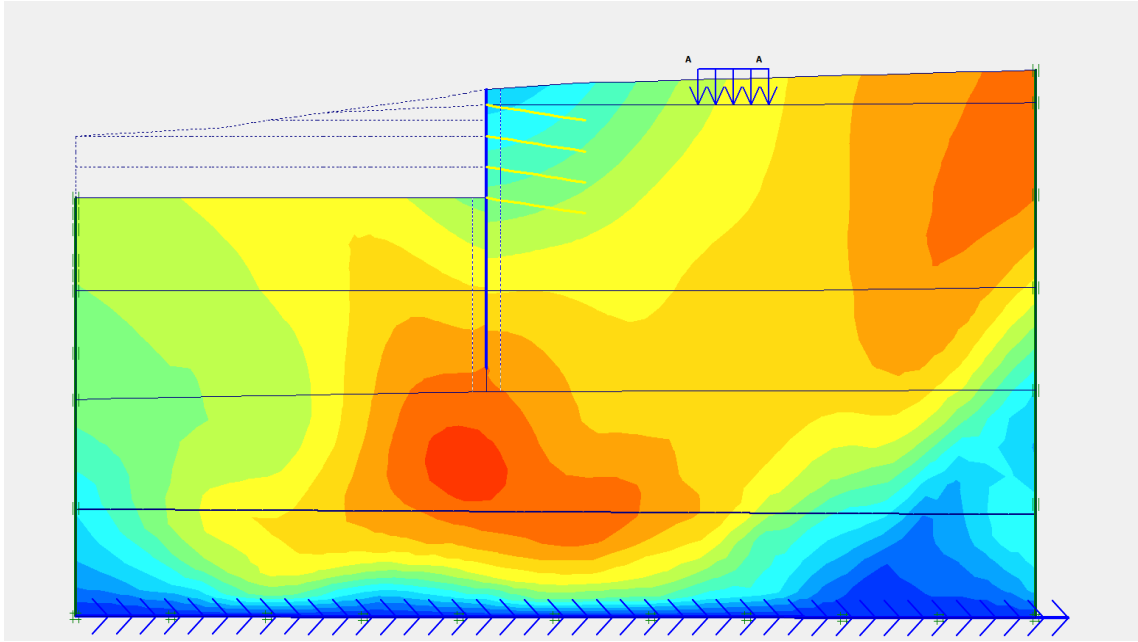
Şekil 8.14. Yeni Zelanda depremi akselogramı.

Yeni Zelanda depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.15 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.15. Yeni Zelanda Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

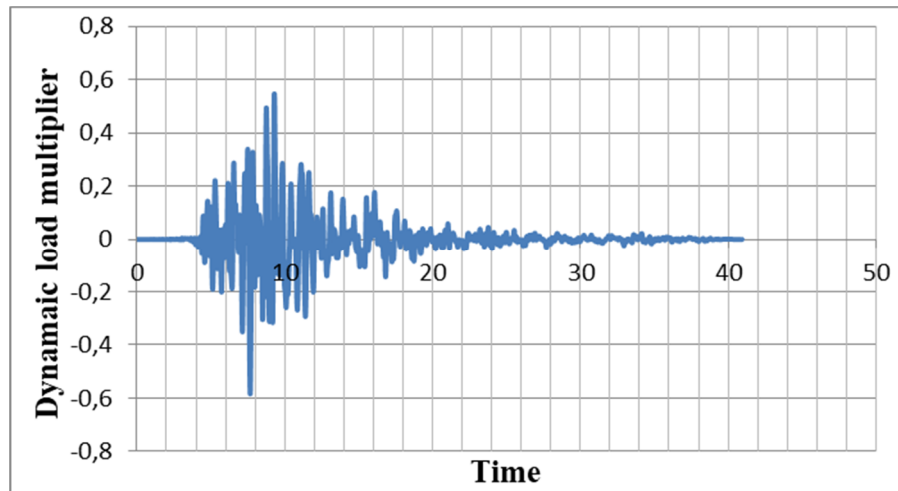
Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 44,2 cm dir(Şekil 8.16).



Şekil 8.16. Kazık ile zemin çivisi uygulaması(dinamik analiz, deplasman 44,2 cm) (Plaxis).

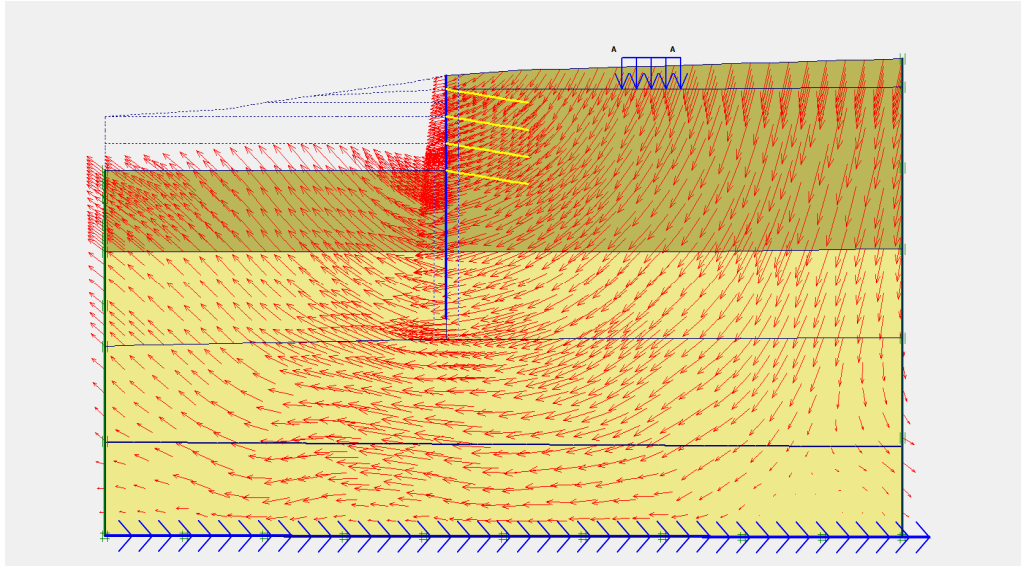
8.1.6. Kobe depremi

Japonya'da meydana gelen en büyük ikinci depremdir. Ocak ayında 1995 yılında meydana gelmiştir. Deprem sonucu maddi ve manevi kayıplar olmuştur(Kanat,1999).Pik ivme değeri $a_{maks} = 0,58g$ olan akselogram Şekil 8.17'de verilmektedir.



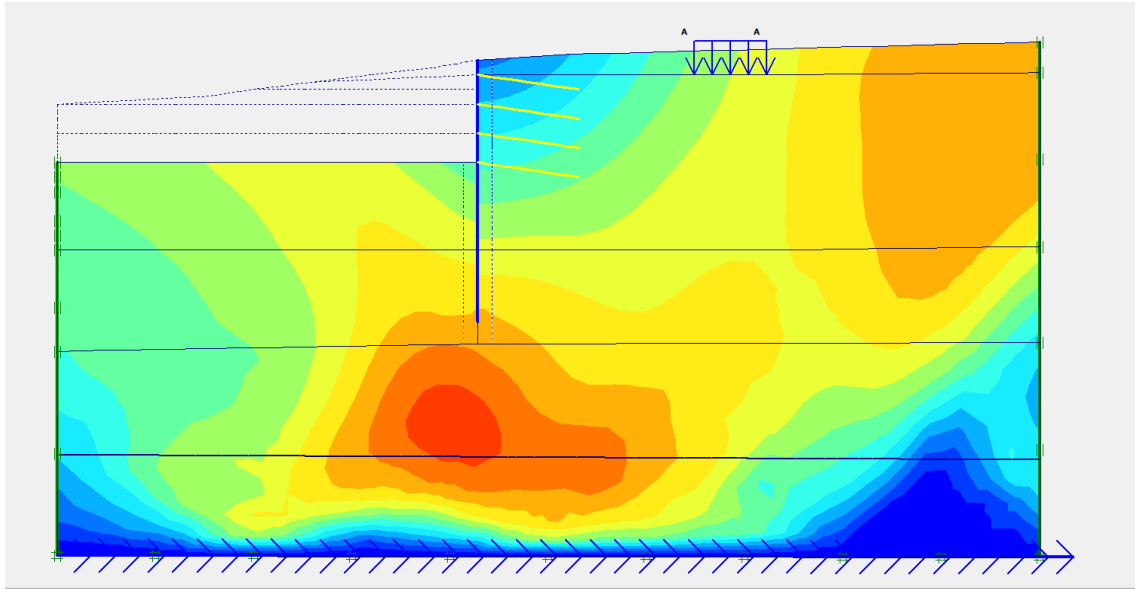
Şekil 8.17. Kobe depremine ait akselogram

Kobe depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.18 'da gösterilmiştir.



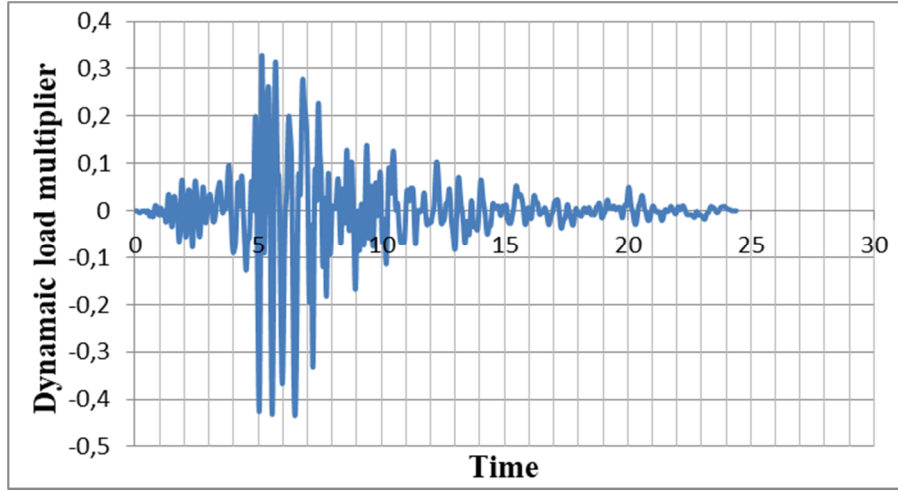
Şekil 8.18. Kobe Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 41,5 cm dir (Şekil 8.19).



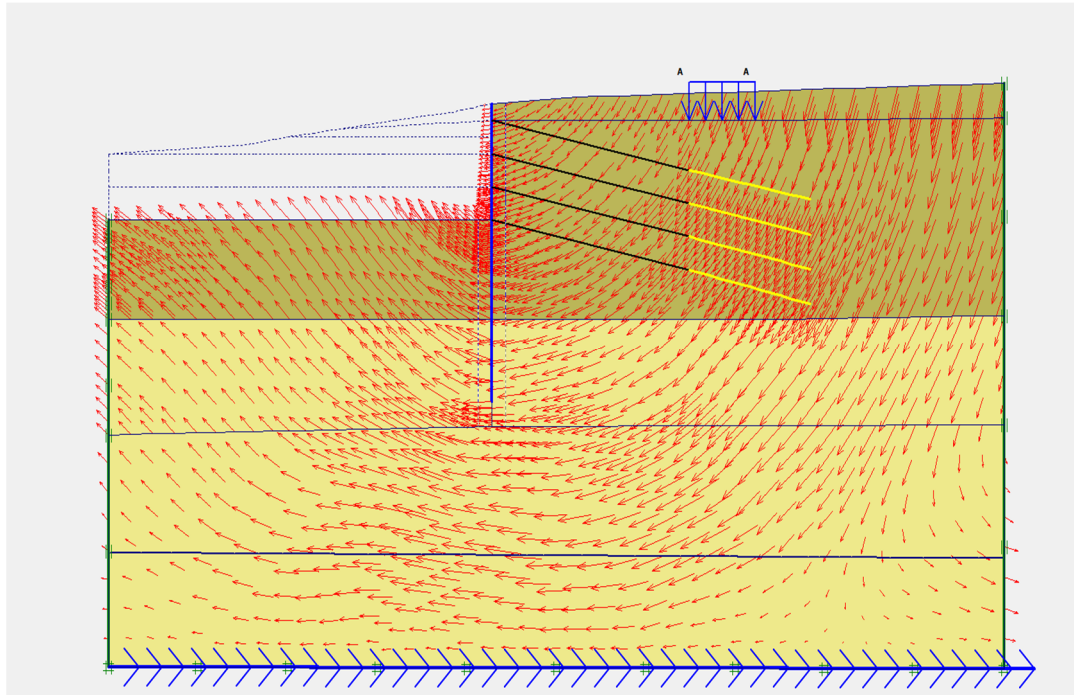
Şekil 8.19. Kazık ile zemin çivisi uygulaması (dinamik analiz, deplasman 41,5 cm) (Plaxis).

Kazık ile zemin çivisi uygulaması neticesinde elde edilen deplasmanlar Çizelge 8.1 'de gösterilmiştir.



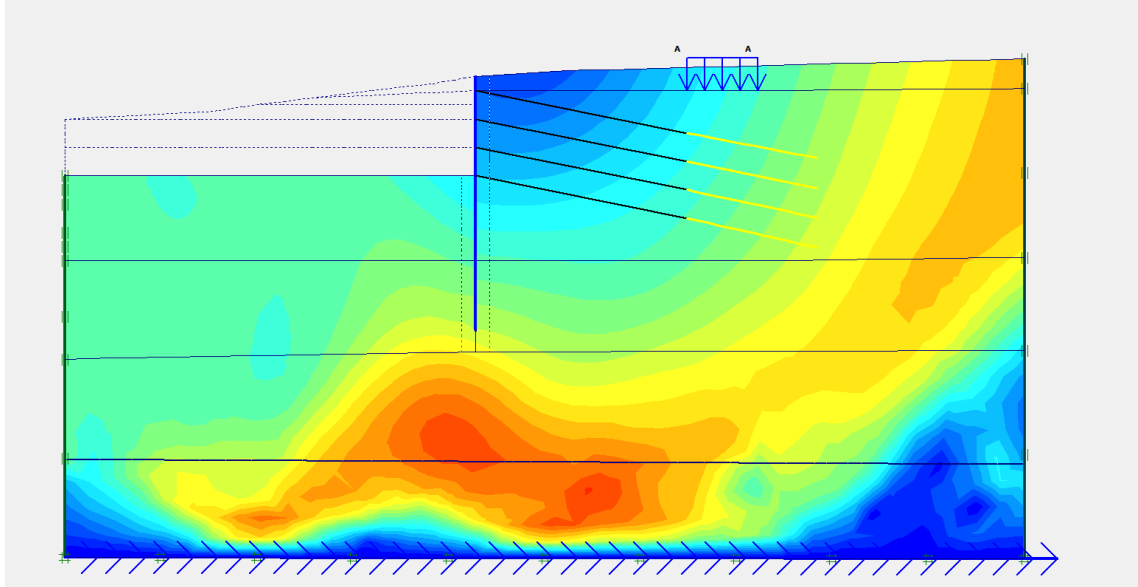
Şekil 8.21. Victoria depremi akselogramı.

Victoria ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.22 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.22. Victoria Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

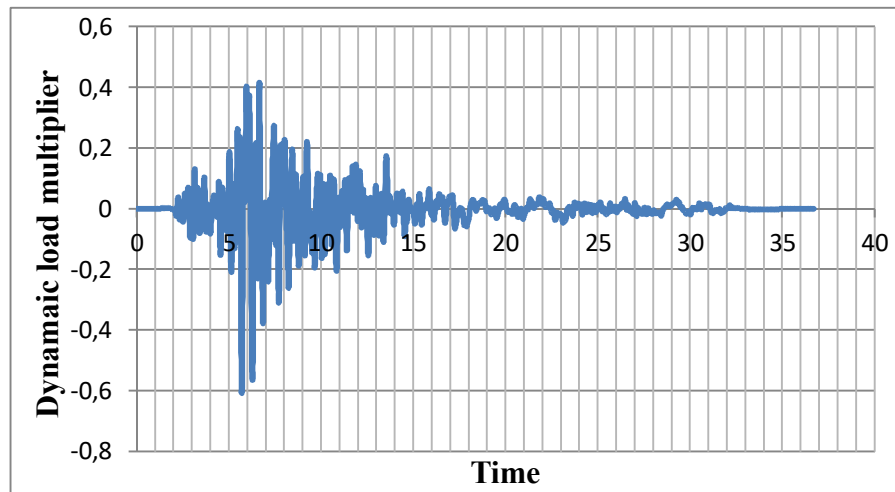
Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 30,2 cm dir(Şekil 8.23).



Şekil 8.23. Kazık ile ankaraj uygulaması(dinamik analiz, deplasman 30,2 cm) (Plaxis).

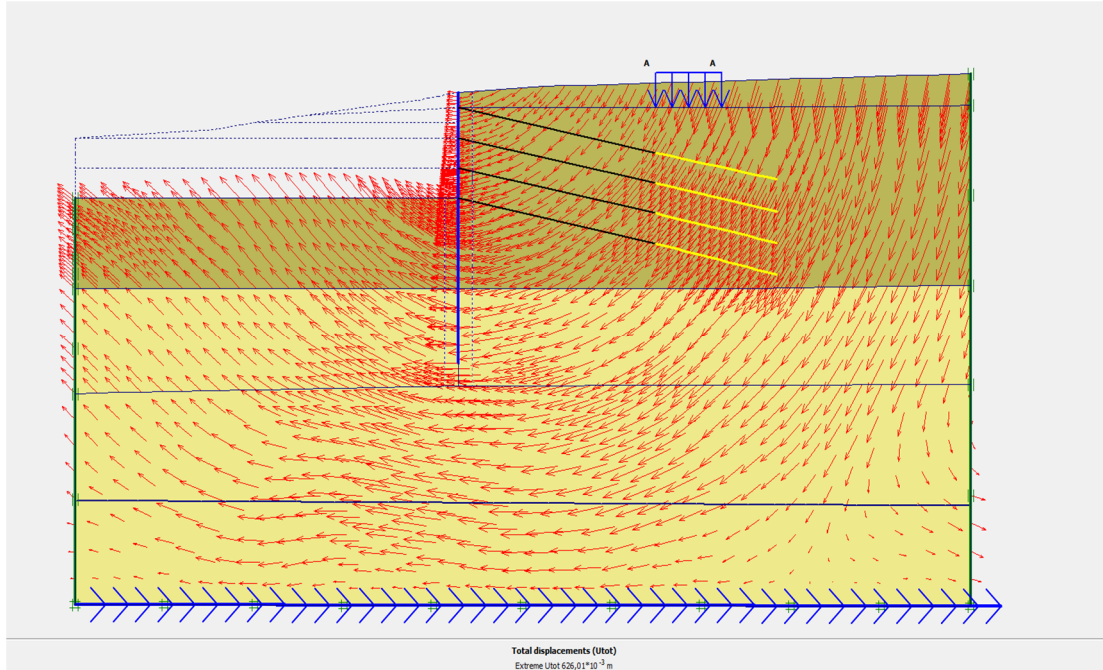
8.2.2. Yeni Zelanda depremi

2011 yılında Yeni Zelanda'nın Güney Adası'nda Yeni Zelanda depremi meydana gelmiştir. Yeni Zelanda depremi sonucu insanlar hem can hem mal kaybına uğramışlardır. Depreme ait iki ivme kullanılmıştır ve maksimum ivme kaydı yani (a_{maks}) 0,61 g olan akselogram Şekil 8.24'de gösterilmektedir.



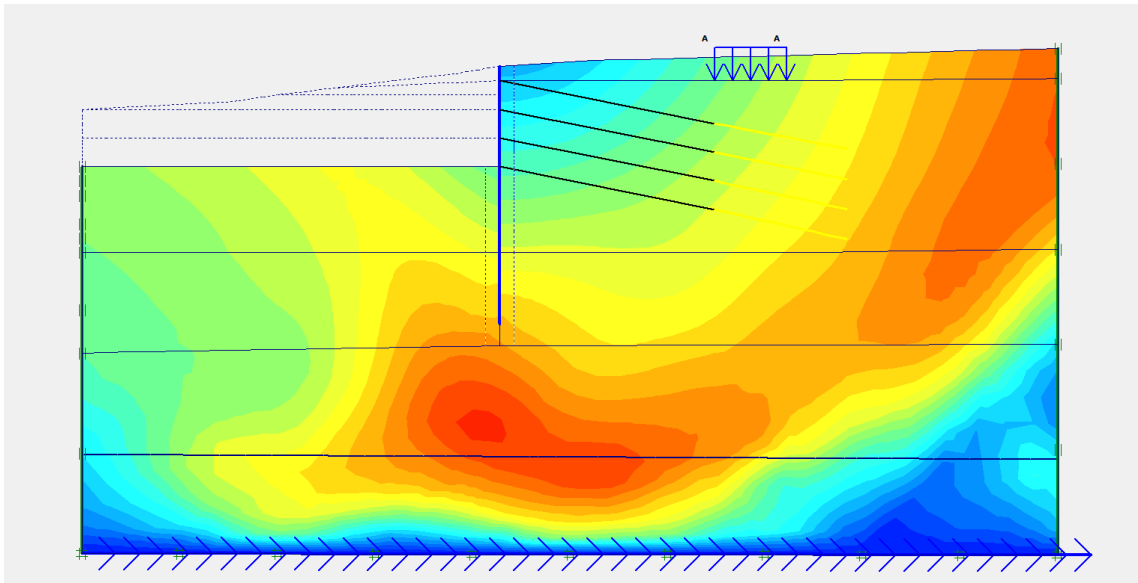
Şekil 8.24. Yeni Zelanda depremi akselogramı.

Yeni Zelanda depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.25 'de gösterilmiştir.



Şekil 8.25. Yeni Zellanda Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 38,3 cm dir(Şekil 8.26).

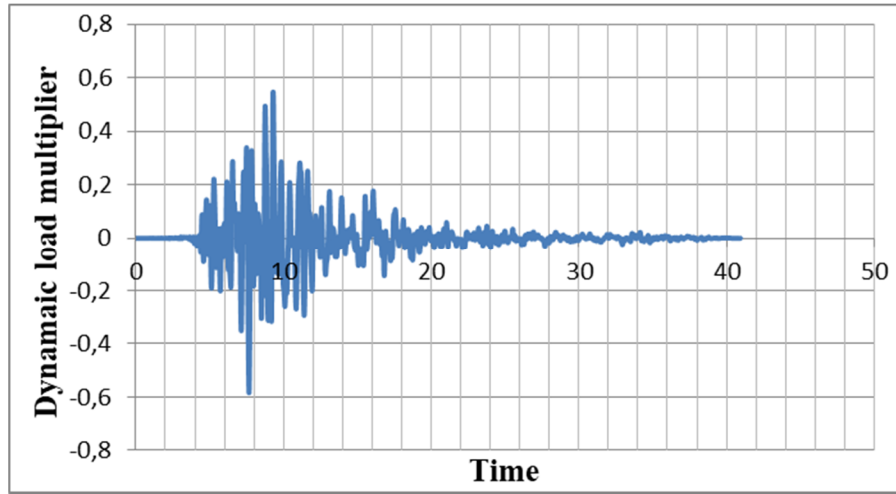


Şekil 8.26. Kazık ile ankaraj uygulaması(dinamik analiz, deplasman 38,3 cm) (Plaxis).

8.2.3. Kobe depremi

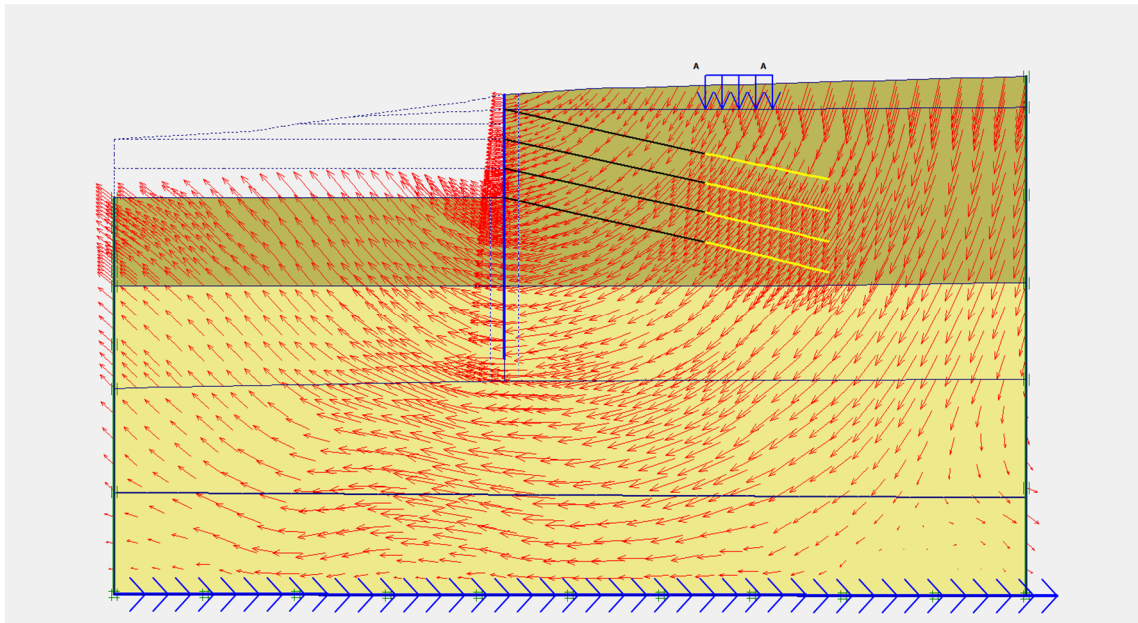
Japonyada meydana gelen en büyük ikinci depremdir. Ocak ayında 1995 yılında meydana gelmiştir. Deprem sonucu insanlarda birçok maddi ve manevi kayıplar

olmuştur(Kanat,1999).Pik ivme değeri $a_{maks} = 0,58g$ olan akselogram Şekil 8.27’de verilmektedir.



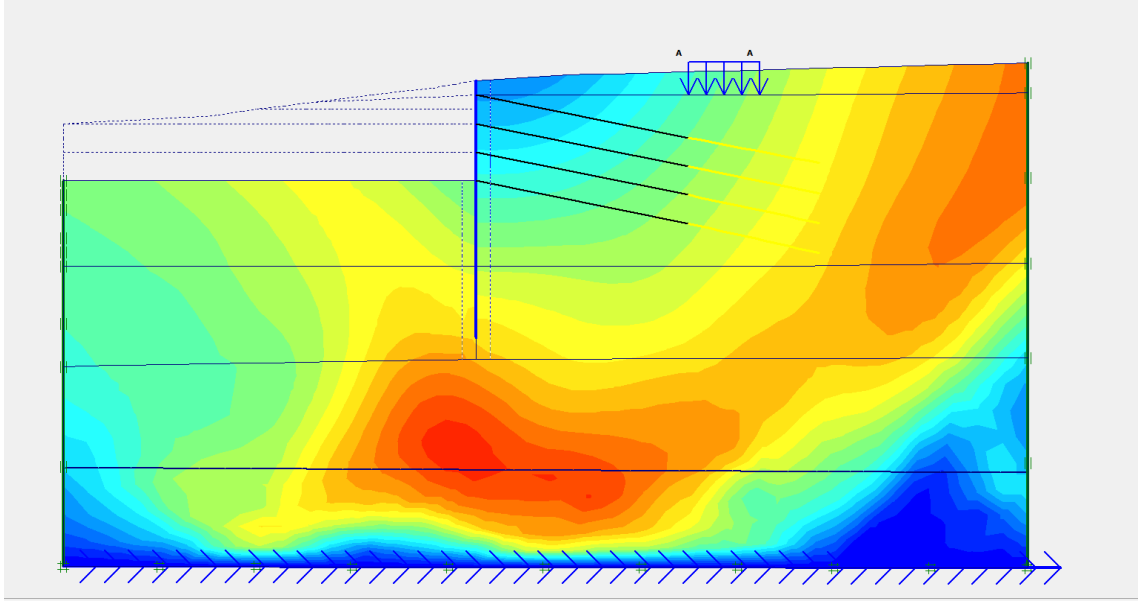
Şekil 8.27. Kobe depremine ait akselogram.

Kobe depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.28 ‘da gösterilmiştir.



Şekil 8.28. Kobe Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

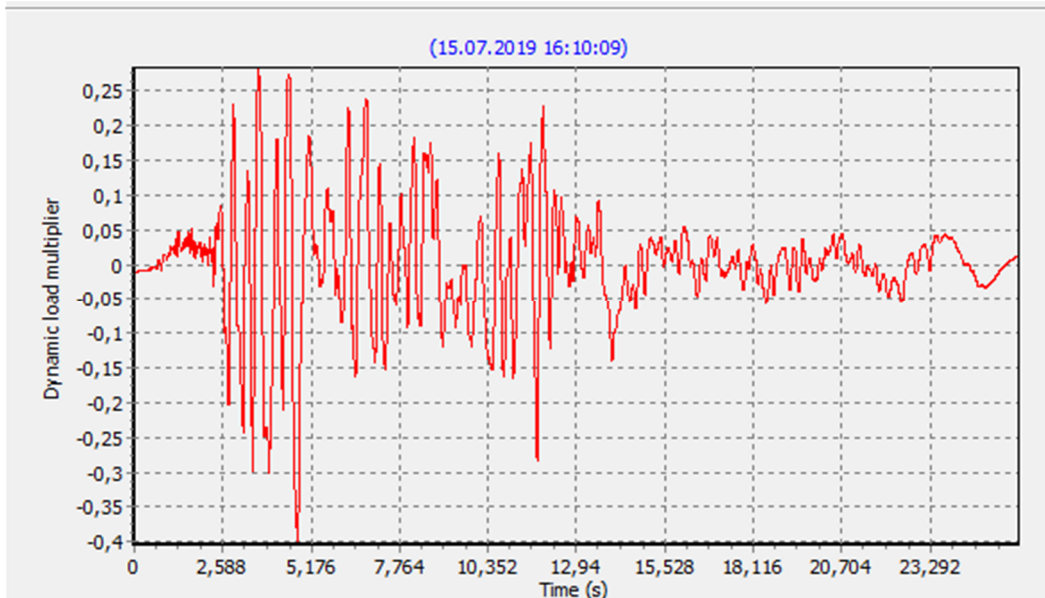
Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 37,1 cm dir (Şekil 8.29).



Şekil 8.29. Kazık ile ankaraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 37,1 cm) (Plaxis).

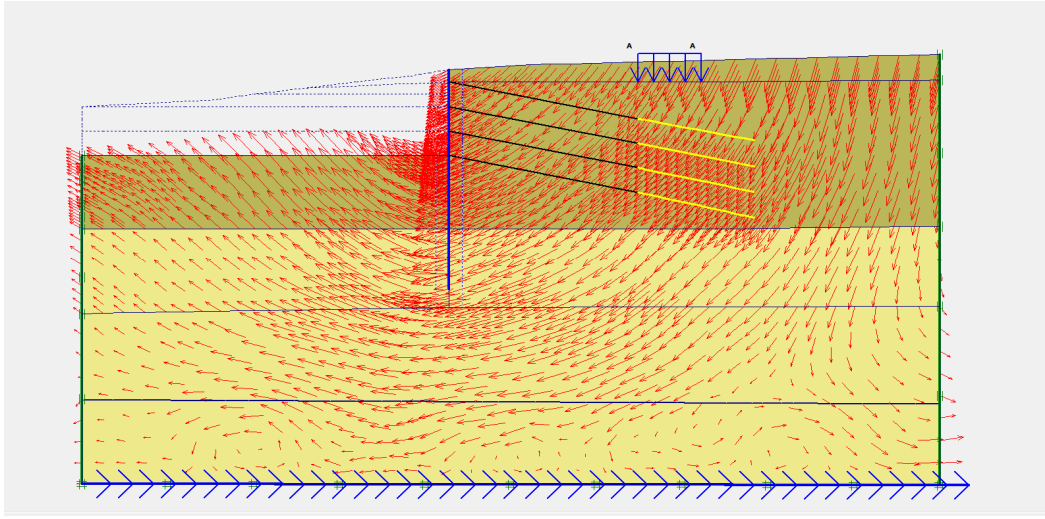
8.2.4. Düzce depremi

Moment büyüklüğü 7.2 ve $a_{maks} = 0,4g$ olan 1999 yılında Düzcede gerçekleşen deprem kayıtları kullanarak Plaxis programı ile dinamik analiz edilmiştir. Düzce depremine ait akselogram Şekil 8.30'de verilmektedir.



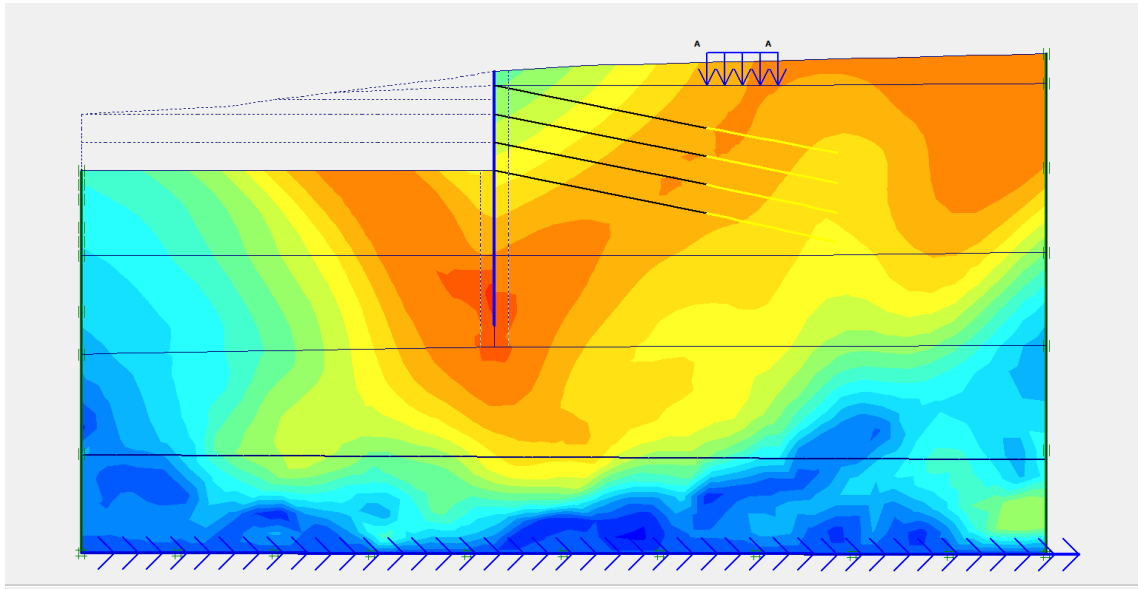
Şekil 8.30. Düzce depremine ait depremine ait akselogram.

Düzce depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.31 'da gösterilmiştir.



Şekil 8.31. Düzce Depremine Ait Deplasmanların Yönü(Plaxis).

Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 27,2 cm dir (Şekil 8.32).

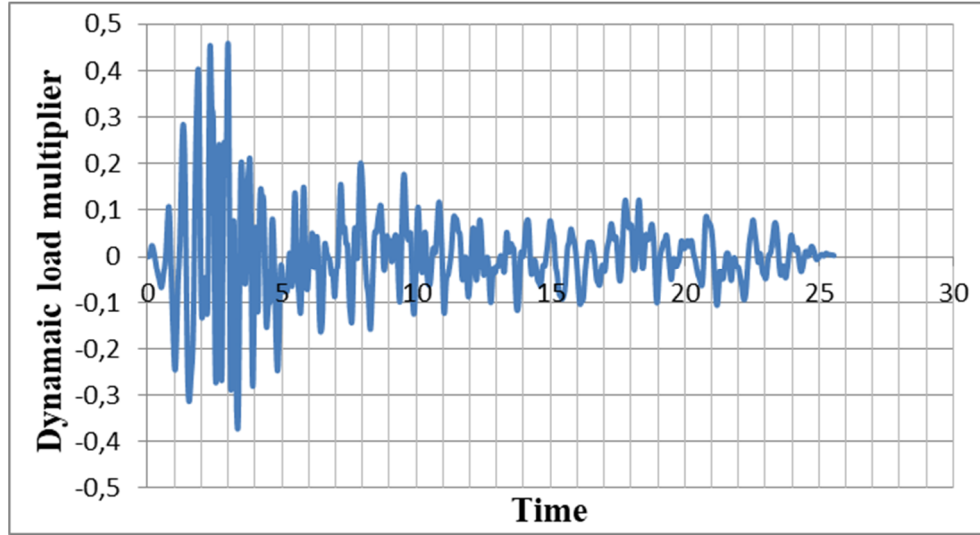


Şekil 8.32. Kazık ile ankaraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 27,2 cm) (Plaxis).

8.2.5. Kocaeli depremi

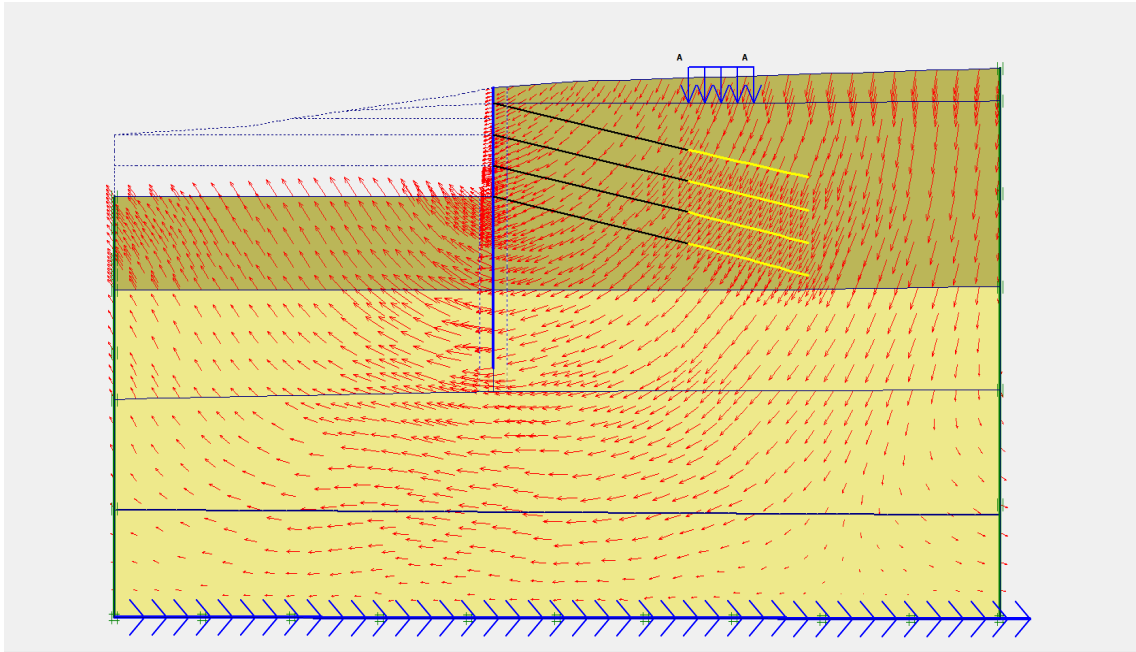
Kocaeli depremi Ağustos ayı içinde 1999 yılında Anadolu'da bulunan bir fay hattı üzerinde meydana gelmiştir. Kocaeli'de oluşan bu depremin insanların hem canını

hem malını kaybetmesine neden olmuştur (Özmen, 2000). Bu depremin maximum ivme değeri $a_{maks} = 0,46$ g dir. Akselogram Şekil 8.33.'de verilmektedir.



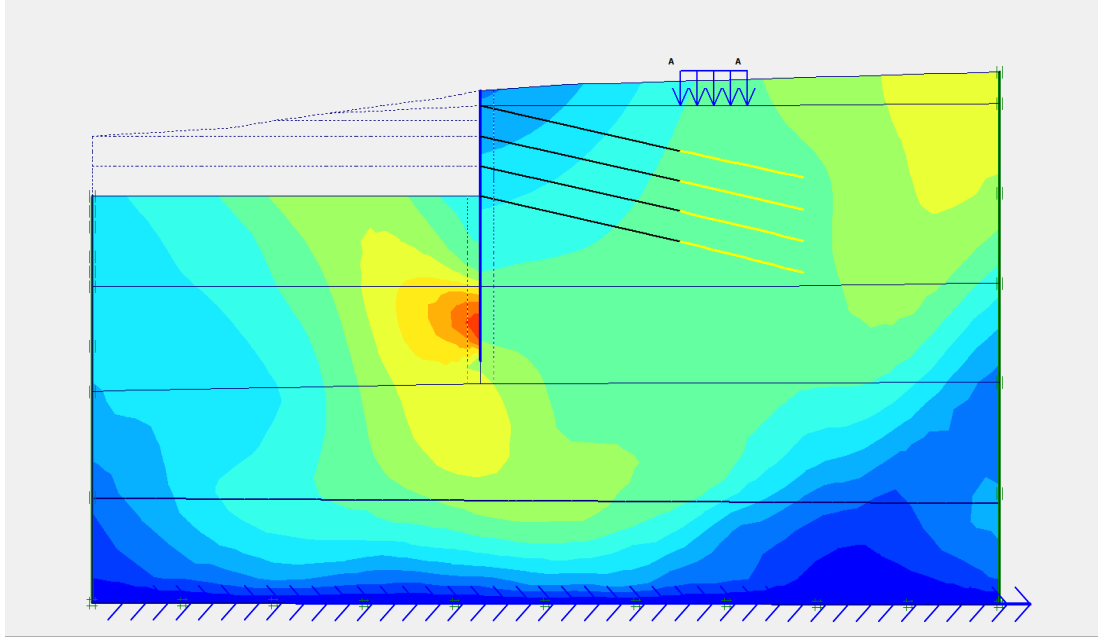
Şekil 8.33. Kocaeli depremine ait akselogram

Kocaeli depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.34'da gösterilmiştir.



Şekil 8.34. Kocaeli Depremine Ait Deplasmanların Yönü (Plaxis).

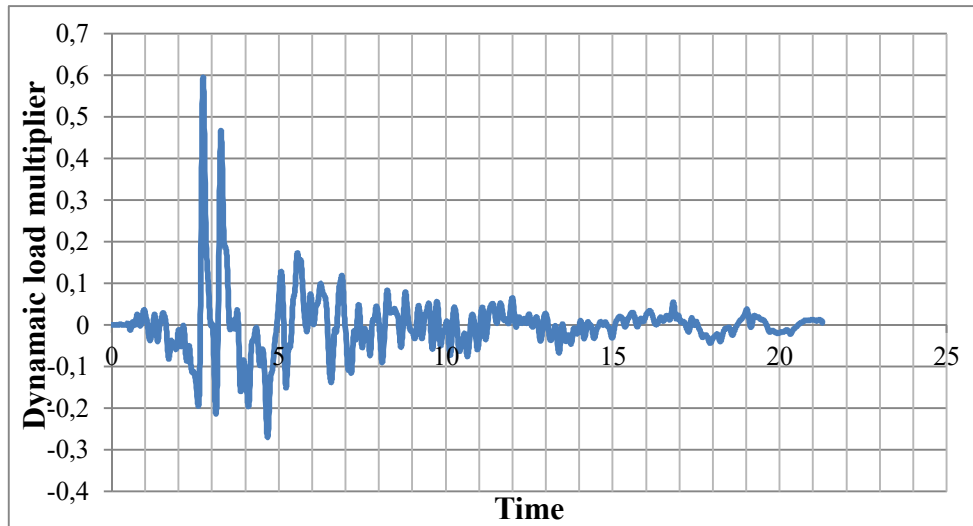
Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 32,1 cm dir (Şekil 8.35).



Şekil 8.35. Kazık ile ankaraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 32,1 cm) (Plaxis).

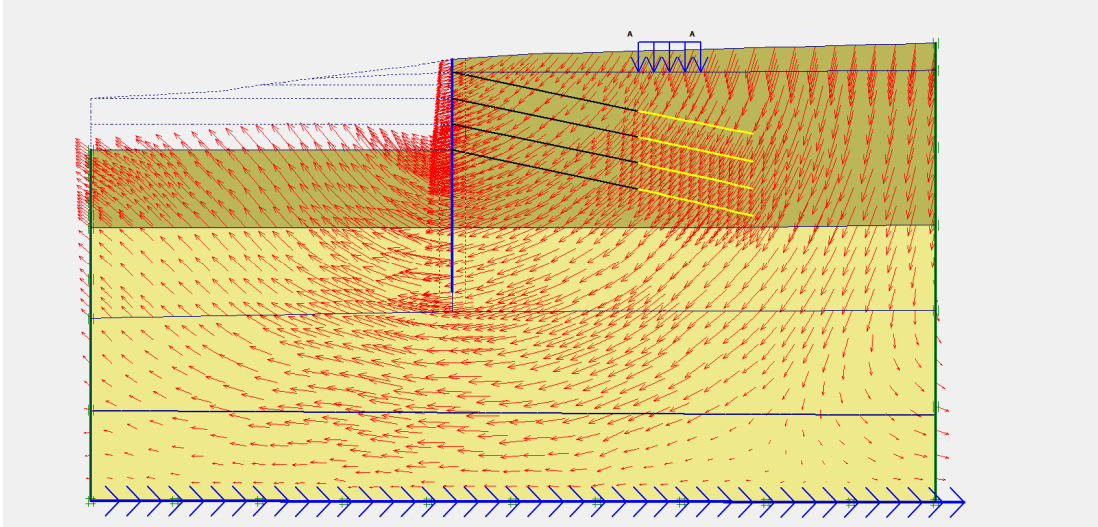
8.2.6. Erzincan depremi

1992 yılında Erzincan 'ın güneydoğusunda meydana gelen deprem kuzey anadolu fayı üzerinde meydana gelmiştir. İnsanlar yaşanan deprem sonucunda gerek maddi gerek manevi zararlara uğramışlardır. Bu depremin maximum ivme değeri $a_{maks} = 0,60$ g dir. Akselogram Şekil 8.36' de verilmektedir.



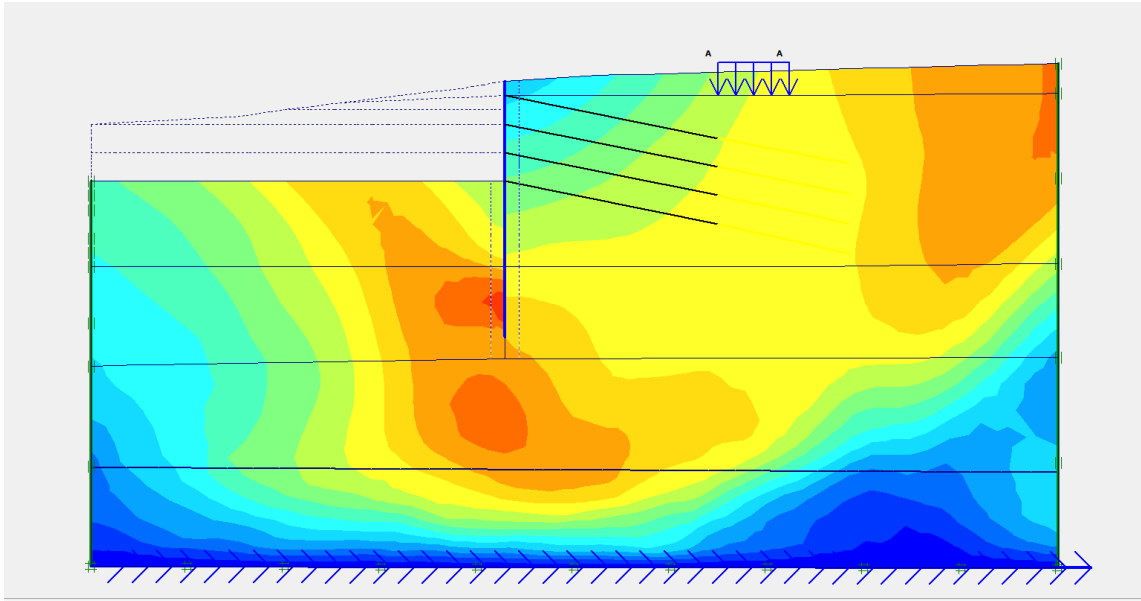
Şekil 8.36. Erzincan depremine ait akselogram.

Erzincan depremine ait toplam deplasmanların yönü Şekil 8.37 'da gösterilmiştir.



Şekil 8.37. Erzincan Depremine Ait Deplasmanların Yönü.

Yapılan dinamik analiz sonucunda oluşan deplasman 44 cm dir (Şekil 8.38).



Şekil 8.38. Kazık ile ankaraj uygulaması (dinamik analiz, deplasman 44 cm).

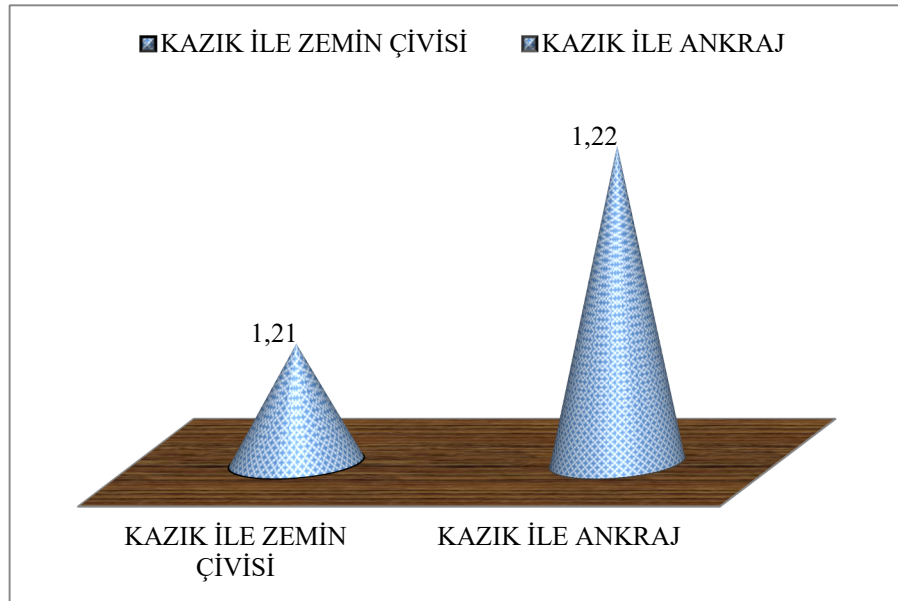
Kazık ile ankraj uygulaması dinamik analizler neticesinde elde edilen deplasmanların değerleri Çizelge 8.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 8.2. Kazık ile ankraj uygulamasından elde edilen deplasmanlar

Depremler	Kocaeli ($a_{\max}=0.46$ g)	Erzincan ($a_{\max}=0,60$ g)	Düzce ($a_{\max}=0.40$ g)	Victoria ($a_{\max}=0.43$ g)	Kobe ($a_{\max}=0.58$ g)	Yeni Zellanda ($a_{\max}=0.6$ 1g)
Deplasman (cm)	32,1	44	27.2	30,2	37,1	38,3

9. SONUÇLAR

Derin bir kazıda zeminler genelde kendini tutamayabilirler. Bu durumda kazı alanında güvenliği sağlamak amaçlı kazının desteklenmesi gerekir. Bu çalışmada Yalova ili merkez Bağlarbaşı Mahallesiinde yapılan 7 m lik kazıda zeminde mukavemet kaybı sonucu zeminin göçmemesi ve zeminde deformasyonun kabul edilebilir sınırlar içinde kalması için Plaxis programı ile analizler yapılmıştır. Analizler sırasında kazık ile zemin çivisi ve kazık ile ankraj uygulamaları kullanılarak deformasyonların ne kadar olacağı belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen statik durumdaki deplasmanlar kabul edilebilir sınırlar içinde kalmıştır. Statik durumda kazık ile zemin çivisi uygulaması sonucu oluşan deplasman miktarı 1.21 cm olarak bulunmuştur. Kazık ile ankrajın birlikte kullanıldığı statik durumda yapılan analiz sonucu ise oluşan deplasman miktarı 1,22 cm olarak hesaplanmıştır (Şekil 9.1).

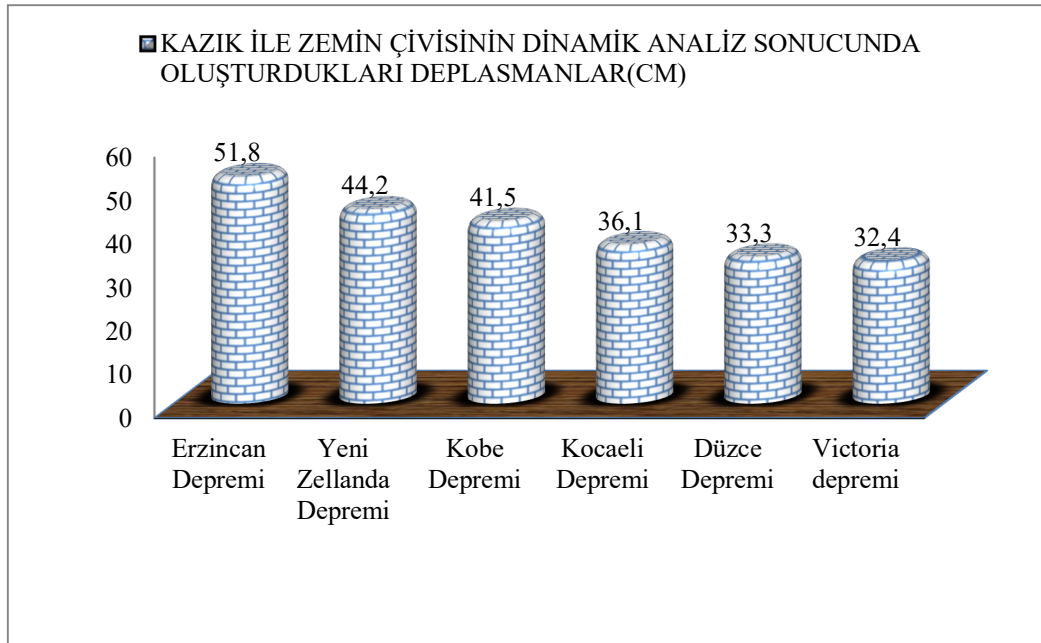


Şekil 9.1. Statik analiz sonucu oluşan deplasman miktarı değerleri

Çalışma alanında kazık ile zemin çivisi uygulaması için kullanılan dinamik analizler sonucunda oluşan deplasmanlar ;

- Düzce depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 33,3 cm olduğu saptanmıştır.

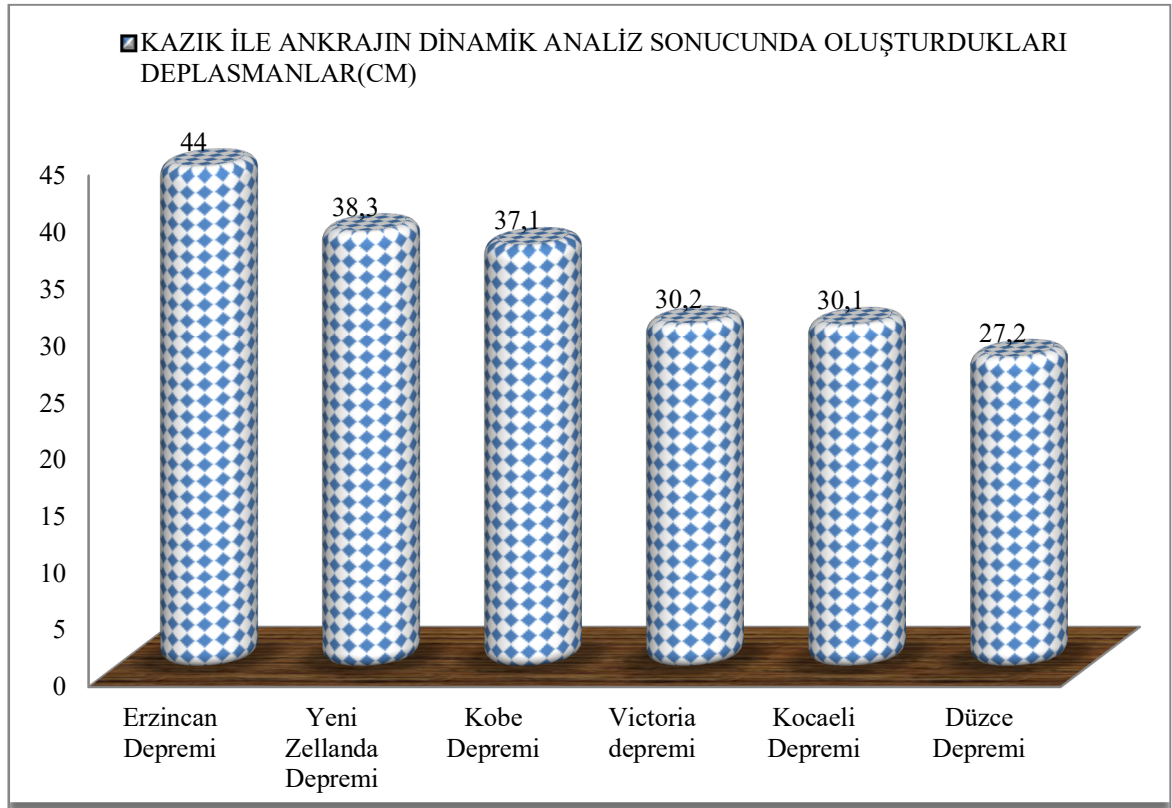
- Kocaeli depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 36,1 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Erzincan depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 51,8 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Victoria depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 34,4 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Kobe depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 41,5 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Yeni Zellanda depremi ivme kaydına göre kazık ile zemin çivisi birlikte kullanılarak oluşan deplasman 44,2 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur(Şekil 9.2).



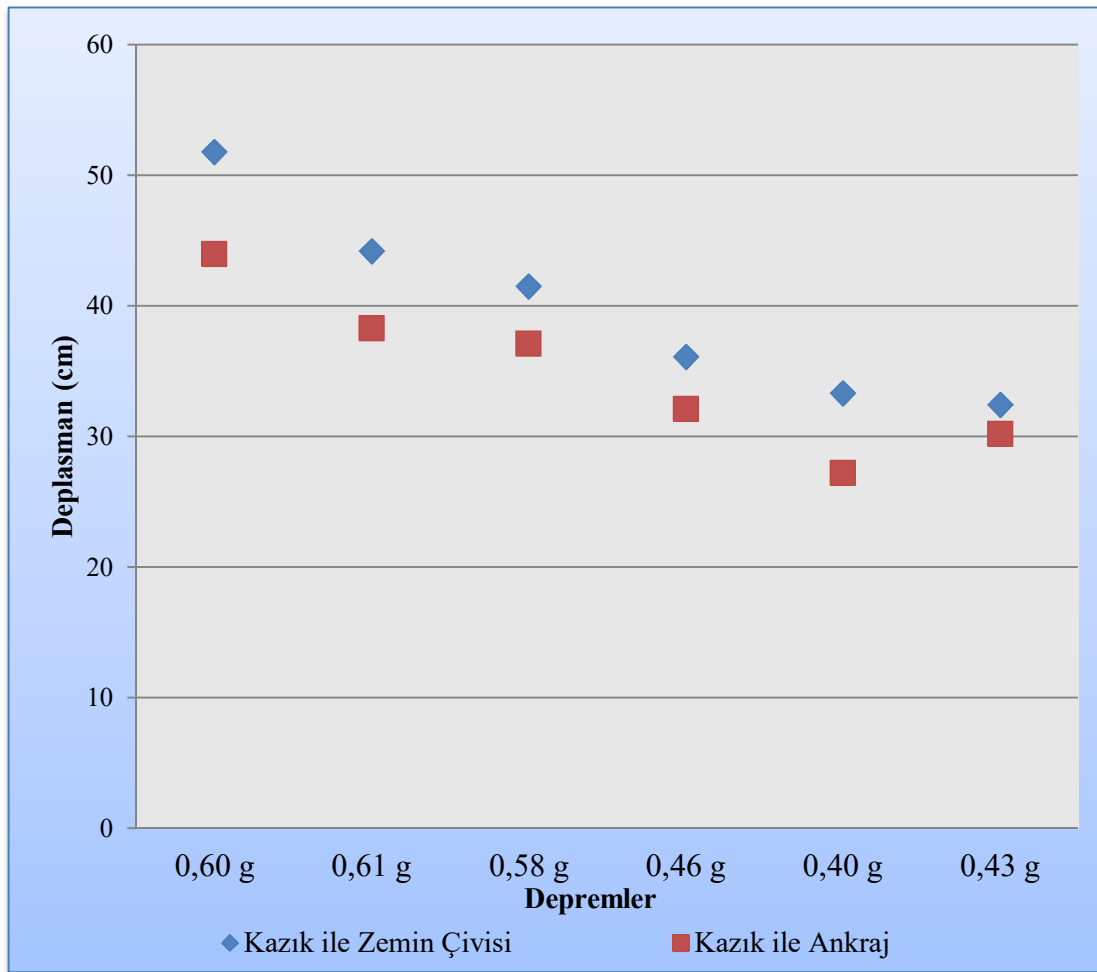
Şekil 9.2. Kazık ile zemin çivisi uygulamasında dinamik analizler sonucu oluşan deplasmanlar

- Victoria depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 30,2 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Yeni Zellanda depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 38,1 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Kobe depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 37,1 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.

- Düzce depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 27,2 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Kocaeli depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 32,1 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur.
- Erzincan depremi ivme kaydına göre kazık ile ankraj birlikte kullanılarak oluşan deplasman 44 cm olarak analiz sonucu bulunmuştur(Şekil 9.3).



Şekil 9.3. Kazık ile ankraj uygulamasında dinamik analizler sonucu oluşan deplasmanlar



Şekil 9.4. Kazık ile ankraj ve kazık ile zemin çivisi uygulamasının dinamik analizler sonucunda oluşan deplasmanların karşılaştırılması

Yalova İli Merkez İlçesi Bağlarbaşı Mahallesiindeki bu çalışma neticesinde statik ve dinamik analizler sonucu oluşan deplasmanların kazık ile zemin çivisinde daha büyük olduğu hesaplanmıştır. Kazık ile ankraj uygulamasında oluşan deplasmanların ise daha küçük olduğu hesaplanmıştır. Böylece deprem etkisine maruz kalan bölgelerde kazık ile ankrajın birlikte kullanılmasının daha güvenli olduğunu söylemek mümkündür(Şekil 9.4).

KAYNAKLAR

- Akgün, M., (2013). *Deprem - yapı - zemin soru ve cevaplar*. Ders Notları. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Altun, G., (2013), “ *Akraj ve Ankrajsız Derin Kazı İksa Sistemlerinin Sayısal Yöntemler ile Analizi*“,Yüksek Lisans Tezi,Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi,Eskişehir
- Başeski, O., (2008). *Derin Kazılarda İksa Sistemi Üzerine Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Berilgen, M., (1996). *Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi*, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bryne, R. J., Cotton, D., Poterfield, J., Ueblacker, G. ve Wolschlag C. (1998).*Manual for design and construction monitoring of soil nail wall*. United States Federal Highway Administration, FHWA-SA-96-069R,October.
- BS-8081, 1989, *British Standart Code of Practice for Ground Anchorages*, British Standart Institutation, London.
- Byrne, R. J., Cotton D., Porterfield J., Wolschlog C. Ve Ueblacher G., (1998), “*Manual For Design and Construction Monitoring of Soil Nail Wall (FHWA-SA-96-069R)*”, 1-268, Washington, USA.
- Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering, SI, Seventh Edition*. Cengage Learning.
- Erdiker, B., (2012) “*Zemin Çivili İksa Sistemlerinde Öngermeli Ankraj Kullanılması*“,Yüksek Lisan Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- FHWA0-IF-99-015, (1999). *Geotechnical Engineering Circular No:4 Ground Anchors and Anchored Systems*, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA.
- Georgidas, M., Anagnostopoulos, C., 1999. *Displacemet of Structures Adjacent to Cantilever Sheet Pile Walls, Soils and Foundations*, 39, pp 109-104
- Geotechnical Engineering Manual GEM-21, (2015). Design & Construction Guidelines for a Soil Nail Wall System, Revision 4, *State of New York Department of Transportation*, Geotechnical Engineering Bureau.
- Haşal, M. E., (2003), “ *Topografik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi*“, Doktora Tez İlerleme Raporu, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Hanna, T. H., (1983), *Foundaitons in Tension: Ground Anchors*, McGraw Hill, UK.
- Kaya Z, İrisawa T, Erken A, *Adapazarı Zeminlerinin Dinamik Davranışı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, 21-22 Ekim 2002, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Kanat, A., 1999, *Japonya'da Kobe Depremi Sonrasında Gaz Tesisatlarının Yeniden Devreye Alınmasında Gaz Dedektörlerinin Kullanımının Önemi ve Cosmos Gaz Dedektörleri*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İş Sağlığı ve Güvenliği Konferansı Bildiriler Kitabı, MMO Yayın, ISBN 975-395-357-7
- Koyunlu, K., (1996), *Tekil kazık davranışının lineer olmayan zemin modelinde incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye (1996)
- Kaya Y., “*Yapıların güçlendirilmesi uygulamalarında kullanılacak kısmi bağlı ankraj detayı ve yüzey temizliği koşulları altında ankrajların eksenel çekme davranışlarının incelenmesi*”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul (2007).
- Lotze D., Klingner R. E. and Graves H. L., “*Static behavior of anchors under combinations of tension and shear loading*”, ACI Structural Journal, 98(4): 525-536 (2001).
- Lazarte, C.A., Robinson, H., Gómez, J.E., Baxter, A., Cadden, A., & Berg, R., (2015). *Geotechnical Engineering Circular No:7*, Federal Highway Administration, Report no: FHWA-NHI-14-007.
- Lazarte, C.A., Elias, V., Espinoza, R.D., & Sabatini, P.J., (2003). *Geotechnical Engineering Circular No:7*, Federal Highway Administration, Report No: FHWA0-IF-03-017.
- Mylonakis, G., Nikolaou, S., and Gazetas, G., *Footings under seismic loading: Analysis and design issues with emphasis on bridge foundations*, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 26, 824-85, 2006.
- Medina, F., and Taylor, R.L., *Finite element techniques for problems of unbounded domains*, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 19, 1209–1226, 1983.
- Monitoring of an MSE/Soil Nail Hybrid Retaining Wall, *Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils and Geo-Support*, GSP No. 187, Reston, VA, 177-184.
- Ozbolt J., Eligehausen R., Periskis G. and Mayer U., “*3D FE analysis of anchor bolts with large embedment depths*”, *Engineering Fracture Mechanics*, 74: 168-178 (2006).
- Odbay, O., (1995). *Kazıklı temeller ve düşey yükler altında kazıklı temel sistemlerinin hesap ve analiz yöntemlerinin rasyonelleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- Özkan, M. T. ve Sağlamer, A. (1995). *Kazıklı Temeller*. *Dünya İnşaat*, 131(7), Sf. 35-38.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Özener, P. (2015). *Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı. Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul
- Özmen, B., 2000, 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), Deprem Raporu, Türkiye Deprem Vakfı, TDV/DR 010-53 Sy:6-9
- Özsu, E., Akçakal, Ö., Özbatır, M., & Durgunoğlu, T., (2009). Esnek İstinat Duvarlarında Yeni Bir Uygulama Terranail, 3. Ulusal Geoteknik Kongresi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Porterfield, J.A., Cotton, D.M., & Byrne, R.J., (1994). *Soil Nailing Field Inspectors Manual, Demonstration Project 103*, Report No. FHWSA- 93-068, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- Peier (1983), *tekil ankrajların çekme davranışını matematik model oluşturarak incelemiştir. Oluşturulan matematik modelde C25 ve C50 beton sınıflarında çalışılmış, hesaplanan yük taşıma kapasiteleri deneysel sonuçları ile karşılaştırılıp uyumlu olduğu gösterilmiştir.*
- Tschebotarioff, G. P., 1951. *Foundations, Retaining and Earth Structures*, McGraw-Hill, New York.
- Tan, Y. Paikowsky, S.G., 2008. *Performance of Sheet Pile Wall in Peat*, American Society of Civil Engineering, 134, pp 445-458.
- Toğrol, E., Tan, A. O. (2009). *Kazıklı Temeller*. Birsen Yayınevi, İstanbul.
- URL-1 <http://www.protransengineering.com.tr/> (Erişim Tarihi 05.04.2019)
- URL-2 <http://www.haywardbaker.com/solutions/techniques/soil-nailing> (Erişim Tarihi 06.04.2019)
- Uzuner, B.A., “*Temel Mühendisliğine Giriş*”, Derya Kitabevi, 187-219, Trabzon,2006.
- Yıldırım, S. (2009). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı* (3. Basım.), İstanbul
- Yalçinkaya, E. (2010). *Zemin neden bu kadar önemli*. Jeofizik Bülteni, 63, 77-80.
- Wood, T., Jayawickrama, P., & Lawson, W., (2009). *Instrumentation and Monitoring of an MSE/Soil Nail Hybrid Retaining Wall, Contemporary Topics in Ground Modification, Problem Soils and Geo-Support*, GSP No. 187, Reston, VA,

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gökhan ŞAHİN
Doğum Yeri ve Tarihi : MUŞ / 05.08.1990



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : NİĞDE ÜNİVERSİTESİ

İletişim

Adres : Merkez / YALOVA
E-Posta Adresi : gokhan77aslan@gmail.com

Akademik Çalışmaları

- Şahin, G., Yılmaz, G., Işık, N.S., Güler, E., (2019). Deprem Riski Altındaki Zeminlerin Dinamik Davranışının Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi: Bir Örnek. *Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi 26-28 Haziran, 2019.*

Tarih: 20/08/2019