

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN KAZILARDA GÖRÜLEN STABİLİTE
PROBLEMLERİ VE İLGİLİ ÇÖZÜM KRİTERLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Ali SAĞLAM

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ

Eylül 2006

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DERİN KAZILARDA GÖRÜLEN STABİLİTE
PROBLEMLERİ VE İLGİLİ ÇÖZÜM KRİTERLERİNİN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Ali SAĞLAM

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 11/09/2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı

Doç. Dr.
Zeki GÜNDÜZ

Üye

Prof. Dr.
Hasan ARMAN

Üye

Yrd. Doç. Dr.
Şefik RAMAZANOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bilgileriyle beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Zeki GÜNDÜZ'e, ayrıca bilgilerini paylaşan Prof. Dr. Hasan ARMAN'a en içten duygularıyla teşekkür ederim. Yine tez süresince benden hiçbir yardımı esirgemeyen arkadaşım Haydar ALPARSLAN'a teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanmasında her türlü maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme de sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
YANAL TOPRAK BASINÇLARI	4
2.1. Rankine Teorisi.....	4
2.1.1. Sukunet durumu (Elastik denge).....	5
2.1.2. Plastik denge durumu.....	6
2.1.2.1. Aktif durum (Aktif Rankine durumu).....	7
2.1.2.2. Pasif durum (Pasif Rankine durumu).....	8
2.2. Coulomb Kama Teorisi.....	11
2.3. Rankine Teorisi ile Coulomb Teorisinin Karşılaştırılması.....	14
2.4. Yer Altı Suyundan Meydana Gelen Basınçlar.....	14
2.5. Duvar Arkası Dolgusu Üzerinde İlave Yükler Bulunması Halinde Toprak Basınçları.....	15
2.6. Derin Kazı İksa Sistemlerine Etkiyen Toprak Basınçları.....	17
2.6.1. Kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınçları....	19

2.6.2. Kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basınçları.....	23
2.7. Deprem Durumunda Dayanma Yapılarına Gelen Toprak Basınçları.....	25
2.7.1. Toplam aktif ve pasif basınç katsayıları.....	25
2.7.2. Dinamik aktif ve pasif toprak basınçları.....	26
2.7.3. Tabakalı zemin durumunda dinamik toprak basınçları...	28
2.7.4. Zemin dayanma (istinat) yapılarına ilişkin koşullar.....	28
BÖLÜM 3.	
DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ HESAP YÖNTEMLERİ.....	29
3.1. Hesap Yöntemleri.....	29
3.1.1. Limit denge yöntemi.....	29
3.1.2. Elastik zemine oturan kiriş yöntemi.....	30
3.1.3. Pseudo-Sonlu elemanlar yöntemi.....	30
3.1.4. Sonlu elemanlar yöntemi.....	30
3.2. Stabilite Problemleri.....	37
3.2.1. Kazı çukurunda meydana gelen taban kabarması (Göçmesi).....	37
3.2.2. İksa sistemlerinde derin kayma dairesi analizi (Toptan göçme analizi).....	39
3.2.2.1. Şev stabilite analizleri.....	40
3.3. EUROCODE-7'ye (EC-7) Göre Tasarım Esasları	42
BÖLÜM 4.	
DERİN KAZILARDA KULLANILAN İKSA SİSTEMLERİ.....	46
4.1. Asker Kazıklar ve Kaplama Duvarlar.....	49
4.2. Palplanş Duvarlar.....	51
4.2.1. Ahşap palplanşlar.....	54
4.2.2. Betonarme palplanşlar.....	54
4.2.3. Çelik palplanşlar.....	55
4.3. Kazıklı Duvarlar.....	57

4.3.1. Aralıklı kazıkla oluşturulan perde.....	57
4.3.2. Kesişen kazıkla oluşturulan perde.....	57
4.3.3. Enjeksiyonlu teğet kazık perde.....	58
4.3.4. Bindirmeli kazıklı perde.....	58
4.4. Diyafram Duvarlar.....	63
4.5. Kuyu Tipi Betonarme Perde Duvarlar.....	70
4.6. Kazıların Desteklenmesinde Yeni Yöntemler.....	71
4.6.1. Zemin çivilemesi yöntemi.....	71
4.6.2. Püskürtme beton yöntemi.....	72
4.6.3. Zemin dondurma yöntemi.....	74

BÖLÜM 5.

DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ DESTEK ELEMANLARI.....	76
5.1. Ankrajlar.....	76
5.1.1. Ankraj tipleri.....	78
5.1.1.1. A tipi ankrajlar.....	78
5.1.1.2. B tipi ankrajlar.....	78
5.1.1.3. C tipi ankrajlar.....	78
5.1.1.4. D tipi ankrajlar.....	79
5.1.2. Ankranjın kısımları.....	79
5.1.2.1. Ankaraj kafası.....	80
5.1.2.2. Serbest ankraj uzunluğu.....	81
5.1.2.3. Ankraj kökü.....	82
5.1.3. Ankrajların Uygulanması.....	83
5.1.3.1. Ankraj deliğinin açılması.....	83
5.1.3.2. Ankraj demetinin yerleştirilmesi.....	84
5.1.3.3. Enjeksiyon yapılması.....	85
5.1.3.4. Öngerme yapılması.....	86
5.1.4. Ankrajların taşıma gücü ve hesabı.....	86

5.1.4.1. Kayada ankraj taşıma gücü.....	87
5.1.4.2. Kohenyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücü.....	87
5.1.4.3. Kohenyonlu zeminlerde ankraj taşıma gücü.....	88
5.1.5. Ankrajlı İksa sistemlerinin stabilite tahkikleri.....	89
5.1.6. Ankrajların korozyona karşı korunması.....	89
5.2. Zemin Çivileri.....	91
5.2.1. Zemin çivilerinin kapasitesi.....	93
5.2.2. Avantaj ve dezavantajları.....	94
BÖLÜM 6.	
DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ İÇİN GENEL KRİTERLER.....	96
6.1. Zemin Etütleri (Geoteknik Rapor).....	96
6.2. Kazı Çevresinin İncelenmesi.....	98
6.3. İksa Projesi.....	99
6.4. Stabilite Tahkikleri.....	100
6.5. Aletsel Gözlem.....	100
6.6. Hukuki Sorunlar.....	102
BÖLÜM 7.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	104
KAYNAKLAR.....	108
EKLER.....	111
ÖZGEÇMİŞ.....	118

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

- A_o : Etkin yer ivmesi katsayısı
 AKO : Aşırı konsolidasyon oranı
 B : Kazı genişliği
 C_h : Toprak basıncının hesabında kullanılan yatay eşdeğer deprem katsayısı
 c : Kohezyon
 C_v : Toprak basıncının hesabında kullanılan düşey eşdeğer deprem katsayısı
 G_s : Güvenlik sayısı
 H : Yükseklik (Derinlik)
 I : Bina Önem katsayısı
 K_o : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
 K_a : Aktif toprak basınç katsayısı
 K_p : Aktif toprak basınç katsayısı
 K_{as} : Statik aktif basınç katsayısı
 K_{ad} : Dinamik aktif basınç katsayısı
 K_{at} : Toplam aktif basınç katsayısı
 K_{ps} : Statik pasif basınç katsayısı
 K_{pd} : Dinamik pasif basınç katsayısı
 K_{pt} : Toplam pasif basınç katsayısı
 N_c : Taşıma gücü faktörü
 P_{ad} : Zemin kütesinden oluşan dinamik aktif basınç kuvvetinin bileşkesi
 P_{pd} : Zemin kütesinden oluşan dinamik pasif basınç kuvvetinin bileşkesi
 $p_{ad}(z)$: Zemin kütesinden oluşan dinamik pasif basıncın derinliğe göre değişim fonksiyonu
 $p_v(z)$: Düşey toprak basıncının derinliğe göre değişim fonksiyonu

- T_f : Ankrajın nihai taşıma gücü kapasitesi
 Q_{ad} : Düzgün yayılı dış yükten oluşan dinamik aktif basınç kuvvetinin bileşkesi
 Q_{pd} : Düzgün yayılı dış yükten oluşan dinamik pasif basınç kuvvetinin bileşkesi
 $q_{ad}(z)$: Düzgün yayılı dış yükten oluşan dinamik pasif basıncın derinliğe göre değişim fonksiyonu
 $q_{pd}(z)$: Düzgün yayılı dış yükten oluşan dinamik pasif basıncın derinliğe göre değişim fonksiyonu
 q : İlave yük
 q_0 : Düzgün yayılı dış yükün genliği
 R_{za} : Zemin dayanma (istinat) duvarlarında kesit hesabına esas dinamik iç kuvvetlerin elde edilmesi için kullanılan azaltma katsayısı
 z : Zemin serbest yüzeyinden itibaren aşağıya doğru ölçülen derinlik
 z_{cd} : Aktif veya pasif basınç kuvvetinin bileşkesinin zemin üst yüzeyinden itibaren aşağıya doğru ölçülen derinliği
 α : Duvar-zemin arakesitinin düşeyle aktif veya pasif basınç tarafına doğru yaptığı açı
 β, i : Dayanma yapısını arkasındaki zeminin yatayla yaptığı açı
 ϵ_{yatay} : Yatay hareket
 δ : Zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı
 ϕ : Zeminin içsel sürtünme açısı
 \emptyset : Ankraj veya kazık çapı
 γ : Zeminin kuru birim hacim ağırlığı
 γ' : Zeminin batık birim hacim ağırlığı
 γ_s : Zeminin suya doymuş birim hacim ağırlığı
 λ : Toplam aktif ve pasif basınç katsayılarının hesabında eşdeğer deprem katsayılarına bağlı olarak hesaplanan açı
 σ_a : Aktif yanal zemin gerilmesi
 σ_p : Pasif yanal zemin gerilmesi
 σ_d : Düşey gerilme

- σ_y, σ_h : Yatay gerilme
 σ_o : Sükunet durumunda yatay gerilme
 σ_{su} : Suyun yanal basıncı
 σ'_v : Efektif gerilme
 τ_f : Kayma mukavemeti
 τ_{ult} : Nihai bağ ve çevre sürtünmesi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İki boyutlu koşullarda, z derinliğinde bir eleman.....	5
Şekil 2.2. Aktif Rankine Durumu.....	7
Şekil 2.3. Dayanma duvarı arkasında aktif durum oluşturulması ve aktif yanal zemin basınç dağılışı (Kohezyonsuz zemin).....	8
Şekil 2.4. Pasif Rankine Durumu.....	8
Şekil 2.5. Dayanma duvarı arkasında pasif durum oluşturulması ve pasif yanal zemin basınç dağılışı (Kohezyonsuz zemin).....	9
Şekil 2.6. Genel bir zeminde aktif ve pasif durumlar.....	9
Şekil 2.7. Kohezyonlu bir zeminde aktif yanal basınçlarının dağılımı.....	10
Şekil 2.8. Kohezyonlu zeminlerde kaplamasız derinlik.....	10
Şekil 2.9. Kohezyonlu bir zeminde pasif yanal basınçlar.....	11
Şekil 2.10. Kohezyonsuz zeminde Coulomb Kama Teorisi(Aktif Durum).....	12
Şekil 2.11. Kohezyonsuz zeminde Coulomb Kama Teorisi(PasifDurum).....	13
Şekil 2.12. Tek zemin + yer altı suyu durumu.....	14
Şekil 2.13 Çizgisel yükün duvara etkisi.....	15
Şekil 2.14 Şerit yükün duvara etkisi.....	17
Şekil 2.15. Farklı duvar hareketleri için toprak basıncı dağılımları.....	17
Şekil 2.16. Çok sıra ankrajlı bir duvarda toprak basıncı dağılımı.....	19
Şekil 2.17. Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınçları.....	20
Şekil 2.18. Tschebotarioff tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınçları.....	20
Şekil 2.19. Lehmann tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak toprak basıncı dağılımı.....	21

Şekil 2.20. İsveç Yapı Standardı tarafından düşük relatif sıklıklı (a) ve yüksek relatif sıklıklı (b) kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı.....	22
Şekil 2.21. İsviçre Zemin Ankrajlan Standartı Tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımları.....	20
Şekil 2.22. Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımları.....	22
Şekil 2.23. Tschebotarioff tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımları.....	23
Şekil 3.1. Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri; Model London Clay ile hesaplanan.....	24
Şekil 3.2. Texas A & M Üniversitesinde inşa edilen bir duvarın sonlu eleman analizinin sonuçlar.....	32
Şekil 3.3. Skempton tarafından verilen N_c eğrileri.....	33
Şekil 3.4. Derin kazılarda karşılaşılan stabilite problemleri.....	38
Şekil 4.1. Kazıdan dolayı oluşan gerilme boşalması.....	41
Şekil 4.2. Destekli duvarlar.....	46
Şekil 4.3. Diyagonal destekler.....	47
Şekil 4.4. Asker kazıklı ve kaplamalı duvar.....	48
Şekil 4.5. Palplanş duvar inşası.....	50
Şekil 4.6. Ankraj detayı.....	52
Şekil 4.7. Palplanş duvar çeşitleri.....	53
Şekil 4.8. Ahşap palplanş Tipleri.....	53
Şekil 4.9. Çelik Palplanşlar.....	54
Şekil 4.10. Kademeli kazı işlemi.....	55
Şekil 4.11. Kazıklı perdelerin inşası.....	56
Şekil 4.12. Bazı kazık duvar konfigürasyonları.....	58
Şekil 4.13. Ankrajlı kazıklı duvar.....	60
Şekil 4.14. Fore kazık imalatı yapım aşamaları.....	61
Şekil 4.15. Diyafram duvar inşaatı için bulamaç metodu.....	63
	65

Şekil 4.16. Zemin çimento karışımı duvar (SMW) inşa etmek için yeni bir metot (SSC Teknolojisi).....	66
Şekil 4.17. Keson yöntemiyle inşaya bir örnek.....	69
Şekil 4.18. Kuyu tipi betonarme perde duvar.....	70
Şekil 4.19. Zemin çivileme yöntemi yapım aşamaları.....	72
Şekil 4.20. Dondurma şematik gösterimi.....	75
Şekil 4.21. Hareketli yer altı suyunun donmaya etkisi.....	75
Şekil 5.1. Temel ankraj tipleri.....	79
Şekil 5.2. Tipik bir geçici Ankraj.....	80
Şekil 5.3. Ankraj Kafası.....	81
Şekil 5.4. Ankraj Uygulaması.....	83
Şekil 5.5. Tendon Kılıf Borusu.....	85
Şekil 5.6. D tipi ankraj kök bölgesi.....	88
Şekil 5.7. Birinci sıra ankrajda kök yerinin bulunması..	90
Şekil 5.8. Kama metodu ile ankraj uzunluklarının belirlenmesi	90
Şekil 5.9. Zemin çivisi.....	91
Şekil 5.10. Ankraj ve zemin çivilerinde çalışma prensibi.....	92
Şekil 6.1. İnklinometre cihazı.....	101
Şekil 6.2. Ekstensometre cihazı.....	102

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Zemin cinsine göre tipik K_0 değerleri.....	6
Tablo 3.1. Analiz yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları (Gaba, A.R. vb.)...	34
Tablo 3.2. Kısmi güvenlik sayıları (EC-7 Tablo 2.1).....	44
Tablo 3.3. Sürşarj yüklerine uygulanacak güvenlik faktörleri.....	44
Tablo 5.1. Ankrajlar için minimum güvenlik değerleri.....	77

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Derin kazılar, Yanal zemin basınçları, İksa sistemleri

Bu çalışmada; derin kazı iksa sistemlerinin stabilitesini bozan yanal toprak basınçları ve bu basınçlardan doğacak tesirlerin hesap yöntemleri ile iksa sistemlerinin uygulama kriterleri anlatılmıştır. Ayrıca derin kazılarda dikkat edilmesi gereken genel kriterler vurgulanmıştır. Sonuç kısmında tez özetlenerek ülkemizde yapılacak bir derin kazı teknik şartnamesinde olması önerilen konular başlıklar halinde verilmiştir. Ek kısmında ise çeşitli derin kazı iksa sistemlerinin resimleri sunulmuştur.

STABILITY PROBLEMS OF DEEP EXCAVATIONS AND DETERMINATING SOLUTION CRITERIA

SUMMARY

Keywords: Deep Excavations, Lateral earth pressures, Retaining systems

In this study; lateral earth pressures which destroying stability problems at deep excavations, calculating methods of effect getting by this pressures, and applying criteria of retaining systems are explained. Also, it is stressed that general criteria which take care of in deep excavations. In the last part, thesis is summarised and proposed subject planned to prepare in regulation of deep excavation in our country was given with titles. Pictures of various type of deep excavation retaining systems was given at the addition part.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Teknolojinin hızla gelişmesi inşaat sektöründe de büyük gelişmeleri beraberinde getirmiştir. Eski uygarlıklar zamanında hayal bile edilemeyen birçok yapının inşası artık günümüz teknolojisi yardımıyla kolay ve hızlı bir şekilde yapılabilmektedir. Büyük açıklıklı köprüler, yüksek yapılar, metrolar, yer altı yapıları bunlara örnek gösterilebilir. Tüm bu yapıların bir arakesitinin zemine oturacağı aşıkardır. Bu yapıların yapılmasında derin kazılara ihtiyaç duyulabilir.

Ayrıca günümüzde kent nüfusunun hızla artması alt yapı hizmetlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır. Boş parsellerin giderek azalması, imar yönetmeliklerinin yapı hacimlerini sınırlaması nedeniyle mevcut arazilerin daha verimli kullanılma zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Bu amaçla yapılan inşaatlarda derin kazı yapılması zorunlu hale gelmiştir. Yine metro ve kavşak inşaatları için derin kazı çukurları açılmaktadır.

Terzaghi ve Peck (1967) ve Tomlinson (1987) ; derin kazı olarak isimlendirilebilecek kazıları 6 metreden daha derin olan kazılar olarak tarif etmişlerdir.

Bodrumlu binaların 3 metre de olsa; 30 metre de olsa, inşaatı için yapılacak her türlü kazı derin kazı olarak tarif edilebilir. Özellikle bitişik nizamda 2-3 hatta 20 katlı bina olması durumunda, bu yapının altında 3 metre veya daha fazla kazı yapılacak olursa bu da bir derin kazı olarak tarif edilebilir [1].

Bitişik nizamdaki ve kötü zemin koşullarında yapılacak 6-7 metrelik bir derin kazı, boş bir arazide iyi zemin koşullarında yapılacak çok daha derin bir kazıdan daha tehlikeli olabilir.

Mühendislik tarihinde, derin kazıların desteklenmesinde uygulanan en eski yöntem, çift sıra banbu kazıklarla oluşturulan dairesel batardolar içerisindeki köprü ayaklarının inşa edilmesidir. Ahşap kazıkların kullanılması 20. yüzyıla kadar devam etmiş ve bu tarihten sonra yerini çelik palplanşlara ve çelik kazıklara bırakmıştır. 1950'li yıllardan sonra ise yerinde dökme beton perdeler yapılmaya başlanmıştır [16].

Daha sonraki yıllarda, kullanılan duvarların ankrajlarla geriye bağlanması, küçük kesitlerle toprak itkilerinin karşılanmasını sağlamıştır. İlk ankraj uygulamaları 1918 yılında Polonya'da ve 1926 yılında Çekoslovakya'da uygulanmıştır.

Derin kazılar temel zeminini ve yer altı suyunun denge durumlarını değiştirmekte ve mevcut komşu yapıları ve çevreyi önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle derin kazı yapılırken tüm kriterler dikkatlice incelenmelidir.

Literatürde yapılan çalışmalar derin kazıların performansının birçok etmene bağlı olduğunu göstermiştir. Zemin etütlerinin sıhhatli yapılması en önemli etkidir. Zemin etütleriyle bulunan zemin parametreleri yapılan hesapları doğrudan etkileyeceği için; bu parametrelerin zemini temsil etmesi çok önemlidir. Swanson P.G. ve Larson T.W. bir metro projesinde meydana gelen göçmeyi incelemişler ve göçmenin drenajsız kayma mukavemetinin, hesaplara olduğundan daha fazla katılmasından dolayı meydana geldiğini bulmuşlardır. Çevre etkilerinin de kazının kalitesine etkisi araştırılmalıdır. Steiner W. derin kazılarda kullanılan kamyon vinçlerinden dolayı kazı yakınlarında büyük sürşarj yüklerinin oluştuğunu, bu yüklerin ankraj yüklerini artırdığını gözlemlemişlerdir. Fino R.J. yumuşak killi bir derin kazıda zemin hareketlerini incelemiş ve hareketleri hesaplarken, zemindeki gerilmeleri değiştirebilecek inşaat aktivitelerinin de dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Bono N.A. ve Liu T.K. ise bir diyafram duvar inşaatında sıcaklığın etkisini incelemişler ve sıcaklık değişikliklerinin yatay destek yüklerinde bazı aşırı gerilmelere sebep olduğunu söylemişlerdir. Whittle ve arkadaşları inceledikleri bir kazıda çevre sıcaklığındaki 25 °C'lik bir artışın diyafram duvarın tepe kısmında dışarıya doğru 5-10 mm civarında harekete sebep olduğunu gözlemlemişlerdir.

Seçilen iksa sisteminin de kazı kalitesi üzerinde etkisi vardır. Wong K.S. ve Broms B.B. sonlu eleman metodu kullanarak bir araştırma yapmışlar; duvar rijitliğinin ve yanal destekler arasındaki mesafenin stabilite için önemli olduğunu ortaya koymuşlardır. Goh A.T.C yumuşak kildeki destekli kazıda taban stabilitesini incelemiş, duvar rijitliğini artırmanın, taban kabarmasına karşı olan güvenlik faktörünü biraz artırdığını ortaya koymuştur.

Derin kazıların dengesini bozan ve stabilite problemlerini ortaya çıkaran en önemli faktör yanal zemin basınçlarıdır. Bu nedenle yanal zemin basınçlarının doğru hesaplanması gerekir. Derin kazılarda görülen diğer stabilite problemleri taban kabarması ve toptan göçme durumudur. Ayrıca sıcaklık değişiklikleri, kazı etrafındaki sürşarj yükleri, yer altı suyu gibi çevresel etkiler ile iksa sistemi elemanlarında oluşan sünme ve rötre etkileri, parazit gerilme ve deformasyonların oluşmasına neden olabilir.

Kazı civarındaki zemin deformasyonları mevcut binalara, yollara ve diğer yapılara zarar verebilir. Oluşacak hasarın boyutu, kazı etrafındaki hareketlerin büyüklüğüne bağlıdır. Bu nedenle zemin hareketlerini sınırlandıracak optimum iksa sisteminin seçimi büyük önem taşımaktadır. İksa sisteminin tasarım ve uygulama kriterlerinin doğru seçilmesi derin kazı performansının istenen düzeyde gerçekleşmesini sağlayacaktır. Ülkemizde derin kazılara ait kriterleri veren bir teknik şartname mevcut değildir. Böyle bir teknik şartnamenin hazırlanması, derin kazı projelerinin sistemli ve hatalardan uzak bir şekilde tasarlanmasına büyük katkı sağlayacaktır.

Bu tezde; derin kazılarda görülen stabilite problemleri incelenerek, derin kazı iksa sistemlerinin projelendirilmesinde ve uygulanmasında dikkat edilmesi gereken kriterler açıklanmıştır. Ayrıca bir derin kazı teknik şartnamesi oluşturulması durumunda, şartnamede bulunması önerilen konular başlıklar halinde verilmiştir.

BÖLÜM 2. YANAL TOPRAK BASINÇLARI

Dayanma yapılarında meydana gelen en büyük stabilite problemi yanal zemin basınçlarından doğar. Zemini farklı iki düzeyde tutan ve yanal zemin basınçlarının etkisinde olan dayanma yapılarının vb. hesaplanması (boyutlandırılması, projelendirilmesi) için onlara gelen yanal zemin basınçlarının bilinmesi gerekir.

İstinat yapılarına etkiyen toprak basınçlarının hesaplanmasında, plastisite teorisinden hareket eden Rankine teorisi, Coulomb tarafından kurulan ve daha sonraları geliştirilen Kama Teorisi kullanılmaktadır. Ayrıca ilave yüklerden doğan yanal toprak basınçlarının hesaplanmasında, elastisite teorisinden istifade olunan formüllerde mevcuttur. Arkasında zemin tutan bir perde (istinat yapısı arka yüzü) topraktan ileriye yeter miktarda hareket ederse Aktif Toprak Basıncı; perde toprağa doğru yeter miktarda hareket ederse Pasif Toprak Basıncı doğar. Perdenin hareket etmemesi halinde doğacak basınca Sükunetteki Toprak Basıncı adı verilir [3].

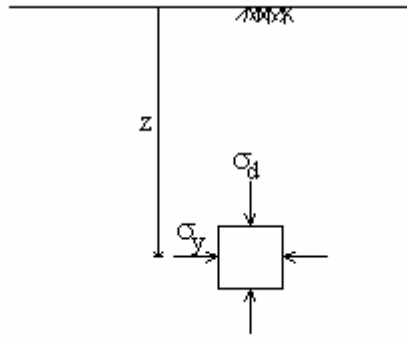
2.1. Rankine Teorisi

Kohezyonsuz zeminler için önerilen Rankine Teorisi, daha sonraları kohezyonlu zemin ve diğer durumlar için genelleştirilmiştir. Rankine Teorisi, bir zemin ortamda, zemin ortamın plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alır. Zemin ortamın her noktasında kırılma varsa, böyle bir duruma, plastik denge denilir. Rankine durumunda yanal zemin basınçları düşey yüzlü duvar arkasına yatay olarak etkir. Diğer bir deyişle, Rankine Teorisinde duvar arkası ile zemin arasında bir sürtünmenin olmadığı, duvar arka yüzünün pürüzsüz olduğu kabul edilir. Bu kabul, yanal zemin basınçlarının hesaplanmasını son derece kolaylaştırırken, gerçekte duvar

arkası ile zemin arasında bir miktar sürtünme vardır. Rankine aşağıdaki kabulleri yapmıştır,

- Duvarla zemin ortamda bir sürtünme yoktur.
- Duvar düşeydir.
- Kayma yüzeyi duvarı kesmez.

İki boyutlu koşullarda, yarım sonsuz ortamda, z derinliğinde bir elemanı düşünelim.



Şekil 2.1 İki boyutlu koşullarda, z derinliğinde bir eleman

Böyle bir elemanda, yatay ve düşey yüzeylerde kayma gerilmeleri sıfır olup, elemana asal gerilmeler etmektedir. Yarım sonsuz ortamda teorik olarak iki farklı durum olabilir.

2.1.1. Sükunet durumu (Elastik denge)

Zemin ortamda herhangi bir deformasyonun olmadığı doğal duruma sükunet durumu denir. Sükunet durumunda yatay (yanal) gerilme, aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$\sigma_0 = \sigma_y = K_o \sigma_d$$

Burada;

σ_0 : Sükunet durumunda yatay (yanal) gerilme

σ_y : Yatay gerilme

σ_d : Düşey gerilme

K_o : Bir sabit olup, sükunetteki toprak basıncı katsayısı adını alır.

K_o için bazı öneriler verilmiştir [2].

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

$$K_o = 1 - \sin \phi$$

Burada;

ν : zeminin poisson oranı

ϕ : sürtünme açısıdır.

Ayrıca aşırı konsolide killerde bu değer aşırı konsolidasyon oranına (AKO) bağlı olarak;

$$K_o = (1 - \sin \phi) \sqrt{AKO}$$

şeklinde verilmektedir. Aşırı konsolide killerde K_o değerinin 1 üzerine çıkabildiği ölçülmüştür [3].

Tablo 2.1 de zemin cinslerine göre kabul edilebilecek K_o değerleri verilmiştir.

Tablo 2.1 Zemin cinsine göre tipik K_o değerleri [2]

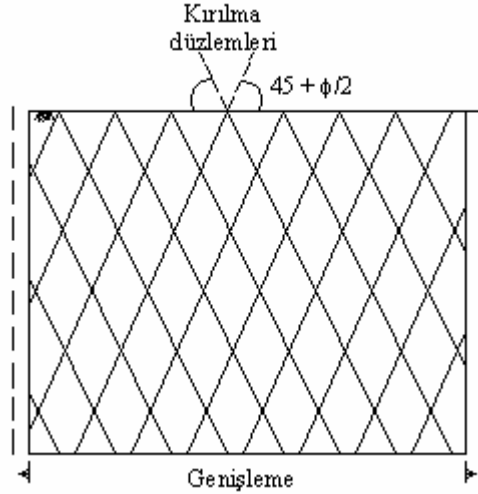
Zemin cinsi	K_o
Gevşek kum	0.4
Sıkı kum	0.6
Yumuşak kil	0.6
Sert Kil	0.5

2.1.2. Plastik denge durumu

Yarım sonsuz ortamda plastik durum elde etmek için, zemin ortamın yanıl deformasyona (sıkışma ve genleşme) tabi tutulması gerekir. Aşağıda kohezyonsuz zeminler için Rankine Teorisi açıklanmaktadır.

2.1.2.1. Aktif durum (Aktif Rankine durumu)

Eğer yarım sonsuz ortam, yanal bir genişlemeye tabi tutulursa zeminde aktif durum meydana gelir. Şekil 2.2 de aktif durumdaki kırılma düzlemi görülmektedir.



Şekil 2.2 Aktif Rankine Durumu

Aktif durumda elemana etkiyen düşey gerilme ($\sigma_d = \gamma_n \cdot z$) sabit kalırken, yatay gerilmenin değeri azalarak, sabit bir değere varır. ($\sigma_y = \sigma_a$). Bu durumda, zemin ortam, yatayla $45^\circ + \phi/2$ lik açılar yapan düzlemler boyunca kırılır. Aktif durumda, düşey ve yatay gerilmeler arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\sigma_a = K_a \sigma_d = K_a \gamma_n z$$

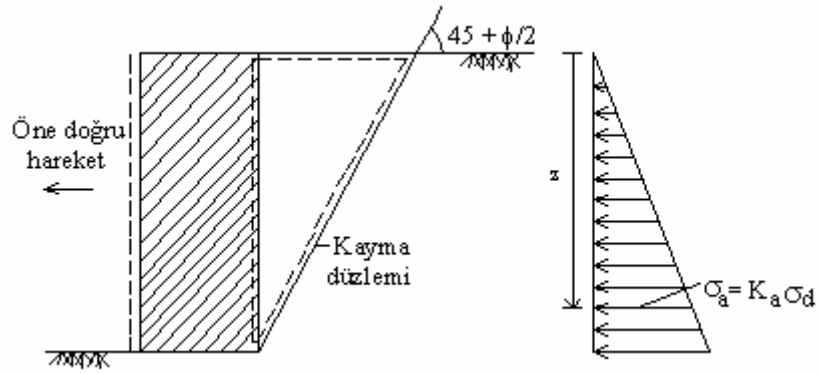
$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2)$$

K_a : Aktif toprak basınç katsayısı

σ_a : Aktif yanal zemin gerilmesi

σ_d : Düşey gerilme

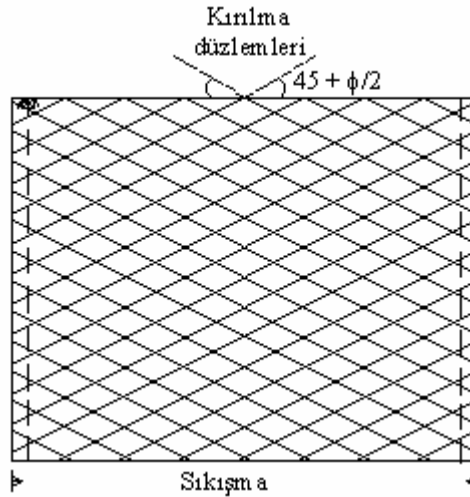
Bir rijit duvarın, zeminden uzağa doğru hareket ettirilmesi veya duvarın ön alt ucu etrafında öne doğru bir miktar döndürülmesi ile, duvar arasındaki zeminde, aktif durum oluşur. Bu durumda; duvara aktif yanal zemin basınçları etkir. (Şekil 2.3) Bağıntıdan da anlaşılacağı üzere, aktif yanal basınç dağılışı derinlikle doğrusal olarak artar. (Üçgen şekil)



Şekil 2.3 Dayanma duvarı arkasında aktif durum oluşturulması ve aktif yanal zemin basınç dağılışı (kohezyonsuz zemin) [2]

2.1.2.2. Pasif durum (Pasif Rankine durumu)

Yarım sonsuz ortam da pasif durum oluşturmak için zemin sıkışmaya tabii tutulur. Arka yüzü düşey ve sürtünmesiz bir rijit dayanma duvarı, zemine doğru itilirse, duvar arkasındaki zeminde, pasif durum oluşturulur ve bu durumda da duvar arkasına dik olarak pasif yanal zemin basınçları etkir. Şekil 2.4 de pasif durumdaki kırılma düzlemi görülmektedir.



Şekil 2.4 Pasif Rankine Durumu

Pasif durumda, elemana etkiyen düşey gerilme ($\sigma_d = \gamma_n \cdot z$) sabit kalırken, yatay (yanal) gerilme artarak, sabit değere ($\sigma_y = \sigma_p$) varır. Zemin ortam yatayla $45^\circ - \phi / 2$ lik açılar yapan düzlemler boyunca kırılır. Pasif durumda, düşey ve yatay gerilmeler arasında, aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\sigma_p = K_p \sigma_d = K_p \gamma_n z$$

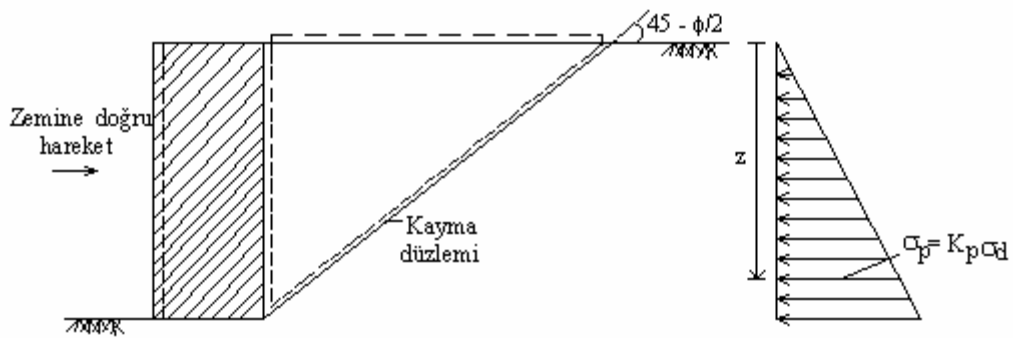
$$K_p = \tan^2 (45 + \phi / 2)$$

K_p : Pasif toprak basınç katsayısı

σ_p : Pasif yanal zemin gerilmesi

σ_d : Düşey gerilme

Şekil 2.5 te görüldüğü gibi pasif yanal basınç dağılışı derinlikle doğrusal olarak artar.(Üçgen şekil).



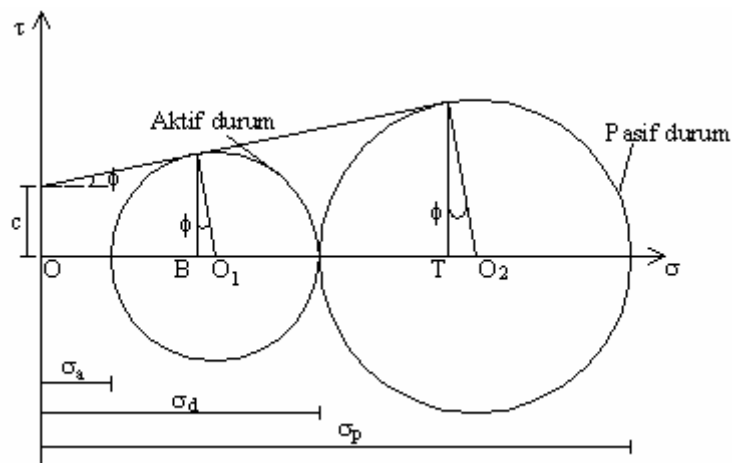
Şekil 2.5 Dayanma duvarı arkasında pasif durum oluşturulması ve pasif yanal zemin basınç dağılışı (Kohezyonsuz zemin) [2]

Kohezyonlu bir zemin için σ_a ve σ_p aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\sigma_a = -2 c \sqrt{K_a} + \sigma_d K_a = -2 c \sqrt{K_a} + \gamma z K_a$$

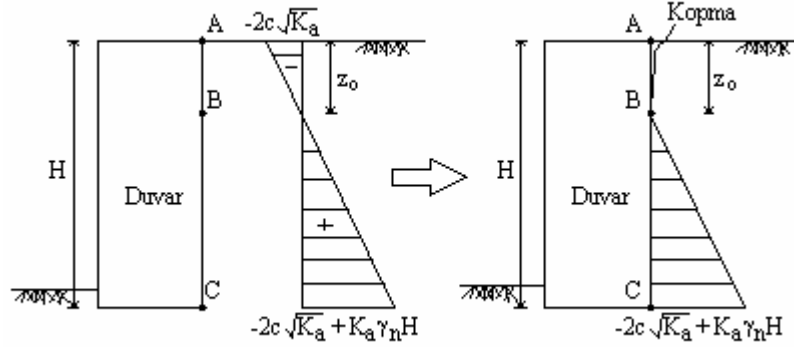
$$\sigma_p = 2 c \sqrt{K_p} + \sigma_d K_p = 2 c \sqrt{K_p} + \gamma z K_p$$

Şekil 2.6 da genel bir zemin için aktif ve pasif durumlar gösterilmiştir.



Şekil 2.6 Genel bir zeminde aktif ve pasif durumlar [2]

Görel olarak; aktif bir durum elde etmek için daha az yatay hareket (sıkı kumlarda, örneğin $\varepsilon_{yatay} \leq 0,005$) ve pasif durum elde etmek için, daha çok hareket (sıkı kumlarda, örneğin $\varepsilon_{yatay} \geq 0,02$) gereklidir (Lambe,1969).

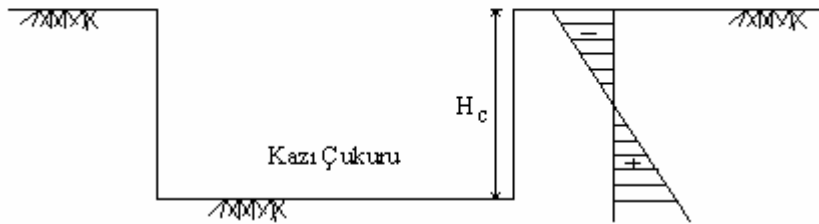


Şekil 2.7 Kohezyonlu bir zeminde aktif yanıl basınçlarının dağılımını [2]

Şekil 2.7 'den de görüleceği üzere, teorik olarak z_0 derinliğinde herhangi bir itki söz konusu değildir. Bu nedenle bu derinlik boyunca duvar arkası ile zemin arasındaki temas kaybolur ve duvar arkasına yanıl zemin basıncı etkimez. z_0 aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

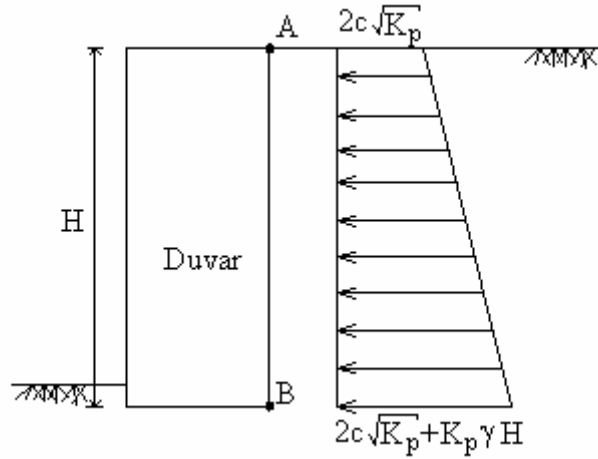
$$-2c\sqrt{K_a} + \gamma_n z K_a = 0 \Rightarrow z_0 = \frac{2c\sqrt{K_a}}{\gamma_n K_a} \text{ dır.}$$

Kohezyonlu zeminlerde $H_c = 2 z_0$ derinliğine kadar, bazı koşullarda, kaplama yapılmaksızın düşey kazı yapılabilir. Çünkü H_c derinliğinde duvara etkileyen yanıl itkinin bileşkesi sıfırdır. Bu durum Şekil 2.8 de gösterilmiştir.



Şekil 2.8 Kohezyonlu zeminlerde kaplamasız derinlik [2]

Kohezyonlu bir zeminde ($c \neq 0$) Rankine teorisine göre pasif durumda bir duvar arkasına gelen pasif toprak basıncı Şekil 2.9 'daki gibidir [2].



Şekil 2.9 Kohezyonlu bir zeminde pasif yanal basınçlar [2]

2.2. Coulomb Kama Teorisi

Coulomb (1776), duvar öne doğru veya arkaya doğru hareket ederken, duvar arkasında oluşan ve kayan zemin kitlesinin dengesini dikkate almıştır. Kohezyonsuz zeminlerde, duvar arkasından kayan kitle üçgen biçimlidir. Coulomb aşağıdaki kabulleri yapmıştır;

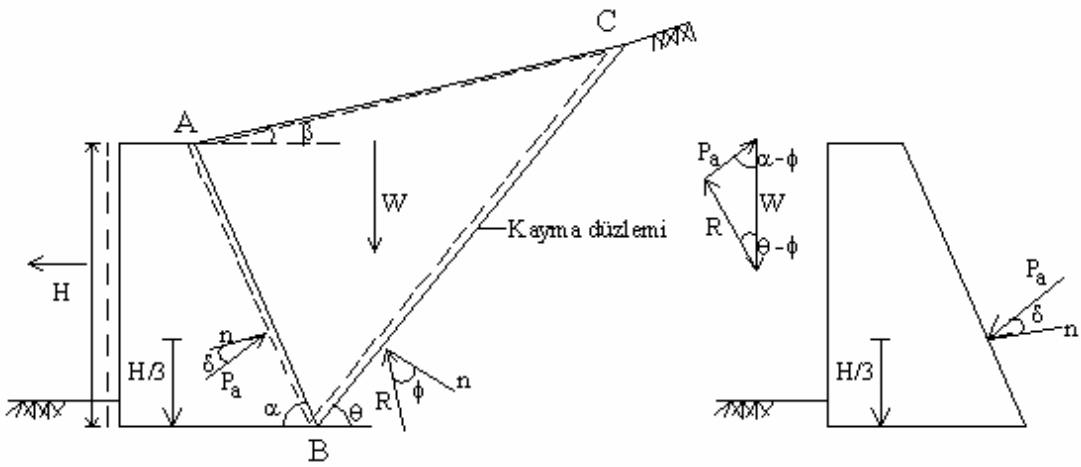
- Zemin izotrop ve homojendir.
- Kayma yüzeyi bir düzlemdir.
- Duvar ile zemin arasında sürtünme vardır.
- Sürtünme kuvvetleri kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılmıştır.
- Kayma kaması rijit bir küttedir.

Coulomb Kama Teorisinin en önemli kabulü, duvar arkası pürüzlü olup, zeminle duvar arkasında sürtünme vardır.

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

Kohezyonsuz zeminlerde, aktif durumda, duvar öne doğru hareket ederken, arkada oluşan üçgen kama da aşağıya doğru kayar.

Şekil 2.10 da ABC zemin kaması dengede olup, kamaya şu kuvvetler etkimektedir. ABC kamasının kendi ağırlığı (W), BC kayma düzlemi boyunca etkileyen R bileşke kuvveti ve AB düzlemi boyunca etkileyen P_a aktif bileşke kuvveti. Kama aşağı doğru hareket ettiği için, P_a ve R kuvvetleri, sürtünmelerden dolayı, yüzey normaleri ile, hareket yönünün tersi tarafta, sırayla δ ve ϕ açıları yapar. BC kayma düzleminde, zeminin zeminle sürtünme açısı ϕ dir. δ ise duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısıdır. Bu üç kuvvetin dengesi yazılıp, P_a aktif bileşke kuvvetinin maksimum olması koşulu kullanılırsa, aşağıdaki bağıntı elde edilir.



Şekil 2.10 Kohezyonsuz zeminde Coulomb Kama Teorisi (Aktif Durum) [2]

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a$$

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

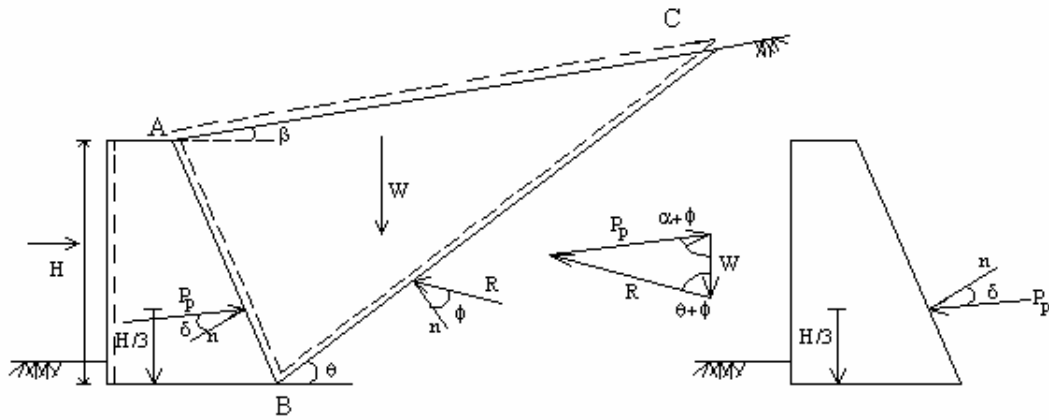
$\alpha=90^\circ$, $\beta=0^\circ$, $\delta=0$ için bağıntı Rankine Aktif Toprak basıncı $K_a \tan^2(45-\phi/2)$ na eşittir. Duvar arkasına etkileyen, P_a aktif itki (bileşke) nin yönü ve yeri Şekil 2.10 daki gibidir.

Kohezyonsuz zeminde, pasif durumda duvar arkaya doğru hareket ederken, üçgen kama yukarı doğru hareket eder.

Gene ABC kamasının dengesi ile P_p pasif bileşke itkinin minimum olması koşulu kullanılırsa, aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

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



Şekil 2.11 Kohezyonsuz zeminde Coulomb Kama Teorisi(Pasif Durum) [2]

$\alpha=90^\circ$, $\beta=0^\circ$, $\delta=0$ için bağıntı Rankine Pasif toprak basınç katsayısına $\tan^2(45+\phi/2)$ eşit olur. Duvar arkasına etkiyen P_p , pasif toprak itkisinin yönü ve etkime yeri, şekilde görülmektedir.

Duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı, δ , duvar arkasının pürüzlülüğüne ve zemin cinsine bağlı olarak değişmektedir. Genellikle δ açısı, $\phi/3 - 2\phi/3$ arasında bir değer almaktadır.

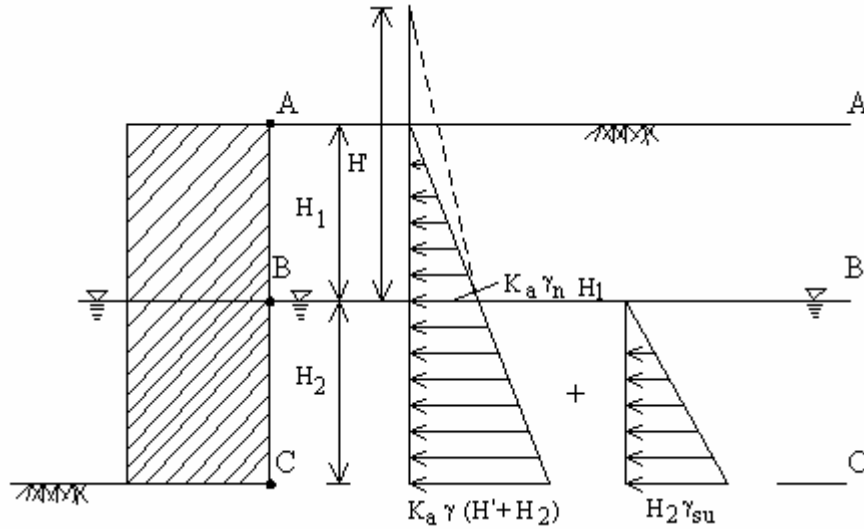
Kohezyonlu zeminlerde ; aktif durumda $\delta < \phi/3$ ise BC gene düzlemdir. Ancak AB ve BC düzlemleri üzerinde adhezyon ve kohezyon kuvvetleri etkir. Ayrıca zemin yüzünden itibaren z_0 kadar bir kopma olur. $\delta > \phi/3$ için, pasif durumda BC düzlem değil eğridir.

2.3. Rankine Teorisi ile Coulomb Teorisinin Karşılaştırılması

Rankine Teorisi, duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısını sıfır (sürtünmesiz duvar arkası) kabul ederken; Coulomb Teorisi, sürtünme δ açısını dikkate almaktadır. Rankine Teorisi; tabakalı zemin, kohezyonlu zemin, yer altı suyu. vb. durumlarına daha kolay uygulanmaktadır. Rankine Teorisi, yanal zemin basınç dağılımını verirken, Coulomb Teorisi bileşke kuvveti vermektedir [2].

2.4. Yer Altı Suyundan Meydana Gelen Basınçlar

Şekil 2.12 de; duvar arkasına; AB tabakası ile γ' batık birim hacim ağırlığına sahip BC tabakasından gelen yanal basınçlar ve suyun yanal basıncının toplamı etkir. Taneli zeminlerin doğal ile doygun durumlardaki içsel sürtünme açıları, pratik olarak aynı alınabilir [2].



Şekil 2.12 Tek zemin + yer altı suyu durumu [2]

$\sigma_{a \text{ A-A}} = 0$, $\sigma_{a \text{ B-B}} = K_a \gamma_n H_1$, $H' = (\gamma_n H_1) / \gamma'$, $\sigma_{a \text{ C-C}} = K_a \gamma' (H' + H_2)$ olarak yazılabilir.

Burada γ' batık birim hacim ağırlıktır. Batık birim hacim serbest yer altı suyu altındaki zeminler için söz konusu olup, doygun birim hacim ağırlık ile suyun birim hacim ağırlığı arasındaki fark olarak tanımlanır.

Suyun yanal basıncı;

$\sigma_{su\ C-C} = H_2 \gamma_{su}$ bağıntısından hesaplanır. Burada γ_{su} suyun birim hacim ağırlığıdır.

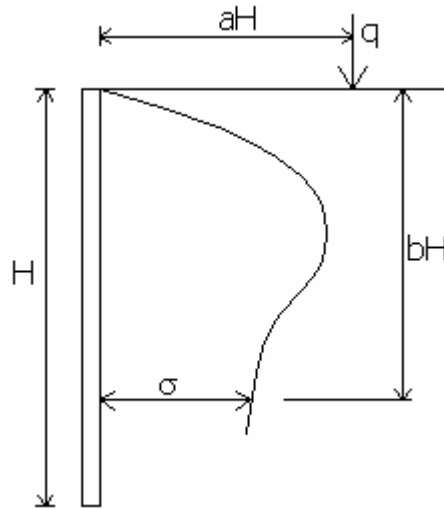
2.5. Duvar Arkası Dolgusu Üzerinde İlave Yükler Bulunması Halinde Toprak Basınçları

Duvar arkası dolgusu üzerine etkileyen çizgi, şerit ve nokta kuvvetler bulunması halinde doğacak ilave toprak basınçları Culmann, Kama Metodu gibi grafik metotlarla da, ilave yükün kama ağırlığına katılması ile hesaba alınabilir. İlave yüklerin etkisinin bulunmasında çok defa yarım amirik hesap metotları kullanılmaktadır.

İlave yükün çizgisel yük olması durumunda, çizgisel yükün duvara etkisi görülmektedir (Şekil 2.13). Bu durumda çizgisel yükten oluşan zemin gerilmeleri;

$$\sigma = \frac{4q}{\pi H} \frac{a^2 b}{(a^2 + b^2)^2} \quad a > 0.4 \text{ ise,}$$

$$\sigma = \frac{q}{H} \frac{0.203b}{(0.16 + b^2)^2} \quad a \leq 0.4 \text{ ise,}$$



Şekil 2.13 Çizgisel yükün duvara etkisi [4]

İlave yükün şerit yük olması durumunda, şerit yükün duvara etkisi görülmektedir (Şekil 2.14). Bu durumda şerit yükten oluşan zemin gerilmesi;

$$\sigma = \frac{2q}{H} (\beta - \sin\beta\cos2\alpha)$$

Toplam itki P ise;

$$P = \frac{q}{90^\circ} [H(\theta_2 - \theta_1)]$$

$$\theta_1 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{b'}{H} \right) ; \quad \theta_2 = \text{tg}^{-1} \left(\frac{a'+b'}{H} \right)$$

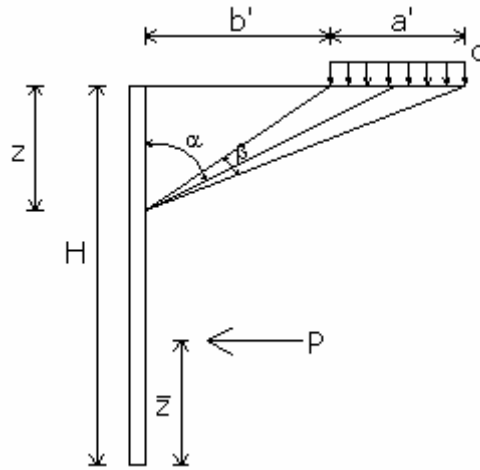
Toplam itkinin tabandan uzaklığı \bar{z} için;

$$\bar{z} = H - \frac{1}{2H(90^\circ - \theta_2)} (H^2(\theta_2 - \theta_1) + (R - Q) - 57.30 a'H)$$

Bu formülde,

$$R = (a'+b')^2(90^\circ - \theta_2) \quad \text{ve} \quad Q = b'^2(90^\circ - \theta_1)$$

bağıntılarından bulunur [4].

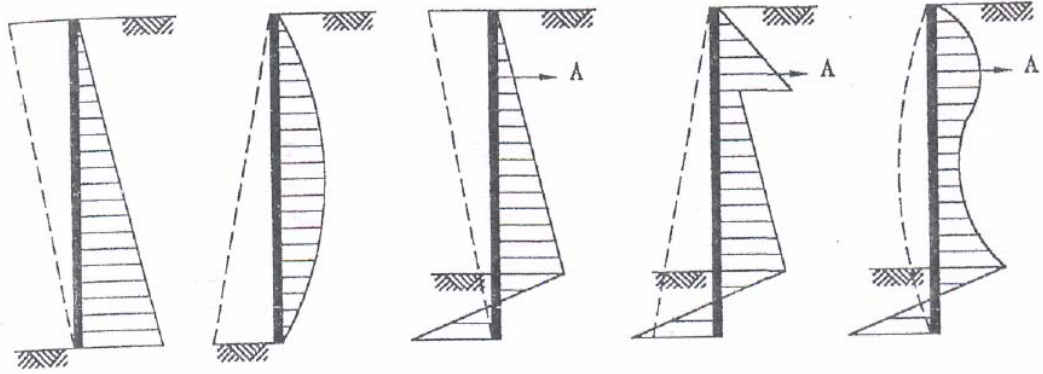


Şekil 2.14 Şerit yükün duvara etkisi [4]

Duvar arkası dolgusu üzerindeki bölgede tamamen yayılı bir yük mevcut ise bu yük; altındaki zeminin birim hacim ağırlığına göre ilave bir yükseklik olarak da hesaba katılabilir. Yayılı yük p (t/m²) ve zeminin birim hacim ağırlığı γ (t/m³) ise, (p = γ h) olacak şekilde, dolgu üstünde, h = p/ γ yüksekliğinde hayali bir zeminin varlığı kabul edilir.

2.6. Derin Kazı İksa Sistemlerine Etkiyen Toprak Basınçları

Destekleme sisteminin elemanları, sisteme etkiyen toprak basıncına göre boyutlandırılır. Destekleme sistemine gelen toprak basıncı önemli oranda sistemin deformasyonuna bağlıdır. Şekil 2.15 'de çeşitli duvar hareket durumları için değişik toprak basıncı dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 2.15 Farklı duvar hareketleri için toprak basıncı dağılımları [5]

Rankine ve Coulomb tarafından geliştirilen toprak basıncı teorileri dayanma duvarlarına, zemine ankastre perde duvarlara, tek sıra ankrajlı zemine serbest mesnetli veya ankastre perde duvarlara uygulanabilmekle beraber çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerine uygulanamazlar. Bu çok sıra ankrajlı iksa sisteminin yapılaş aşamalarının, deformasyon biçiminin ve sistemin göçme mekanizmasının diğerlerinden farklı olması ile açıklanabilir.

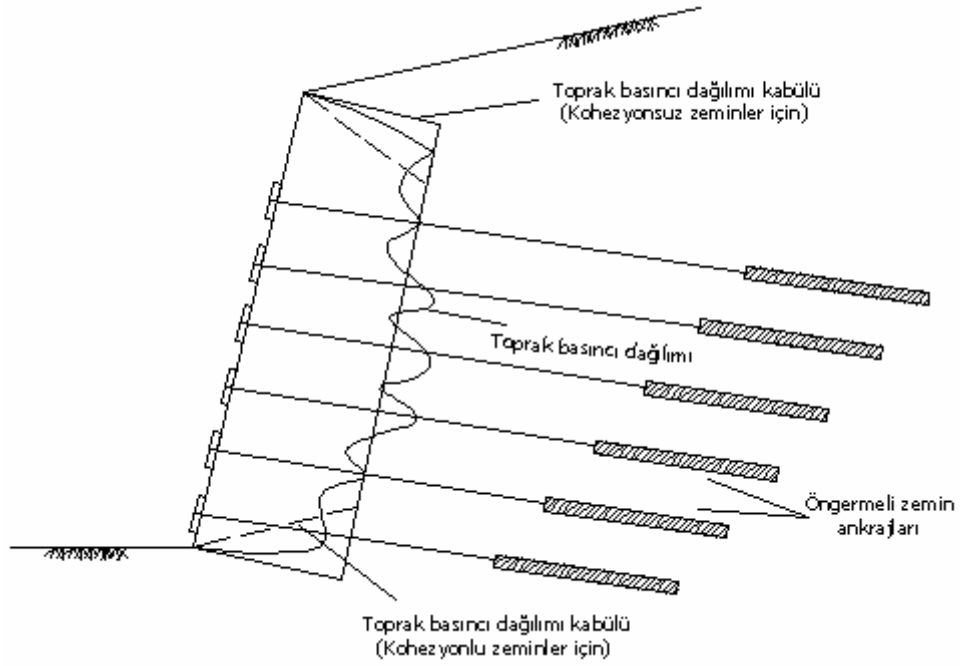
Çok sıra ankrajlı iksa sistemlerine gelen toprak basınçları ve dağılımları şu şekilde açıklanabilir;

Derin kazı destekleme sistemlerinin rijitlikleri istinat yapılarına göre daha azdır. Ayrıca destekleme sistemlerinde, bölgesel toprak basıncı yığılması sonucu destekleme sisteminin elemanlarında çok büyük yükler oluşmakta ve bunun sonucunda sistemin toptan göçmesine neden olabilecek bir ardışık göçme mekanizması meydana gelebilmektedir. İşte bunu önlemek için desteklerin tasarımı desteklere gelebilecek yüklerin ortalamasına göre değil de oluşabilecek maksimum

yatay destek yüklerine göre yapılmalıdır. Çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerinin yapım aşamasındaki davranışı şu şekilde açıklanabilir;

Düşey destekleme sistemi yapıldıktan sonra birinci sıra ankrajın yerleştirileceği kota kadar kazılır. Bu aşama sırasında sistem ankastre konsol gibi çalışır ve bunun sonucu olarak destekleme sistemi, aşağı doğru lineer olarak artan aktif toprak basıncına maruz kalır. Bu aşamada sistem kazı tabanı civarındaki bir nokta etrafında dönerek hareket eder. İkinci aşamanın başlangıcında ilk sıra ankraj yerleştirilir. Bunun uygulayacağı itki ne kadar büyük olursa olsun destekleme sistemini ve zemini, kazı yapılmadan önceki durumuna döndüremez, ancak, ankrajdaki itki aktif toprak basıncından büyükse, destekleme sistemine etkiyen basıncı arttırır. Ankrajın yerleştirilmesi ile oluşan toprak itkisi yaklaşık olarak ankraj kuvvetine eşittir. Aradaki fark kazı tabanı seviyesi ve altındaki toprak basıncı dağılımının tam olarak belirlenememesinden kaynaklanmaktadır. İkinci sıra ankrajı yerleştirmek için yapılan kazı yeni yatay hareketlere yol açar ve oluşan bu hareketlerde ilk ankrajın yük kaybına ve bununla birlikte zeminde akmaya neden olur. İkinci sıra ankrajın gerilmesi, birinci sıra ankrajın tekrar gerilmesi ve bunun ardından yapılacak kazı nedeniyle oluşacak yatay hareketler kabaca, parabolik olarak nitelendirilebilecek basınç dağılımının oluşmasına yol açar. Bu da destekleme sisteminin arkasında oluşan toprak basıncı dağılımının, sistemin kazıya doğru hareketine yol açan gerçek toprak basıncı dağılımından çok, ankraj kuvvetlerine bağlı olduğunu ortaya koyar [5].

Çok sıra ankrajlı bir duvarda toprak basıncı dağılımları Şekil 2.16 da verilmiştir. Çok sıra ankrajlı destekleme sistemlerinin boyutlandırılmasında, gerçek toprak basıncı değerleri sistemi tam modelize edemediğinden birçok araştırmacı tarafından çalışmalar yapılmış ve zemin cinsine göre farklı toprak basıncı dağılımları elde edilmiştir. Ayrıca bazı ülke standartlarının önerdiği toprak basınç dağılımları da mevcuttur.



Şekil 2.16 Çok Sıra Ankrajlı Bir Duvarda Toprak Basıncı Dağılımı [5]

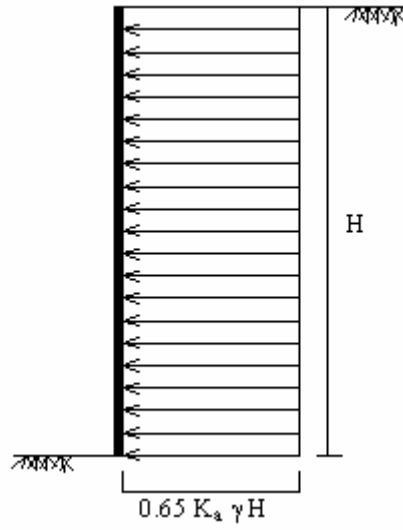
2.6.1. Kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınçları

- Terzaghi ve Peck perde arkası zemininin kum olması halinde Şekil 2.17 deki basınç dağılımını önermişlerdir. Kazı tabanı seviyesindeki toprak basıncı ;

$$P_a = 0.65 K_a \gamma H$$

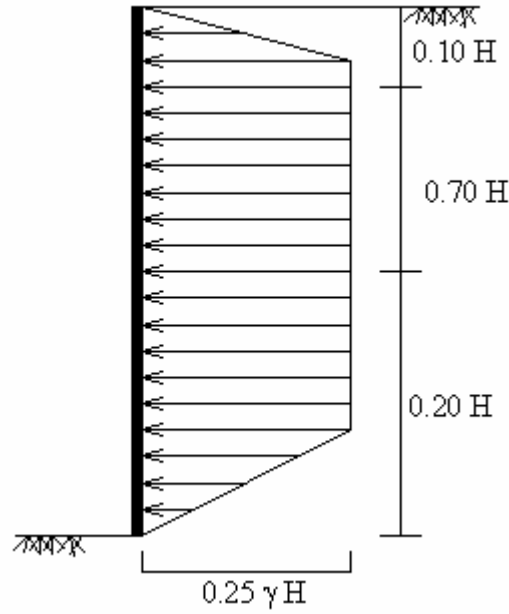
bağıntısından hesaplanır.

Bu basınç diyagramlarının kullanılabilmesi için kum zeminin kuru veya nemli olması, eğer kazı seviyesi üstünde yer altı suyu varsa bunun drenlenerek en az kazı tabanı seviyesine indirilmesi gerekir. [3].



Şekil 2.17 Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınç dağılımı [3]

- Tschebotarioff kohezyonsuz zeminler için Şekil 2.18 de verilen basınç dağılımını önermiştir;



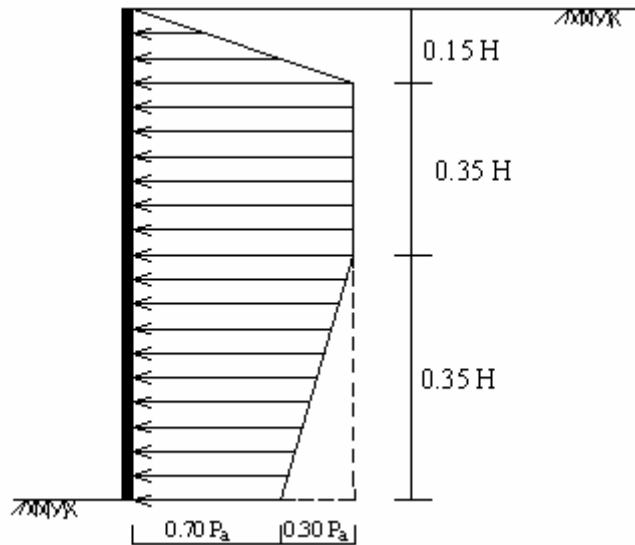
Şekil 2.18 Tschebotarioff tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basınçları [6]

Tschebotarioff' a göre toprak basıncı kohezyonsuz zeminler için;

$$P_a = 0.80 K_a \gamma H \cos \delta \quad \text{veya}$$

$$P_a = 0.25 \gamma H \quad \text{bağıntısından hesaplanabilir [6].}$$

- Lehmann tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı Şekil 2.19 da gösterilmiştir;



Şekil 2.19 Lehmann Tarafından Kohezyonsuz Zeminler için Önerilen Toprak Basıncı Dağılımı [7]

Bu basınç değeri

$$P_a = 0.6 K_a \gamma H$$

dan hesaplanabilir [7].

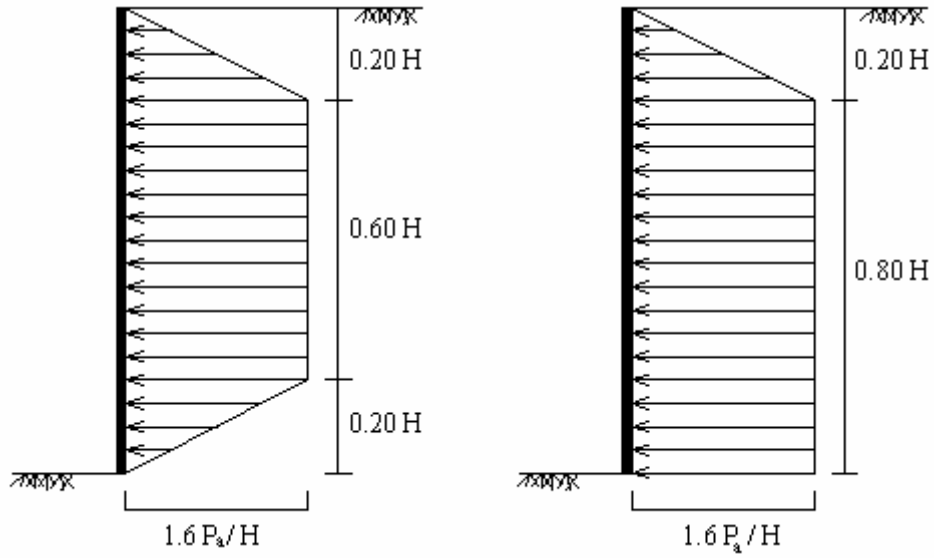
- İsveç yapı şartnamesi (1974) tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları

İsveç yapı şartnamesi kohezyonsuz zeminler için toprak basınç dağılımlarını yüksek relatif sıkılıklı zeminler ve düşük relatif sıkılıklı zeminler olmak üzere iki şekilde önermiştir. Düşük relatif sıkılıklı zeminler için toprak basıncı Şekil 2.20 (a) da, yüksek relatif sıkılıklı zeminler için toprak basıncı Şekil 2.20 (b) de gösterilmiştir.

Burada P kazı tabanı üzerindeki toplam aktif toprak basıncını göstermektedir. H ise iksa sisteminin boyudur. Toprak basıncının maksimum değeri;

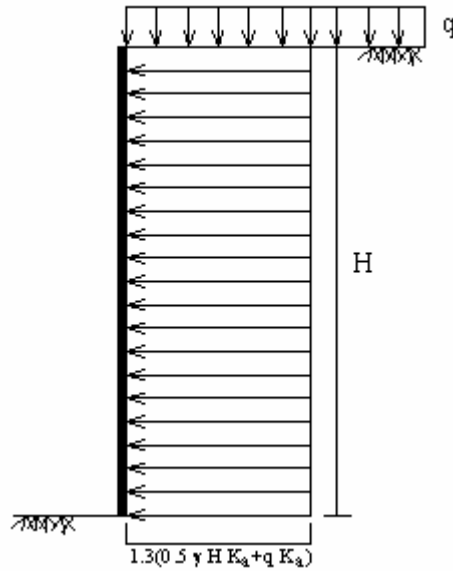
$$P_a = 1.6 P / H$$

bağıntısından hesaplanmaktadır. Eğer sükunetteki toprak basıncı kabulü kullanılacaksa buna karşılık gelen değer kullanılmalıdır [7].



Şekil 2.20 İsviçre Yapı Standardı Tarafından Düşük Relatif Sıklıklı (a) ve Yüksek Relatif Sıklıklı (b) Kohezyonsuz Zeminler İçin Önerilen Toprak Basıncı Dağılımları [7]

- İsviçre zemin ankraji standardı tarafından çok sıra destekli iksa sistemleri kohezyonsuz zeminlerde önerilen toprak basıncı dağılımları Şekil 2.21 deki gibidir.



Şekil 2.21 İsviçre Zemin Ankrajları Standardı Tarafından Kohezyonsuz Zeminler İçin Önerilen Toprak Basıncı Dağılımları [8]

Burada q sürşarj yükünü göstermekte olup toprak basıncının maksimum değeri,

$$P_a = 1.3 (0.5 \gamma H K_a + q K_a)$$

bağıntısından hesaplanabilir [8].

- Alman standardı tarafından önerilen toprak basıncı dağılımları;

Alman standardı tarafından kohezyonsuz zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımı da üniform basınç dağılımıdır. P kazı tabanı üstündeki aktif toprak basıncı olmak üzere, toprak basıncının maksimum değeri, Terzaghi- Peck'in kohezyonsuz zeminler için önerdiği gibi;

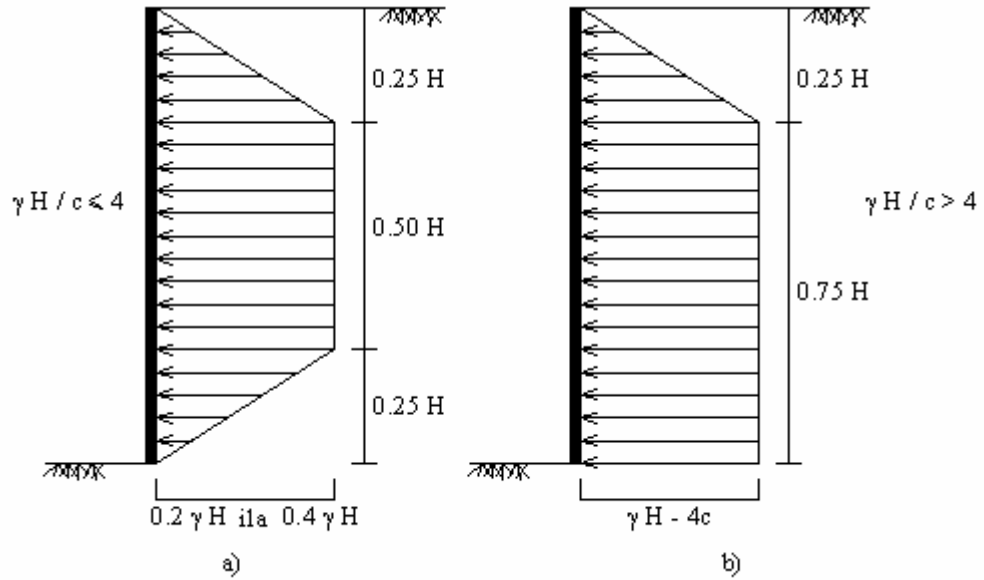
$$P_a = 1.3 P / H$$

bağıntısından hesaplanmalıdır.

Burada H istinat yapısı yüksekliğidir [7].

2.6.2. Kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basınçları

- Terzaghi ve Peck tarafından killi zeminlerde kaplamalara gelen yanal toprak basıncı dağılımları Şekil 2.22 deki gibi önerilmiştir.



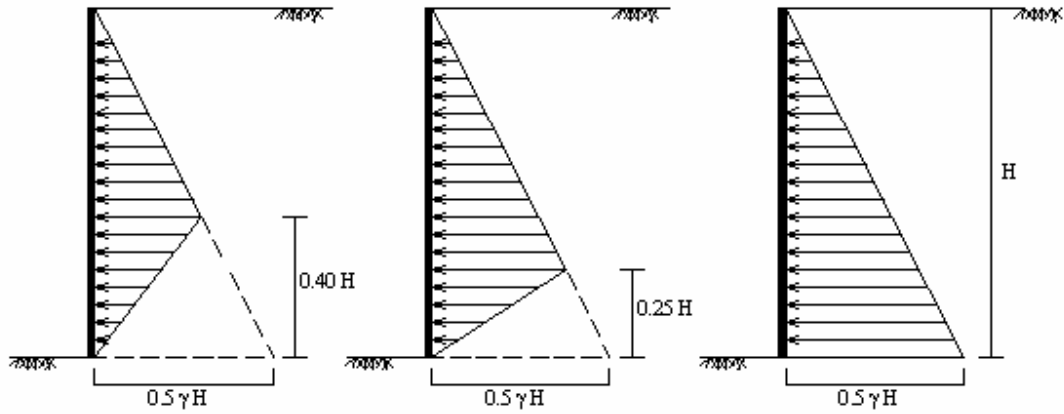
Şekil 2.22 Terzaghi ve Peck tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımları [3]

Şekil 2.22 (a) sert fisürlü killer için önerilmiştir. Bu dağılım iksa perdesi derinliğince uzanan kil zeminin drenajsız kayma mukavemeti c ve $\gamma H / c \leq 4$ ise kullanılır. Genelde bir çok halde $0.3 \gamma H$ değeri kullanılabilir. Bu değer $0.2 \gamma H$ alınması ile

kaplama hareketinin minimum olması ve kazının çok kısa süre açıkta tutulması gerekir.

Şekil 2.22 (b) yumuşak-orta sert killer için önerilmiştir. Bu durumda $\gamma H / c > 4$ değerinin şekil (a) da verilen genişlikten az olması halinde hesaplarda büyük olan değer kullanılması gerekir. Şekil $\gamma H / c$ oranının 10 ila 12 değerine kadar kullanılabilir [3].

- Tschebotarioff kohezyonlu zeminler için Şekil 2.23 de görülen basınç dağılımlarını önermiştir;



Şekil 2.23 Tschebotarioff tarafından kohezyonlu zeminler için önerilen toprak basıncı dağılımları

Toprak basıncı değerleri orta katı kilde geçici destekleme sistemleri için;

$$P_a = 0.375 \gamma H$$

Sürekli destekleme sistemleri için;

$$P_a = 0.50 \gamma H$$

bağıntılarından hesaplanabilir [3].

2.7. Deprem Durumunda Dayanma Yapılarına Gelen Toprak Basınçları

İstinat yapılarına gelen deprem etkisi “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik” de verilmiştir. Yönetmeliğe göre duvara gelen toprak itkileri şöyle hesaplanmalıdır.

2.7.1. Toplam aktif ve pasif basınç katsayıları

Statik toprak basıncı ile depremden oluşan ek dinamik toprak basıncının toplamını hesaplamak için kullanılacak Toplam Aktif Basınç Katsayısı, K_{at} ve Toplam Pasif Basınç Katsayısı, K_{pt} , emniyetli yönde kalmak üzere zeminin kohezyonu ihmal edilerek,

$$K_{at} = \frac{(1 \pm C_v) \cos^2(\phi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha + \lambda)} \times \frac{1}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda - i)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]^2}$$

$$K_{pt} = \frac{(1 \pm C_v) \cos^2(\phi - \lambda + \alpha)}{\cos \lambda \cos^2 \alpha \cos(\delta - \alpha + \lambda)} \times \frac{1}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \lambda + i)}{\cos(\delta - \alpha + \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]^2}$$

formüllerinden hesaplanacaktır.

Denklemlerdeki λ açısı aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

Kuru zeminlerde;

$$\lambda = \arctan \frac{C_h}{(1 \pm C_v)}$$

Su seviyesinin altındaki zeminlerde;

$$\lambda = \arctan \frac{\gamma_s}{(\gamma_b)} + \frac{C_h}{(1 \pm C_v)}$$

Zeminin su altında veya suya doygun olması durumunda ilk denklemde δ yerine $\delta/2$ gözönüne alınacaktır.

Denklem'de yer alan yatay eşdeğer deprem katsayısı C_h aşağıda tanımlanmıştır.

a) Düşeyde serbest konsol olarak çalışan zemin dayanma (istinat) yapılarında,

$$C_h = 0.2 (I + 1) A_o$$

b) Yatay doğrultuda bina döşemeleri veya ankrajlarla mesnetlenmiş zemin dayanma (istinat) yapı ve elemanlarında,

$$C_h = 0.3 (I + 1) A_o$$

Denklemde yer alan düşey eşdeğer deprem katsayısı C_v , aşağıdaki gibi tanımlanmıştır. Ancak, yatay doğrultuda bina döşemeleri ile mesnetlenmiş bodrum duvarlarında $C_v = 0$ alınacaktır.

$$C_v = 2 C_h / 3$$

Denklemde yatay toprak basıncı bakımından daha elverişsiz sonuç verecek şekilde, $+C_v$ veya $-C_v$ durumları göz önüne alınacaktır.

2.7.2. Dinamik aktif ve pasif toprak basınçları

Depremden oluşan dinamik aktif basınç katsayısı K_{at} ve dinamik pasif basınç katsayısı K_{pt} aşağıdaki gibi hesaplanacaktır.

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as}$$

$$K_{pd} = K_{pt} - K_{ps}$$

Denklemde yer alan statik aktif basınç katsayısı K_{as} ve statik pasif basınç katsayısı K_{ps} , Denklem 'de $\lambda = 0$ ve $C_v = 0$ konularak elde edilebilir.

Statik toprak basıncına ek olarak deprem durumunda zemin kütesinden ötürü oluşan ek dinamik aktif ve pasif toprak basıncının zemin yüksekliği boyunca değişimi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$p_{ad}(z) = 3 K_{ad} (1 - z / H) p_v(z)$$

$$p_{pd}(z) = 3 K_{pd} (1 - z / H) p_v(z)$$

Zeminin kuruda ve üniform olması durumunda, $p_v(z) = g z$ alınarak denklem'in zemin yüksekliği boyunca entegre edilmesi ile statik basınca ek olarak depremden oluşan dinamik aktif toprak basıncının pozitif değerli bileşkesi P_{ad} ve dinamik pasif toprak basıncının negatif değerli bileşkesi P_{pd} ile bu bileşkelerin zemin üst yüzeyinden itibaren derinliğini gösteren z_{cd} , aşağıda verildiği şekilde elde edilir.

$$P_{ad} = 0.5 g K_{ad} H^2$$

$$P_{pd} = 0.5 g K_{pd} H^2$$

$$z_{cd} = H / 2$$

Zeminin su altında olması durumunda $p_v(z)$ 'in hesabında γ yerine γ_b göz önüne alınacak ve suyun hidrodinamik basıncı ayrıca hesaplanmayacaktır. Zeminin suya doymun olması durumunda ise γ yerine γ_s kullanılacaktır. Statik toprak basıncına ek olarak deprem durumunda düzgün yayılı dış yükten oluşan aktif ve pasif toprak basıncının zemin yüksekliği boyunca değişimi aşağıdaki denklemlerde tanımlanmıştır.

$$q_{ad}(z) = 2 q_o K_{ad} (1 - z / H) \cos \alpha / \cos(\alpha - i)$$

$$q_{pd}(z) = 2 q_o K_{pd} (1 - z / H) \cos \alpha / \cos(\alpha - i)$$

Zemin özelliklerinin üniform olması durumunda, denklem'in zemin yüksekliği boyunca entegre edilmesi ile statik basınca ek olarak, depremin katkısı ile oluşan aktif (pozitif) ve pasif (negatif) toprak basınçlarının bileşkeleri Q_{ad} ve Q_{pd} ile bu bileşkelerin zemin üst yüzeyinden itibaren derinliğini gösteren z_{cd} aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır.

$$Q_{ad} = q_o K_{ad} H \cos \alpha / \cos(\alpha - i)$$

$$Q_{pd} = q_o K_{pd} H \cos \alpha / \cos(\alpha - i)$$

$$z_{cd} = H / 3$$

2.7.3. Tabakalı zemin durumunda dinamik toprak basınçları

Yukarıda verilen bağıntılar, zeminin tabakalı olması durumunda da uygulanabilir. Bu durumda, her bir tabaka için o tabakaya ait K_{ad} veya K_{pd} katsayıları kullanılacak ve z derinliği daima serbest zemin yüzeyinden aşağıya doğru göz önüne alınacaktır. Her bir tabakaya ait ek dinamik aktif veya pasif basınç kuvvetinin bileşkesi ve tabaka içindeki derinliği, denklemlerin ilgili tabaka boyunca entegre edilmesi ile bulunabilir.

2.7.4 Zemin dayanma (istinat) yapılarına ilişkin koşullar

Düşeyde serbest konsol olarak çalışan zemin dayanma (istinat) duvarlarının deprem hesabında, yatay toprak basıncının yanında duvarın kendi kütlesine ilişkin deprem kuvvetleri göz önüne alınmayabilir. Statik toprak basınçlarına ek olarak denklemlerde verilen dinamik toprak basınçları da göz önüne alınarak yapılan hesapta, kaymaya karşı güvenlik katsayısı en az 1.1 ve devrilmeye karşı güvenlik katsayısı en az 1.3 olarak alınacaktır.

Betonarme zemin dayanma (istinat) duvarlarında ve betonarme veya çelik palplanşlı duvarlarda kesit hesabında esas alınacak iç kuvvetler, statik toprak basıncından oluşan iç kuvvetlere ek olarak, denklemlerde verilen dinamik toprak basınçlarına göre hesaplanan iç kuvvetlerin $R_{za} = 1.5$ katsayısına bölünmesi ile elde edilecektir. Geçici çelik palplanşlı duvarlarda $R_{za} = 2.5$ alınabilir. Burada R_{za} , zemin dayanma (istinat) duvarlarında kesit hesabına esas dinamik iç kuvvetlerin elde edilmesi için kullanılan azaltma katsayısıdır [9].

BÖLÜM 3. DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ HESAP YÖNTEMLERİ

Zemine gömülü iksa sistemleri, palplanş duvarlar, Berlin Duvarı (king-post wall), aralıklı fore kazıklı duvarlar, kesme fore kazıklı duvarlar ve diyafram duvarlardan oluşmaktadır. Ankrastre ve tek/çok sıra ankraj/destekli olarak uygulanabilen bu sistemlerle derinliği 30-35 m'ye varan kazılar yapılabilmektedir. İksa sisteminin seçimi, kazı derinliği, zemin koşulları, çevredeki yapıların kazıya olan uzaklığı, yer altı suyu durumu vb. koşullara bağlı olup genellikle 6-7 m'yi geçen kazılar ankrajlı/destekli olarak yapılmaktadır.

Zemine gömülü derin kazı iksa sistemlerinin projelendirilmesi için kullanılan yöntemler genel olarak dört ana grupta toplanabilir. Bunlar; "limit denge" metodu, iksa sisteminin giriş ve zeminin yaylar ile modellendiği "elastik zemine oturan giriş" yöntemi, "pseudo-sonlu elemanlar" yöntemi ve "sonlu elemanlar/sonlu farklar" yöntemleridir.

3.1. Hesap Yöntemleri

3.1.1. Limit denge yöntemi

Limit denge yönteminde iksa sisteminde göçme durumunun olduğu ve zeminin kayma direncinin tam olarak mobilize olduğu varsayımıyla hesap yapılır. Hesaplamalar sırasında bazı parametrelere güvenlik sayısı uygulanır ve duvarın zemine gömülme derinliği, duvar momentleri ile kesme kuvvetleri hesaplanır. Limit denge yöntemlerinde iksa sistemi üzerinde derinlikle artan doğrusal yük dağılımları kullanılmasına karşın, özellikle çok sıralı ankraj/destek'li sistemler arkasında oluşan gerçek yük dağılımları oldukça farklıdır.

Limit denge yönteminde zemin-duvar etkileşimi göz önüne alınmadığı gibi hesaplar, zemin mukavemetinin tamamen oluştuğu kabulüyle yapılmakta, zeminde ve duvarda oluşan gerçek gerilmeler bu metotta konu edilememekte, duvar ve çevresi ile ilgili deplasmanlar hesaplanamamaktadır.

3.1.2. Elastik zemine oturan kiriş yöntemi

Zemin-yapı etkileşimini dikkate alan bu en basit analiz yönteminde iksa duvarı bir kiriş olarak, zemin ise yaylarla modellenir. Zemin rijitliğinin yayların rijitliği ile karakterize edildiği bu metotta yay sabitleri genellikle zeminin yanıl yatak katsayısı ile tanımlanır. Bu yöntemde derinlikle değişen yay sabitleri tanımlanabildiği gibi, aktif ve pasif basınçlar da maksimum ve minimum yay kuvvetleri ile modellenebilmektedir. Yapılan analiz sonucunda duvar eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj/destek kuvvetleri ve duvar deplasmanları hesaplanabilmekle beraber çevre yapıların ve duvar etrafındaki zeminin hareketleri hesaplanamamaktadır.

3.1.3. Pseudo-sonlu elemanlar yöntemi

Yanal yatak katsayısı yöntemi ile çok benzer olan bu metotta duvar etrafındaki zemin yay yerine elastik bir ortam olarak modellenir. Analizler sırasında yapı-zemin etkileşimi modellenebildiği gibi duvar eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj/destek kuvvetleri ve duvar deplasmanları hesaplanabilmekte ancak çevre yapıların ve duvar etrafındaki zeminin hareketleri hesaplanamamaktadır.

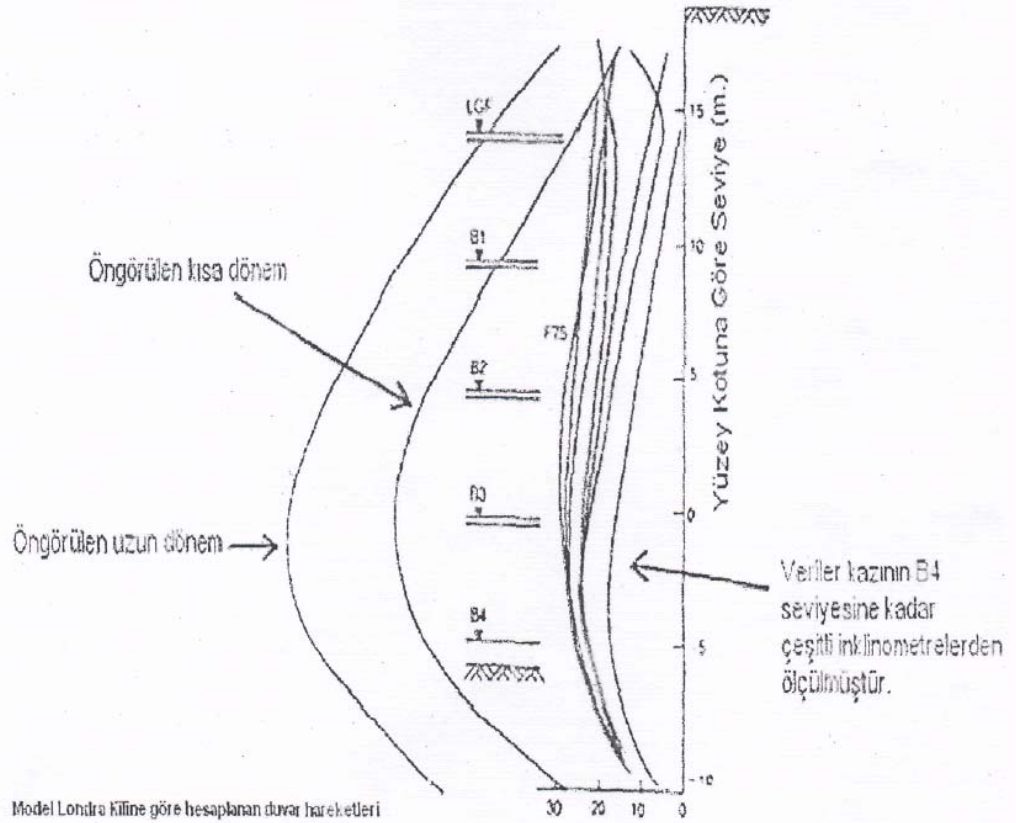
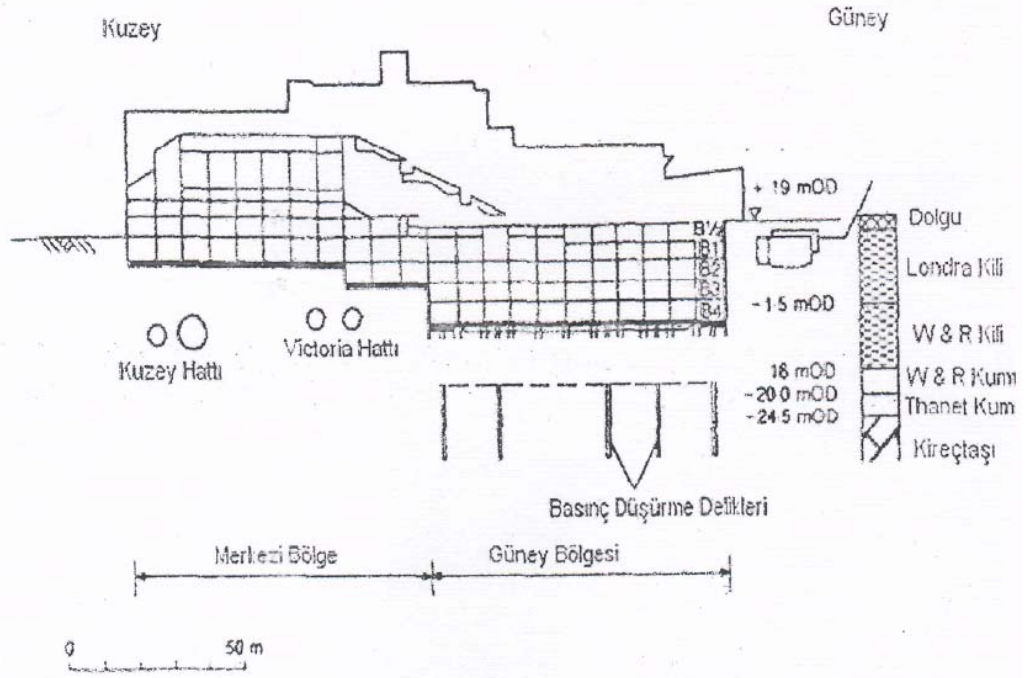
3.1.4. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemlerini kullanan profesyonel programlar ile yapı-zemin etkileşimini daha gerçekçi modelleyerek iksa sisteminin yapım aşamalarını da dikkate almak mümkün olmaktadır. Bu sayede her yapım aşamasında hem duvar moment, kesme kuvveti ve deplasmanlarını, hem de çevre

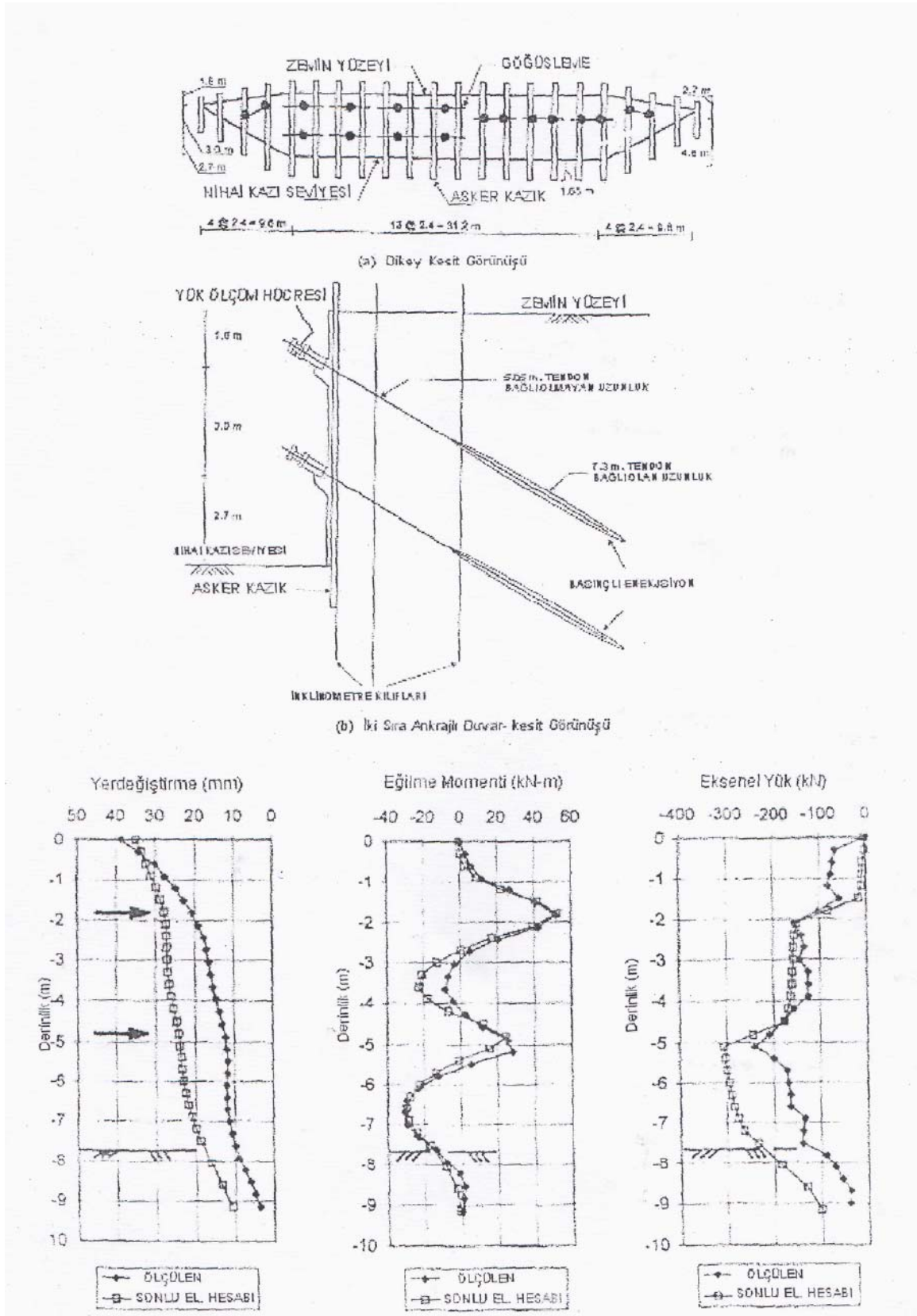
yapılar ile zemin deplasmanlarını tasarım aşamasında tahmin etmek mümkün olmaktadır.

Tasarım için kullanılan bu yöntemlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 3.1 'de özetlenmektedir. Bu tabloda verilen dört analiz yönteminin birbirleriyle karşılaştırılması yapılmıştır. Değişik ve oldukça detaylı tasarım yöntemleri bulunmakla beraber uygun hesap yönteminin belirlenmesi güvenli projelendirme açısından azami önem taşımaktadır. Hangi yöntem seçilirse seçilsin benzer zeminlerdeki uygulamalarda yapılan ölçümler değerlendirilmeli ve bilgisayar programları ile yapılan hesaplamalar mutlaka basit yöntemlerle kontrol edilmelidir. Özellikle oldukça kaliteli verilere ihtiyaç duyulan sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan hesaplar diğer yöntemlerle kontrol edilmelidir [10].

Şekil 3.1 de Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri, Şekil 3.2 de ise Texas A & m Üniversitesinde inşa edilen bir duvarın sonlu eleman analizinin sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.1 Euston'da British Museum derin kazısının duvar hareketleri; Model London Clay ile hesaplanan [11]



Şekil 3.2 Texas A & M Üniversitesinde inşa edilen bir duvarın sonlu eleman analizinin sonuçlar [11]

Tablo 3.1 Analiz yöntemlerinin avantaj ve limitasyonları (Gaba, A.R. vb.) [10]

ANALİZ YÖNTEMİ Bilgisayar Programı	Avantajları	Limitasyonları
Limit Denge (STAWAL, ReWARD, Vb.)	<ul style="list-style-type: none"> * Basit ve kolay * Analiz için sadece zemin mukavemet parametreleri yeterli. 	<ul style="list-style-type: none"> * Yapı zemin etkileşimi hesaba katılmıyor. * Deplasmanlar hesaplanamıyor. * Çok sıralı ankrajlı duvar gibi izostatik sistemlerin çözümü idealizasyon gerektiriyor. * Sadece drenajlı ve drenajsız durum modellenebiliyor. * İki boyutlu. * Hesaplar kazı öncesi gerilim dağılımı durumunu dikkate alamıyor.
Elastik Zemine Oturan Kiriş (WALLAP vb.)	<ul style="list-style-type: none"> * Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınıyor. * Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor. * Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor. 	<ul style="list-style-type: none"> * Zemin davranışının modellemesi nispeten yüzeysel * Yanal yatak katsayısının belirlenmesi zor. * İki boyutlu. * Palye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor. * Duvar arkasındaki zemin deplasmanları hesaplanamıyor.
Pseudo-Sonlu Elemanlar (FREW, WALLAP vb.)	<ul style="list-style-type: none"> * Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınıyor. * Zemin elastik bir katı ortam gibi modelleniyor. * Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor. * Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor. 	<ul style="list-style-type: none"> * İki boyutlu. * Elastik zemin modellemesi ve aktif, pasif limitler ile sınırlı. * Palye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor. * Duvar arkasındaki zemin deplasmanları hesaplanamıyor.
Sonlu Elemanlar, Sonlu Farklar (SAFE, PLAXIS, CRISP, FLAC vb.)	<ul style="list-style-type: none"> * Yapım safhaları ayrı ayrı modellenebiliyor ve yapı-zemin etkileşimi dikkate alınıyor. * İleri zemin modelleri ile zemin rijitliğinin deformasyon anizotropi ile değişimi modellenebiliyor. * Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor. * Karmaşık duvar, kazı geometileri ve mesnet koşulları modellenebiliyor. * Duvar ve zemin hareketleri hesaplanabiliyor. * 2 ve 3 boyutlu hesap yapılabilir. 	<ul style="list-style-type: none"> * Duvar yapımı vb. modellenmesi karmaşık ve zaman gerektiriyor. * Sonuçların gerçekliliği uygun yük-gerilme modellerinin seçilmesi ile mümkün. * Gerçekçi sonuçların elde edilmesi sadece kaliteli zemin verileri ile mümkündür. * Kullanıcı tarafından programa dayalı tecrübe gerekiyor.

Günümüzde bilgi birikiminin bir sınıflandırmasını yapan Stewart ve diğerleri yanal yüklü kazıkların analizi ile ilgili yöntemleri dört gruba ayırmıştır.

- 1) Ampirik yöntemler
- 2) Gerilmeye dayalı yöntemler
- 3) Deformasyona dayalı yöntemler
- 4) Sonlu eleman programı ile yapılan çözümler

Stewart ve diğerleri ampirik ve gerilmeye dayalı yöntemleri tasarım açısından kullanışlı ama sınırlı kapasitede bulmaktadır. Bunun yanında deformasyona dayalı yöntemleri ve sonlu elemanlar programlarının daha hassas ve her türlü zemin durumu için kullanılabilir olarak tanımlamaktadır. Ancak Stewart ve diğerleri, Goh ve diğerleri, deformasyona dayalı yöntemlerdeki esas zorluğun serbest zemine ait deplasmanların tahmininden kaynaklandığını ifade etmektedirler [12].

Doğru model ve parametreler kullanılarak hazırlanmış bir sonlu elemanlar analizi problemlerin çözümünde son derece önemlidir. Dolgu ve yumuşak zemin davranışı gibi konularda, sonlu elemanlar yöntemleri çok sık kullanılmaktadır. Zeminler modellenerek hesaplamalar yapılmaktadır. Kullanılan sonlu eleman analizleri genellikle iki boyutludur. Üç boyutlu analizler yaygın değildir.

Derin kazı iksa sistemleri hesaplarında birçok program kullanılmaktadır. Bu programlar herhangi bir yapısal analiz programları olabileceği gibi tamamen zemin-yapı ilişkisine bağlı olarak hazırlanmış özel paket programlarda olabilir. Yapısal analiz programlarına SAP90 ve SAP2000 örnek gösterilebilir. Burada programa uygun zemin yay sabitleri 'k zemin' tanıtılır. Burada önemli olan programa zemin verilerini doğru olarak girebilmektir. Programda hesaplar yapıldıktan sonra moment diyagramları, kesme kuvveti diyagramları ve deplasmanlar bulunur. Yapısal analiz programlarının en büyük dezavantajları zemin itkilerini kullanıcının vermesi ve yaylarla sabitlenmesidir.

Bu konuda hazırlanmış bir çok paket program vardır. Bu programlarda bazıları şunlardır;

PLAXIS,CRISP, WALLAP, Contiler Wall, Talren,GS-Wall, Retain, Reward, Fluc 2D-3D, Lat-Pile vs.

Burada PLAXIS' ten bahsedilecektir. PLAXIS'te zemin ve yapı modellemesi, gerçek haliyle birebir yapılabilmektedir. PLAXIS' in gelişimi ilk olarak Delft Teknik Üniversitesinde başlamıştır. PLAXIS, ille de sayısal uzman olması gerekmeyen geoteknik mühendisleri tarafından kullanılması için, pratik analiz sağlayan bir araç olarak tasarlanmıştır. PLAXIS, geoteknik mühendislik projelerinde, özellikle de deformasyon ve stabilite analizi için geliştirilmiş bir sonlu eleman paketidir. PLAXIS, basit grafiksel girdi işlemleri, karışık sonlu eleman modellerinin çabuk bir şekilde oluşturulmasını olanaklı kılmaktadır. Çıktı olanakları da, hesaplanan sonuçların detaylı bir şekilde sunumuna olanak sağlamaktadır. PLAXIS kullanıcılarının temel zemin mekaniği bilgilerine hakim olması gerekmektedir.

Her proje için programda bir model oluşturulur. Bu modelin, alttaki doğal zemin tabakalarını, yapısal objeleri, inşa aşamalarını ve yükleri temsil edecek bir çerçevede olması gerekir. PLAXIS' te tüm sonuçları grafik yada yazılı olarak almak mümkündür.

Diğer bir program CRISP tir. Bu program PLAXIS' e göre daha akademiktir. Program 'Critical State' denilen çok yumuşak zemin koşullarında mükemmel çalışmaktadır. Modelleme çok zor yapılmaktadır. Kullanıcı daha detaylı bilgilere hakim olmalıdır.

Bu ücretli programlarda başka bir çok ücretsiz küçük çaplı program mevcuttur. Özellikle internet arama motorlarından bu programlara ulaşılabilmektedir.

Yine derin kayma dairesi tahkiki için de bir şev analiz programı kullanılabilir. Bu programlara Slope-W örnek gösterilebilir.

3.2. Stabilite Problemleri

Derin kazılarda görülen stabilite problemlerinin ana kaynağı yanal toprak basınçlarıdır. Yanal toprak basınçları Bölüm 2 de açıklanmıştır. Derin kazılarda görülen diğer stabilite problemleri kazı çukurunda meydana gelen taban kabarması ve derin kayma (toptan göçme) sorunudur. Ayrıca kullanılan iksa malzemelerinden de kaynaklanan stabilite sorunları olabilir. Rötme, sünme, sıcaklık değişimleri bunlara örnek gösterilebilir. Bu etkilerde yapılan hesaplara dahil edilmelidir.

3.2.1. Kazı çukurunda meydana gelen taban kabarması (göçmesi)

Kazı kaplamalarına gelen basınçların hesabında hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın önce kazı tabanının göçmeye (taban kabarmasına) karşı yeter bir güvenliği olduğu gösterilmelidir.

Desteklenmiş H yüksekliğindeki bir zemin yükü nedeni ile, kritik bir kazı yüksekliğinden sonra, kazı tabanı seviyesi altındaki zeminin kayma mukavemeti aşılacak çukur tabanında yukarıya doğru oluşan taban kabarması (göçmesi) söz konusu olacaktır. Bu bakımdan, killi zeminlerde taban kabarması (göçmesi) tahkiki yapılmaktadır.

Terzaghi, killi zeminler için bu problemi taşıma gücü yönünden inceleyerek bu tip göçmeye karşı güvenlik sayısını;

$$G_s = (1/H) [5.7 c / (\gamma - c/0.7 B)]$$

olarak vermiştir. Burada B kazı genişliği ve H kazı derinliğidir. Eğer kazı tabanı altında $d < 0,7B$ seviyesinde çok sert ve sağlam bir tabaka varsa, güvenlik sayısı B kazı genişliğinden bağımsız olarak;

$$G_s = (1/H) [5.7 c / (\gamma - c/d)]$$

şeklini almaktadır.

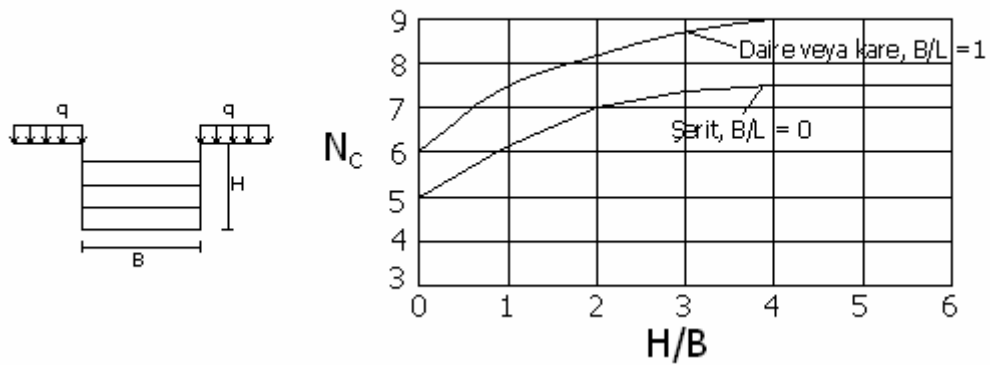
Bjerrum ve Eide, killi zeminler için Skempton tarafından verilen taşıma gücü formülünü kullanarak güvenlik sayısı için;

$$G_s = N_c c / \gamma H$$

bağıntısını vermişlerdir. Burada L çukur uzunluğu ($L > B$) ve $H = D_f$ olmak üzere,

$$N_c = 5 (1 + 0.2 H/B) (1 + 0.2 B/L)$$

dir. Bu bağıntıya ait olup Skempton tarafından verilen eğriler Şekil 3.3 'de görülmektedir. Bu eğriler gerektiğinde sıg temel taşıma gücü hesabında verilen yaklaşık formül yerine kullanılabilir. Formülde c değeri, kazı tabanı civarında ve altında en az $0.7 B$ derinliğe kadar, kilin ortalama drenajsız kayma mukavemetidir. Çukur tabanı altında $1.5 B$ derinliğe kadar olan zemin daha düşük kayma mukavemetine sahipse bu husus ortalama hesabında göz önüne alınmalıdır.



$$N_{c(\text{dikdörtgen})} = (0.84 + 0.16 B/L) N_{c(\text{kare})}$$

Şekil 3.3 Skempton tarafından verilen N_c eğrileri [3]

Kum zeminlerde yapılacak destekli kazılarda genel olarak taban göçmesi tehlikesi yoktur. Ancak yer altı su seviyesi kazı tabanı üzerinde ise ve bu su seviyesi indirilecekse meydana gelecek sızma basıncının kazı tabanına olan etkisi incelenmelidir.

$H/B > 2.5$ olması halinde, daire ve kare kazı alanı için yaklaşık $N_c = 9$ ve şerit şeklindeki kazılar için $N = 7.5$ alınmalı veya Şekil 3.3 deki eğri kullanılmalıdır.

Eğer kazı çevresinde q ilave yayılı yükü varsa güvenlik sayısı,

$$G_s = c N_c / (\gamma H + q)$$

olarak hesaplanmalıdır.

Terzaghi formülünün $H < B$ olması halinde kullanılması tavsiye olunur. Ayrıca $\gamma H/c < 6$ şartı sağlanırsa iksa sisteminin hareketi ve taban kabarması küçük olur. Bu değer 8 değerini geçmesi, göçmeye varan zararlı hareketlere sebep olabilir [3].

Günümüzde taban kabarması sonlu eleman yöntemiyle gerçeğe yakın bir değerde tahmin edilebilmektedir. Hesaplarda kullanılabilecek pek çok paket program mevcuttur.

3.2.2. İksa sistemlerinde derin kayma dairesi analizi (Toptan göçme analizi)

Dayanma yapılarında (iksa sistemlerinde) yapılması gereken diğer önemli analiz derin kayma dairesi (toptan göçme) analizidir. Bu analiz literatürde bilinen klasik şev stabilitesi analizleriyle yapılabilir.

Şevlerle sınırlanmış zemin kütleleri, kendi ağırlıkları ve bazı hallerde diğer ilave kuvvetler sebebi ile aşağıya doğru harekete zorlanırlar. Diğer kuvvetler arasında zemin kütlesi üzerindeki ağırlıklar, yer üstü ve yer altı su hareketlerinden doğan kuvvetler, yersarsıntısı kuvvetleri sayılabilir. Bu kuvvetler zemin kütlesinde τ kayma gerilmeleri doğurur.

İksa sistemlerinin de içinde bulunduğu şevde, bu sistemleri içine alacak şekilde kayma meydana gelebilir. Bunun için iksa sistemlerinin toptan göçmeye karşı analiz edilmesi gerekir. Özellikle ankrajlı iksa sistemlerinde ve istinat duvarlarında bu tahkik büyük önem taşımaktadır. Ankrajlı sistemlerde ankrajlar, kazıklı sistemlerde kazıklar; kayma dairesinin içinde kalıyorlarsa ve gerekli güvenlik sayıları dikkate alınmamışsa göçme mekanizmasıyla karşı karşıya kalabilir. Buda telafisi mümkün olmayan sonuçlara yol açabilir. Olabilecek bu hasarları önlemek için şev stabilite analizi düzgün bir şekilde yapılmalıdır. Bu analizler el hesabı ile yapılabileceği gibi, şev stabilite analiz programlarıyla da yapılabilir.

3.2.2.1. Şev stabilite analizleri

Herhangi bir noktadan geçen her hangi bir düzlemdeki kayma gerilmesi, aynı düzlemde doğan τ_f kayma mukavemetinden küçükse şevin o düzlem üzerinde stabilitesi vardır ve şev kaymasına karşı güvenlik sayısı;

$$G_s = \tau_f / \tau$$

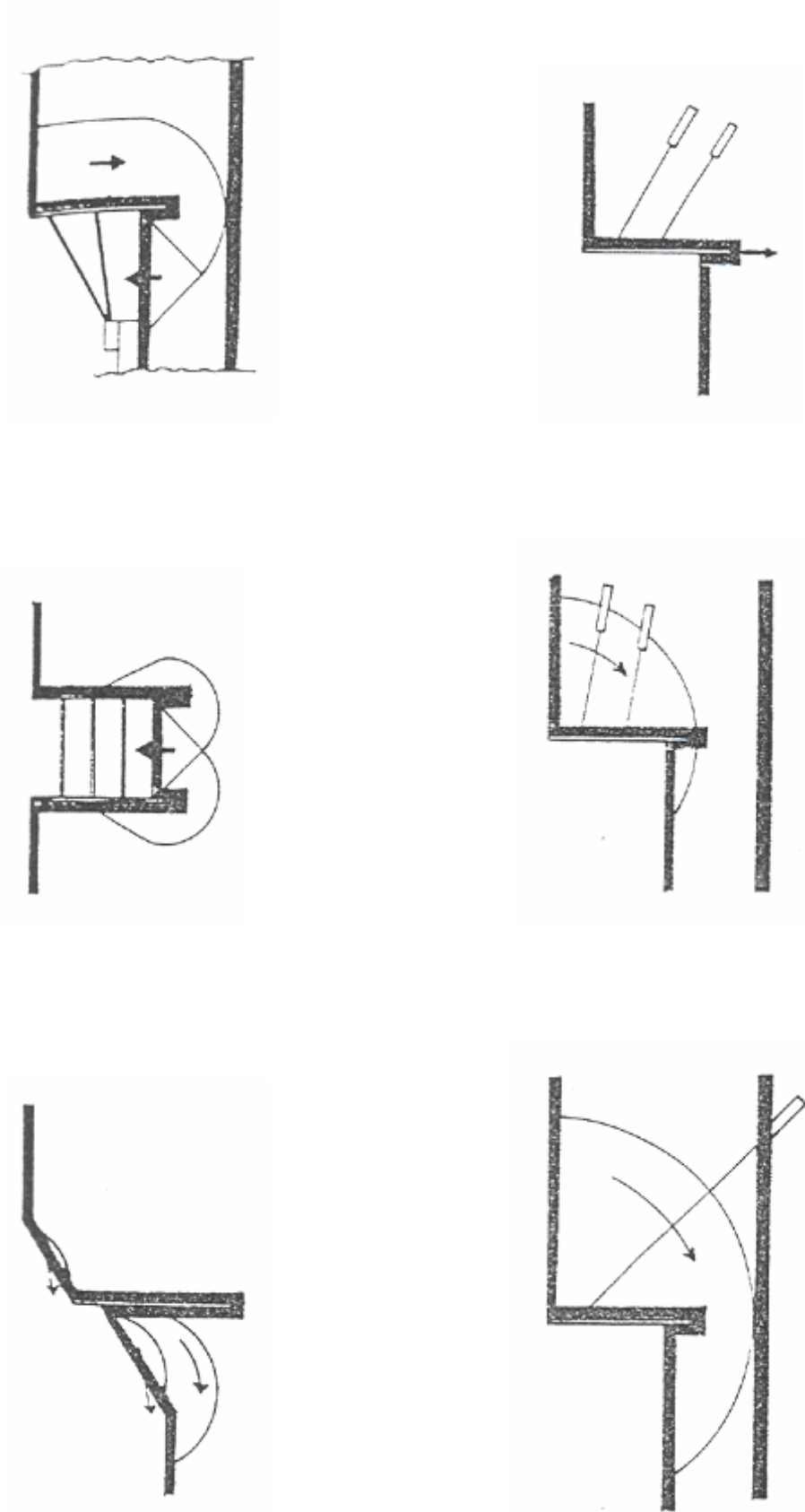
dir. Aksi halde o düzlemde şevin stabilitesi yoktur.

Pratikte şev stabilitesi hesaplarında izlenecek yol şöyle özetlenebilir;

Önce şev kütlesi içinde en büyük değerli kayma gerilmelerine maruz kalabilecek yüzeyler (muhtemel kayma yüzeyleri), tahmin edilir. Bu yüzeyler üzerinde doğan kayma gerilmeleri ve kayma mukavemetleri mukayese edilir. Yeter sayıda yüzey üzerinde yapılan incelemede elde olunan en düşük güvenlik sayısı (çok defa 1.5 olması istenir), kabul edilebilir mertebede ise şevin stabilitesi vardır. Kayma yüzeyleri olarak pratikte düzlem ve bilhassa dairesel silindirik yüzeyler alınmaktadır. Düzlem ve daire parçalarının birleştirilmesinden ibaret, kompozit kayma yüzeyleri de stabilite analizlerinde kullanılmaktadır.

Bugün her türlü şev stabilitesi analizinde en çok kullanılan metot İsveç Metodu veya Dilim Metodu dur. Bazı basit hallerde ϕ Dairesi Metodu'ndan elde olunmuş eğriler de kullanılmaktadır [3].

AASHTO ; istinat duvarı, şev ve temel zemini veya kayasının toptan göçmesi, analizin kısıtlı denge metotları kullanarak hesaplanmasını önermektedir. Modified Bishop, basitleştirilmiş Janbu veya Spencer analiz metotlarının kullanılabilceği belirtilmiştir. Yumuşak zeminin konsolidasyonunun veya yanal akımının kabul edilemeyen uzun dönemli oturmalar ve yatay hareketlerle sonuçlandığını, yumuşak zemin tabakaları üzerinde inşa edilen istinat duvarlarını ve köprü kenar ayakları özel incelemeler, deneyler ve analizler yapılması gerekebileceğini belirtmektedir [13].



Şekil 3.4 Derin kazılarda karşılaşılan stabilite problemleri

3.3. EUROCODE-7'ye (EC-7) Göre Tasarım Esasları

Eurocode-7 iksa sistemlerinin tasarımında limit tasarım yöntemi ve kısmi güvenlik sayıları yaklaşımını uygulamaktadır. Tasarımda hem Taşıma Gücü Sınır Durumu (Ultimate Limit State) hem de Elverişlilik Sınır Durumu (Serviceability Limit State) göz önüne alınmakta ve hesaplar her iki sınır duruma göre de yapılmaktadır. Tasarımı yapılacak yapı için önce aşağıda tariflenen kategorilerden biri seçilmektedir. EC-7'ye göre tasarımda 3 değişik geoteknik kategori yer almaktadır.

Geoteknik Kategori 1: Bu kategori sadece küçük ve nispeten basit yapıları içine almaktadır. Bu kategorideki yapılar gerek zemin koşulları ve gerek yapılar yönünden “düşük” risk grubundadır. Bu yapılara örnek olarak 1-2 katlı binalar, zemin üst ve alt seviyeleri arasındaki kot farkının 2 metreyi geçmediği istinat duvarları gösterilebilir.

Geoteknik Kategori 2: Normal tehlike ve sıkça rastlanır zemin şartları veya yüklenme şartları taşıyan geleneksel yapı ve temelleri kapsar. Bu sınıftaki yapılar genellikle geoteknik mühendisliği konusunda tecrübeli bir inşaat mühendisi tarafından tasarlanabilecek niteliktedir. Bu yapılar “orta” risk grubundadır. Normal zeminler üzerindeki dolgular, köprü kenar ayakları, zemin ankrajları, yüzeysel temeller, radye temeller, kazık temeller bu gruptaki yapılara örnek olarak gösterilebilir.

Geoteknik Kategori 3: Bu kategori, 1. ve 2. kategorilere dahil olmayan, alışılmış dışı veya az rastlanır zemin şartları ve yükleme şartlarına sahip büyük ve alışılmış dışı yapıları veya yüksek deprem tehlikesine sahip bölgelerdeki yapıları kapsar. Başka bir deyişle, büyük ve aşırı yüklü yapılar ile zor zemin koşulları üzerinde inşa edilecek yapıları içermektedir. Bu yapıların tasarımının uzman geoteknik mühendisleri tarafından yapılması gerekmektedir. Bu kategoride yer alan yapılar “yüksek” risk grubunda olup viyadükler, derin kazılar ve yumuşak zeminler üzerinde teşkil edilecek dolgular bu yapılara örnek olarak gösterilebilir. Geoteknik Kategori belirlendikten sonra,

-Genel stabilite bozukluğu

-Yapı elemanlarından birinin göçmesi (ankraj, duvar veya destek vb.)

- Zemin ve yapı elemanlarından birinin aynı anda göçmesi
- Duvarın aşırı hareketi sonunda göçmesi veya çevre yapı, altyapılara zarar vererek kullanılamaz hale getirmesi
- Duvar altından veya içinden önemli miktarlarda su sızıntısı olması
- Bölgedeki yer altı su rejiminin çevre yapıları etkileyecek şekilde değiştirilmesi
- Duvarın kayma ve dönme sonucunda göçmesi
- Duvarın düşey denge bozukluğu sonucunda göçmesi sınır durumlarının belirlenmesi gerekmektedir.

Aşağıda verilen Tablo 3.2, üst sınır durumların değerlendirilmesinde kullanılır. Tabloda belirtilen üç durumdan birinin en kritik olduğunun belirlenmesi durumunda diğer durumlar için hesap yapmaya gerek yoktur. Tabloda, sabit ve değişken şartların üst sınır durumunda nazarı itibara alınacak kısmi faktörler, (A,B ve C) olarak tanımlanan durumlar için verilmektedir. Aşağıda ayrı ayrı tarif edilen (A,B ve C) durumları için gerek yükler ve gerekse zemin parametrelerine Tablo 3.2’de verilen güvenlik sayıları uygulanır.

Durum-A : Genelde hidrostatik kuvvetlerin yer aldığı durumlar için geçerlidir ve su kaldırma kuvveti en elverişsiz yüklemeyi oluşturur. Zemine gömülü istinat yapılarının büyük çoğunluğunun Durum-A ile ilgisi yoktur.

Durum-B ; Genellikle temeller ve istinat yapılarının yapısal elemanlarının mukavemetlerinin yer aldığı tasarımlar için kritiktir. Şev stabilite analizi gibi yapı elemanının olmadığı problemler için uygulanamaz.

Durum-C : Genellikle şev stabilitesi gibi yapı malzemelerinin mukavemetlerinin değerlendirilmediği problemlerde esas alınır. Yapının geoteknik stabilitesinin önemli olduğu durumlarda, gömülü istinat yapı elemanlarının boyutlandırması için de kritik olmaktadır.

Tablo 3.2 Kısmi güvenlik sayıları (EC-7 Tablo 2.1) [10]

DURUM	YÜKLER			ZEMİN PARAMETRELERİ		
	KALICI		DEĞİŞKEN	tan ϕ '	c '	s _u
	ELVERİŞSİZ	ELVERİŞLİ	ELVERİŞSİZ			
DURUM-A	1.00	0.95	1.50	1.1	1.3	1.2
DURUM-B	1.35	1.00	1.50	1.0	1.0	1.0
DURUM-C	1.00	1.00	1.50	1.25	1.6	1.4

Tasarım yükü = Yük x Faktör

Tasarım parametresi = Parametre / Faktör

Tasarım zemin parametreleri:

Tasarımda kullanılacak zemin parametreleri, karakteristik değerlerin Tablo3.2 'de verilen kısmi güvenlik sayılarına bölünmesi ile elde edilir. Karakteristik değerlerin belirlenmesinde ise EC-7 tarafından güvenli tarafta kalmak amacıyla "muhafazakar" değerlerin seçilmesi önerilmektedir.

Yükler:

Tasarım için uygulanması zorunlu olan bir minimum sürşarj değeri bulunmamaktadır. Tasarımcı değişik koşullar için uygun yükleri kendisi tanımlayıp uygulamakta serbesttir. Sınır durumlar için sürşarj yüklerine Tablo 3.3'de verilen güvenlik sayıları uygulanmalıdır.

Tablo 3.3 Sürşarj yüklerine uygulanacak güvenlik sayıları [10]

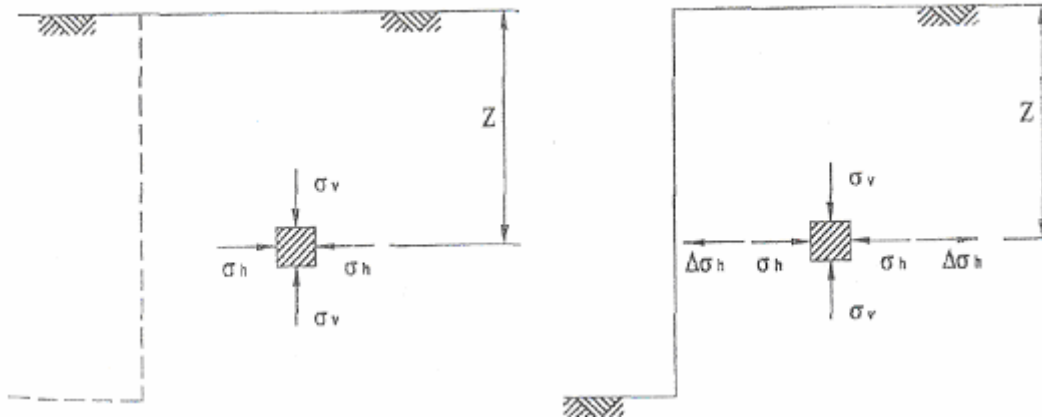
DURUM	SÜRŞARJ YÜKLERİ		
	KALICI		DEĞİŞKEN
	ELVERİŞSİZ	ELVERİŞLİ	ELVERİŞSİZ
DURUM-B	1.0	1.0	1.1
DURUM-C	1.0	1.1	1.3

Planlanmamış Kazı:

EC-7'ye göre sınır durumlar için ek bir planlanmamış kazı derinliğinin gerçek kazı derinliğine eklenmesi gerekmektedir. Bu derinlik konsol duvarlar için kazı derinliğinin %10'u, ankarlı/destekli duvarlar için ise son destek seviyesi ile kazı tabanı arasında kalan mesafenin %10'u veya 0.5 m (hangisi küçükse) olarak alınır. Elverişlilik sınır durumu kontrollerinde ise planlanmamış kazı derinliği hesaba katılmaz [10].

BÖLÜM 4. DERİN KAZILARDA KULLANILAN İKSA SİSTEMLERİ

Zeminde açılan bir çukur, zeminin kazılarak ağırlığının ortadan kaldırılmasıyla kazı altındaki zeminde düşey gerilmelerin azalması sonucunu doğurur. Aynı zamanda zeminin kaldırılmasından dolayı yatay yönde de bir gerilme azalması doğar. (Şekil 4.1). Bu gerilme azalması, zeminin stabilitesini bozacak kadar büyükse bu olay kazı etrafındaki zemin için yatay desteğin kaybolması anlamına gelmektedir. Oluşan bu gerilme kaybı yapılacak destekleme sistemi tarafından karşılanır. Bir derin kazı destekleme sisteminin amacı, kazı etrafındaki zemin için yatay destek sağlamak ve zeminin hareketini sınırlandırmaktır. İksa sistemleri geçici veya kalıcı iksa şeklinde yapılır. Geçici iksa sistemi kısa süreli açık kalacak kazılarda uygulanır. Çok uzun süre açık kalacak veyahut kazının bir bölümünün yapıyla kapatılmayacağı kazılarda ise kalıcı iksa düşünülür.

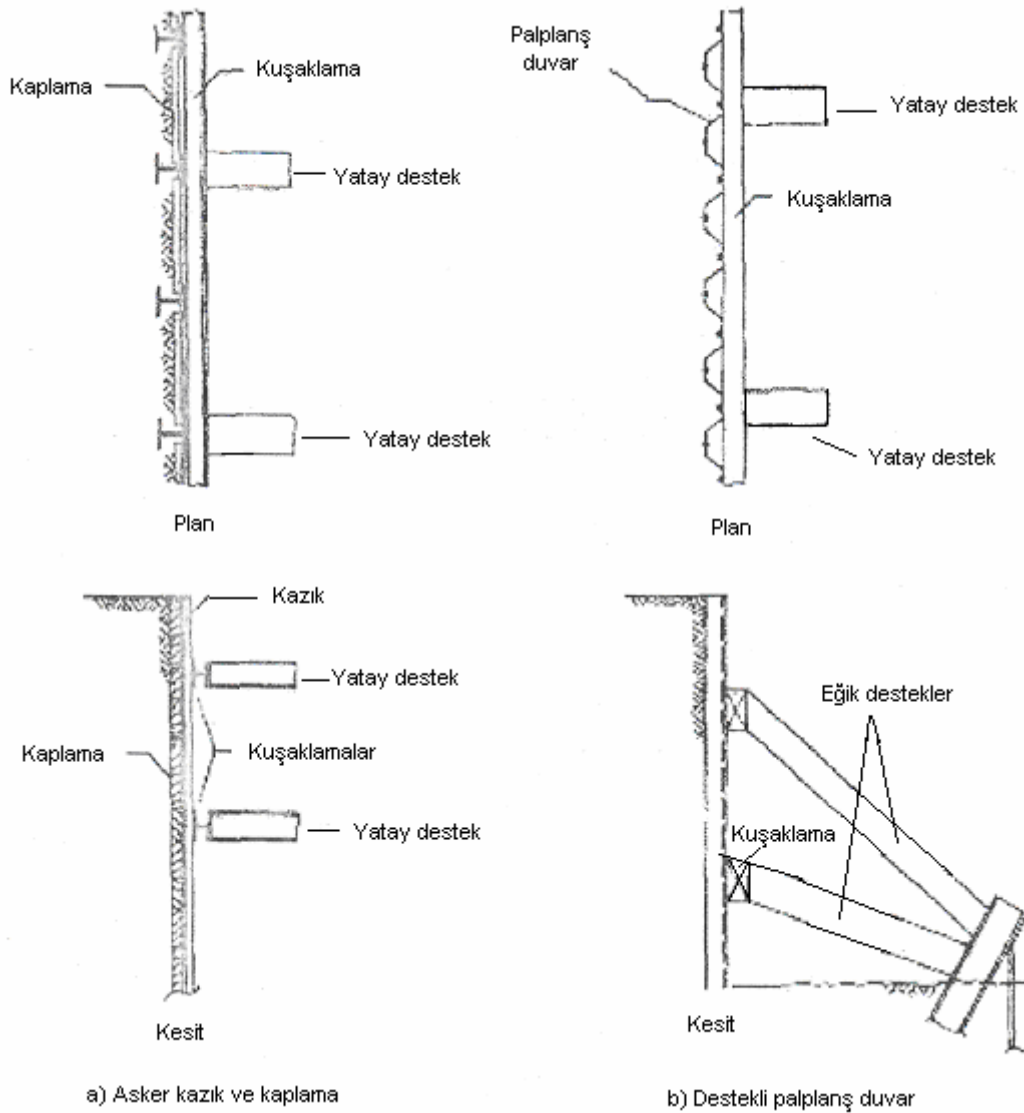


Şekil 4.1 Kazıdan dolayı oluşan gerilme boşalması

Destekleme sistemleri ya sadece düşey desteklerle yada düşey desteklerin yatay desteklerle birlikte kullanılmasıyla oluşturulur. Zeminin kaya olması durumunda düşey desteğe gerek kalmadan yalnızca yatay destek kullanılabilir. Genellikle derin kazılarda düşey ve yatay destekler birlikte kullanılır. Düşey

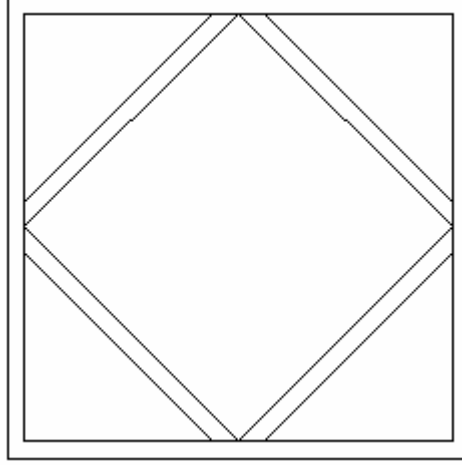
destekler olarak palplanş duvarlar, asker kazıklı ve kaplamalı duvarlar, teğet kazıklı duvarlar (kazıklar birbirine çok yakın olabildiği gibi daha aralıklı da olabilir), diyafram duvarlar ve derin zemin karıştırılmalı duvarlar sayılabilir. Düşey duvarlara uygulanan yatay desteklere ise, ankrajlar, zemin çivileri örnek gösterilebilir.

Şekil 4.2 de örnekleri verilen, yatay ve eğik desteklerin kullanıldığı destekli duvarlar, 1960'ların ortalarına kadar geniş ölçüde kullanılmıştır. Yatay ve eğik destekler kazı alanında hem çok fazla karışıklık yarattıkları, hem de masrafları ve kaza olasılıklarını arttırdıklarından, kentsel alanlardaki büyük kazılarda çok fazla kullanılmamaktadır [14].



Şekil 4.2 Destekli duvarlar [14]

Yatay destekler birbirine paralel eşit aralıklarla yerleştirilebilecekleri gibi Şekil 4.3 de görüldüğü gibi diyagonal da kullanılabilirler [15].



Şekil 4.3 Diyagonal destekler [15]

Destekleme sistemine ait elemanların boyutlandırılmasında ve seçilmesinde aşağıda belirtilen hususlar göz önünde tutulmalıdır:

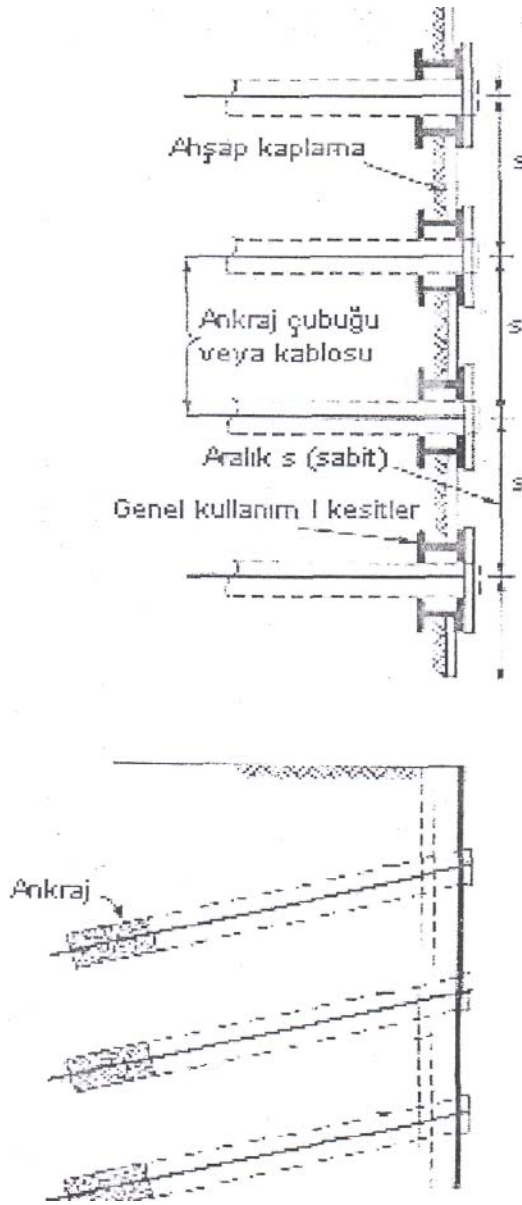
1. Destekleme elemanları burkulmaya ve aşırı deformasyona uğramadan toprak basıncı, su basıncı ve sürşarj etkilerini güvenlikle taşımalıdır.
2. Yatay destekler mümkün olduğu kadar seyrek konularak inşaat makinalarının temel çukuru içerisinde rahat çalışması sağlanmalıdır. Ankrajlı bir destekleme sistemi seçilmesi halinde yüksek kapasiteli-seyrek ankraj yerine, düşük kapasiteli- sık ankraj kullanılması yoluna gidilmelidir.
3. Zemin yüzeyinde oturmalara istenmiyorsa destekleme sistemi ankrajlarla geriye bağlanmalı ve ankrajlara öngerme uygulanmalıdır.
4. Esas yapıya ait radye temeli ve bodrum katları yatay destek olarak kullanmanın mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır [16].

4.1. Asker Kazıklar ve Kaplama Duvarlar

Asker kazıkları ve kaplama duvarları derin kazılarda kullanılan en eski dayanma sistemlerindedir. Bu duvarlar 18. yüzyılda New York , Berlin ve Londra gibi metropollerde başarıyla uygulanmışlardır. Bu metot; çelik kazıklar ve ahşap kaplama kullanılmışsa “Berlin Duvarı” olarak ta bilinir.

Şekil 4.4 de görülen asker kazık ve kaplama sistemi ise günümüzde popüler bir sistemdir. Sistem temel olarak, kazı tabanı altında belirli bir derinliğe kadar çakılmış çelik H veya I kesitli kazık çiftlerinden ve ankrajlardan oluşmaktadır. Aralıkları 2-4 m civarında olduğundan ahşap kaplama da kullanılabilir. Kazık aralığından azıcık daha kısa uzunlukta, 50-100 mm. kalınlığında olan ahşap kaplamalar ön flanşların arkasına arkasına kurulurlar. Arka bağ için ankraj delikleri, delgi ekipmanları ve kazının mevcut kurulmuş yapıları kullanılarak açılırlar. Ankrajlar, asker kazık flanşları üzerindeki taşıma levhaları kullanılarak kurulurlar. Ayrıca ankrajdan gelen düşey yük bileşeni için çivilerle kaynaklanırlar. Kirişleri hizada tutabilmek için ilave kaynak operasyonları da gerekebilir [14].

Asker kazık ve kaplama sisteminin kurulması ve kaldırılması kolaydır. Malzemeler birkaç defa kullanılabilirler. Dezavantajları ise, bitişik yapıların sahiplerinin ankrajların kendi sahalarına da taşıyacak şekilde kurulmasına izin vermemesi ya da ücret talep etmesi olasılığıdır. Çünkü ankrajlar kaldırılmamakta ve yer altında sürekli engeller oluşturmaktadır.



Şekil 4.4 Asker kazıklı ve kaplamalı duvar [14]

4.2. Palplanş Duvarlar

Bir zemin kütlesini tutmak amacıyla teker teker bir dizi halinde zemin içerisine çakılan elemanlar ile oluşturulan düşey sürekli duvarlar palplanş duvarlar olarak adlandırılırlar. Palplanş duvarlar zeminden gelen yatay yüklerin büyük bir kısmını, düşey yüklerin ise çok az bir kısmını tutabildiklerinden statik sistem olarak düşey yönde oturtulmuş bir kiriş olarak düşünülebilir. Kesit olarak uzunlukları genişliklerine oranla çok fazla olduğundan narin birer yapı elemanıdır. Palplanşlar ince, geniş çelik kazıklardır. Zemine tokmaklar kullanılarak çakılırlar. Palplanş duvarlar, genel olarak, su tutma yapılarının inşaatında, diğer duvarların yapımı esnasında suyu inşaat sahasından uzak tutmak için veya hafif yapılarda üst zemin tabaka veya tabakaların istinat yapısını desteklemeye yetersiz kaldığında kullanılırlar. Bu genel uygulama alanlarını da içeren palplanş duvarlar pratikte dalgakıranlarda, deniz içinde inşa edilen duvarlarda, derin kazı duvar kaplamalarında kullanılırlar.

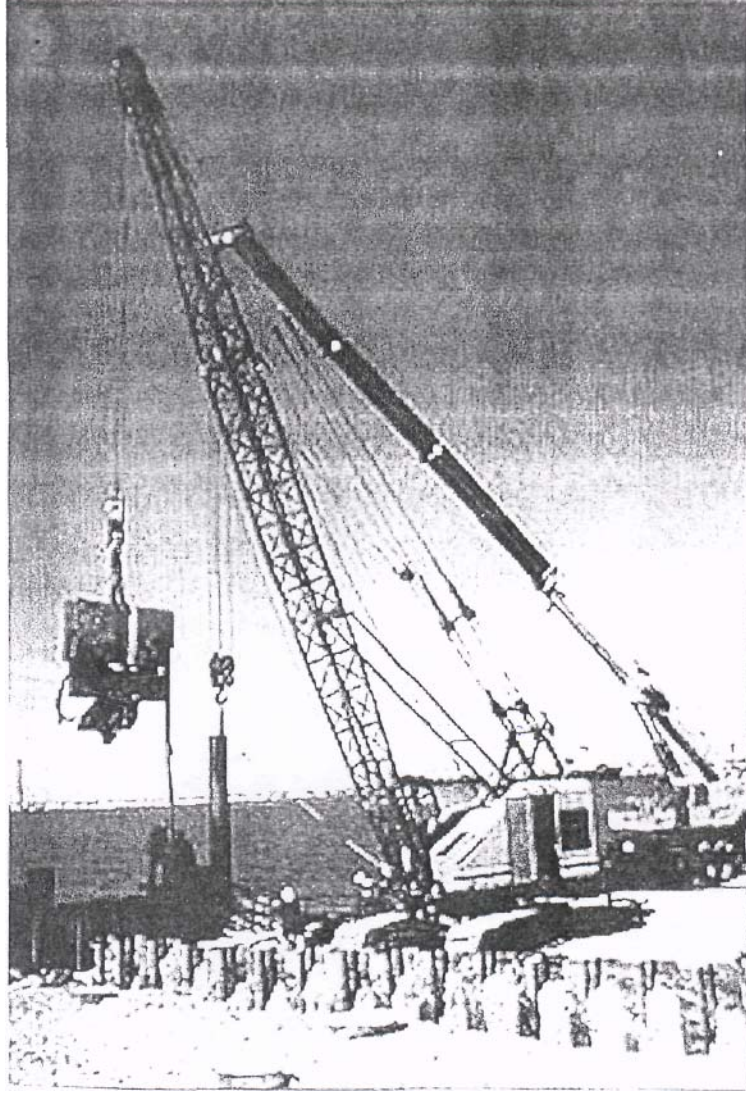
Bununla beraber palplanş duvarlar;

- a) Yüksek bükülebilirlik dayanımı isteyen çok yüksek duvarlarda,
- b) Zemin özellikleri yüzünden (sert kaya veya zeminin büyük kaya blokları içermesi)
- c) Çakma zorlukları olan bölgelerde, kullanışlı değildir.

Palplanş duvarlar yapısal açıdan;

- a) Ankastre (gömme)
- b) Ankrajlı
- c) Destekli

olarak inşa edilebilirler. En büyük özellikleri zemin problemlerine çabuk çözümler getirilmeleridir.



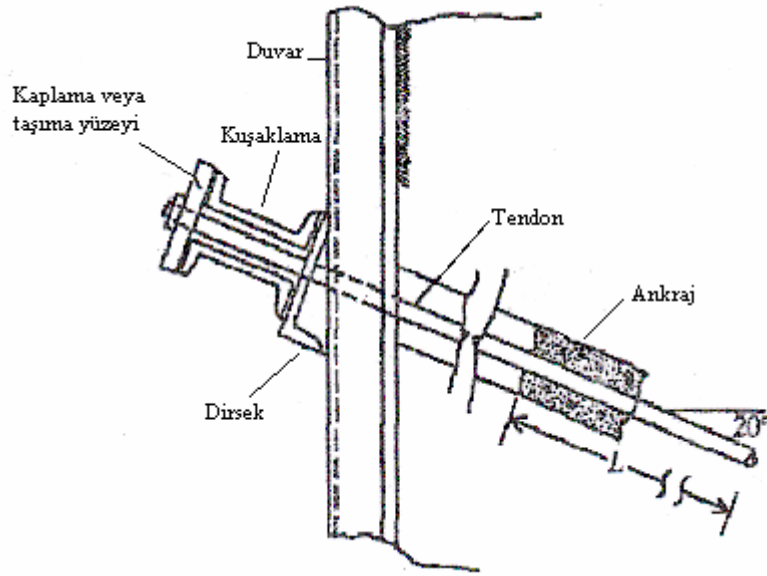
Şekil 4.5 Palplanş Duvar İnşası

Palplanş duvar inşası Şekil 4.5 de görülmektedir.

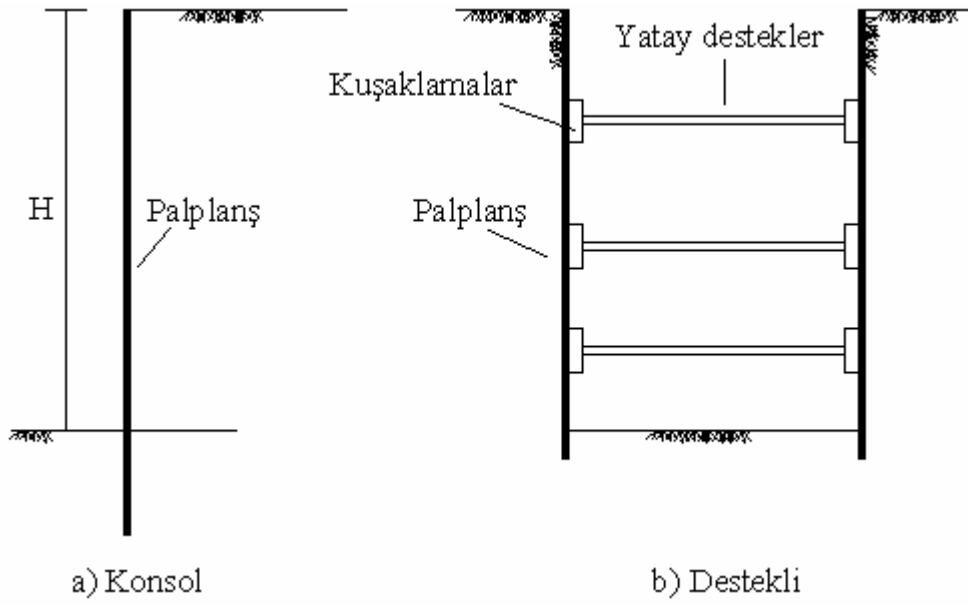
Palplanş duvarlar genel olarak 3 tipte imal edilirler.Bunlar;

- a) Ahşap Palplanşlar
- b) Betonarme Palplanşlar
- c) Çelik Palplanşlar

Şekil 4.6 da palplanş duvarda ankraj detayı , Şekil 4.7 de palplanş duvar çeşitleri verilmiştir.



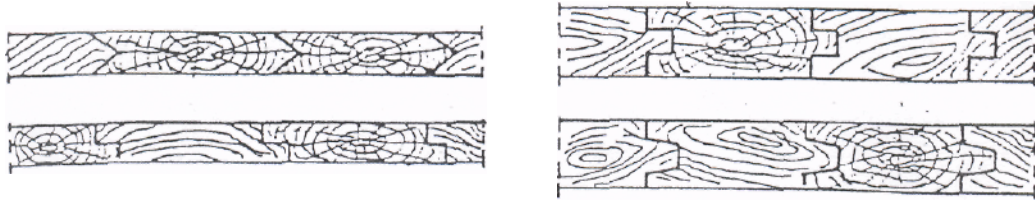
Şekil 4.6 Ankraj detayı [15]



Şekil 4.7 Palplanş duvar çeşitleri

4.2.1. Ahşap palplanşlar

Ahşaptan oluşan bu elemanlar zaman içerisinde zemin şartlarından büyük hasarlar görebildiklerinden sadece geçici amaçlar için kullanılırlar. Şekil 4.8 de görüldüğü gibi tekli veya çiftli olarak kullanılabilen ahşap palplanşların Wakefield denilen üçlü tipleri de mevcuttur. Tekli tipleri duvarın bütünlüğünü sağlamak amacıyla geçmeli olarak da imal edilebilirler.



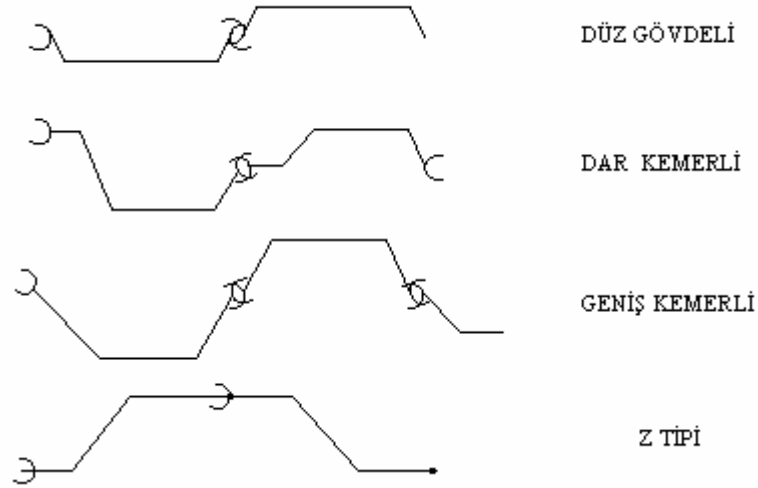
Şekil 4.8 Ahşap palplanş tipleri

4.2.2. Betonarme palplanşlar

Betonarme palpanşlar servis yüksekliklerine karşı dayanabilecek şekilde istenilen kesit ve boyda imal edilebilirler. Ağır ve büyük hacimlidirler. Bu sebeple taşınmaları ve çakılmaları sırasında problemlere yol açabilirler. Kısa boylu betonarme palpanşlar tepesinden üçte birlik mesafeden bağlanarak taşınabilirler. Uzun palpanşları taşımak için üzerlerine iki yada daha fazla taşıma noktası tertiplenmelidir. Kullanım amaçları dolayısıyla eğilme gerilmelerini taşımak üzere donatılı olarak tertiplenirler. Ayrıca taşıma ve çekme esnasında ilave yükselmelere karşı koymak için ilave donatılar yerleştirilmelidir. Çakma tesirlerine karşı koymak için alt ve üst uçlarına donatı sıklaştırılması da yapılır. Su sızdırmazlığı istenen yerlerde birleşim yerleri su geçirmeyecek şekilde tertiplenir. Hacimlerinin büyük olması nedeniyle çakıldıklarında oluşturacağı büyük yer değiştirmeler sonucu çakılmaları zordur. Büyük rijitliğe sahip olduklarından eğilme momentinin büyük olduğu yerlerde diğer tiplere tercih edilir.

4.2.3. Çelik palplanşlar

Çelik palplanşlar, dökme demirden birbirine geçmeli olarak imal edilirler. Kesit şekilleri çok değişik olan çelik palplanşların pratikte çok kullanılan tipleri Şekil 4.9 da görülmektedir.

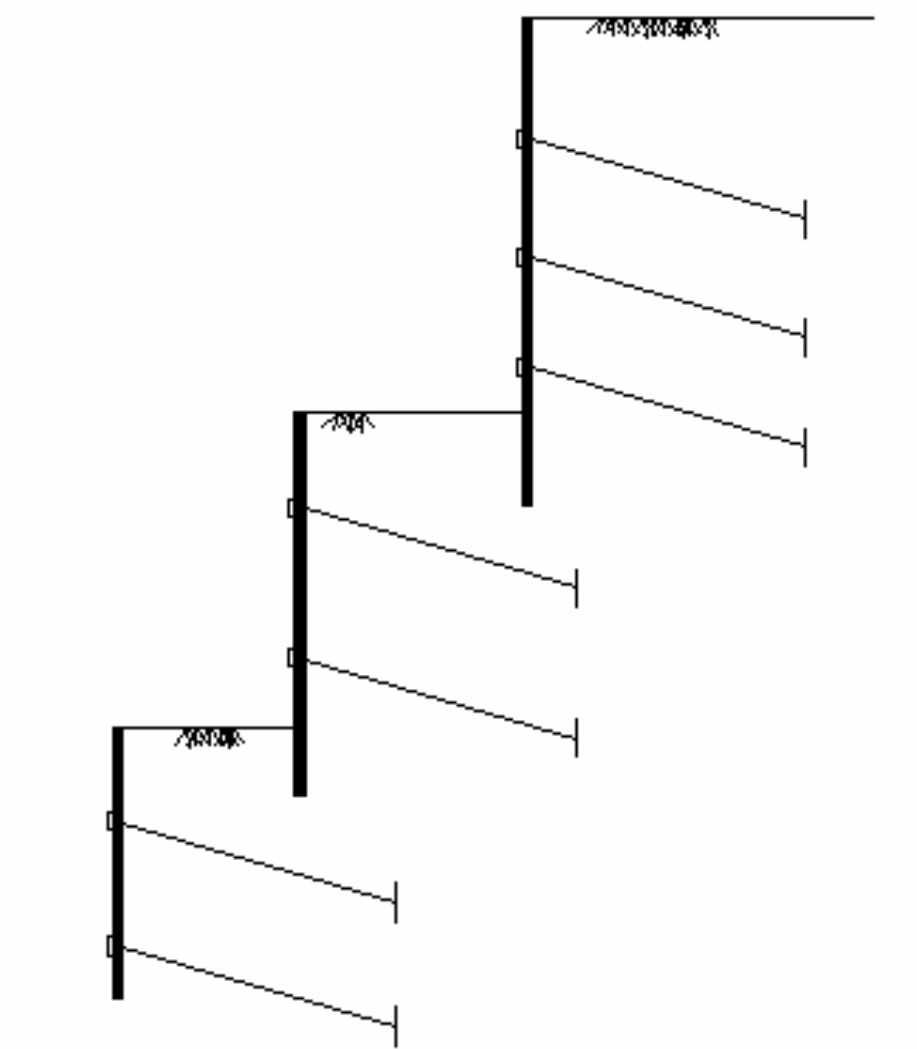


Şekil 4.9 Çelik Palplanşlar

Bütün çelik palplanşlar zemine genellikle çakılarak yerleştirilir. Köşe elemanları ve derzler Y yada T tipi olup perçin veya kaynakla birleştirilir. Düz gövdeli palplanşlar çekme gerilmesi taşıyan, geçme yerlerinin dayanımının yüksek olmasının istendiği yerlerde, özellikle hücreli batardolarda, kemerli palplanşlar büyük eğilme ve konsol yükü taşıyan yerlerde, Z tipi palplanşlar ise büyük bükülme dayanımı gerektiren yerlerde kullanılırlar.

Kazı eğer hassas yapılara yakın yapılıyorsa, hareketlerin kontrolü açısından genelde diyafram duvar veya kesişen kazıklı duvar tercih edilecektir. Yakınında hassas bir yerleşim bulunmayan katı killerdeki kazılarda ise daha esnek olan palplanşlar tercih edilebilir. Palplanşların inşa edilmesi yakındaki yapılarda, diyafram duvar ve kazıklı duvarlara göre çok daha az harekete sebep olmaktadır. (Belkide hiç harekete sebep olmayacaktır.) Kazı yapılacak zemin kaya ise veya kayaya doğru yapılacaksa, palplanşın veya kazığın kaya içine çakılması gerekecektir. Bazen, özelliklede palplanşlarda, çakılma işleminin kazı derinliğinin tamamı için bir anda

gerçekleştirilmesi imkansız olabilir. Bu gibi durumlarda kazının Şekil 4.10 da gösterildiği gibi aşama aşama gerçekleştirilmesi mümkündür. [14]



Şekil 4.10 Kademeli kazı işlemi [14]

Palplanş duvarların da, asker kazıklar ve kaplama sistemleri gibi kurulması ve kaldırılması kolaydır. Malzemeleri birkaç defa kullanılabilir. Dezavantajları ise, bitişik yapıların sahiplerinin ankrajların kendi sahalarına da taşacak şekilde kurulmasına izin vermemesi yada ücret talep etmesi olasılığıdır. Çünkü ankrajlar kaldırılmamakta ve yer altında sürekli engeller oluşturmaktadır.

4.3. Kazıklı Duvarlar

Tutulması gereken zemin yüksekliği fazla, buna karşın zemin özellikleri yetersiz olan ortamlarda uygulanırlar. Kazıklı duvarların arkasındaki temel fikir şudur: Standart delme kazıklar yeterince yakın yerleştirilebilirlerse sağlam bir duvar oluşturacaktır. Kazık duvarlar ise genellikle şu durumlarda kullanılmaktadır:

- a) Asker kazıkların veya palplanjin çakılması çok zorsa,
- b) Hemen hemen su geçirmez bir duvar gerekliyse (böylece inşaat çevresi dışındaki su seviyesi düşürülür),
- c) Dayanma duvarı yapısal sistemin kalıcı bir parçası olarak kullanılacaksa (bodrum duvarları gibi),
- d) Tüm saha alanını kullanmak gerekliyse ve bitişik mülk sahipleri kendi yer altlarının ankrajların kurulması için kullanılmasına izin vermiyorsa ya da yer altında zaten hali hazırda mevcut engeller varsa (tünel, bodrum duvarı gibi).

Kazıklı duvarlar genel olarak fore kazıklardan imal edilirler. Kazı çapları 10 cm ile 200 cm arasında değişmektedir. Geçirimli ve geçirimsiz perdeler olarak da teşkil edilebilirler. Kazıklı perdeler (duvarlar) birkaç şekilde imal edilebilirler. Şekil 4.11 de çeşitli şekillerde oluşturulan kazıklı perdeler görülmektedir.

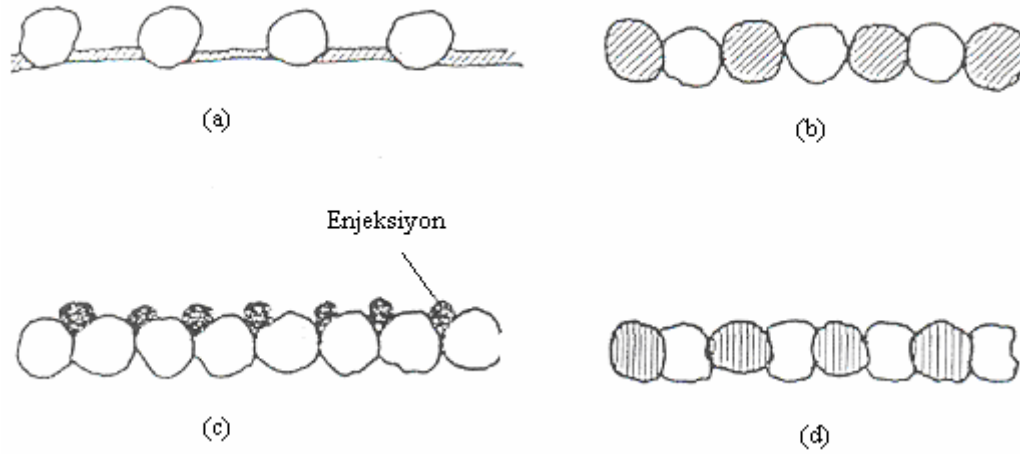
4.3.1. Aralıklı kazıkla oluşturulan perde

Toprak itkisinin yüksek olmadığı ve kazık arasından kaymayacağı durumlarda kazıklar aralıklı imal edilir. Perdenin geri kalan bölümü ayrıca oluşturulur. Su geçirgenliğini önleyemez. Yer altı suyu olan bölgelerde, su seviyesinin taban kazı kotunun altına düşürülmesi icap eder.

4.3.2. Kesişen kazıkla oluşturulan perde

Duvarın geçirimsiz olması gerektiğinde kazıkların birbirine bağlanması ile oluşan kesişen kazıklı duvar en uygundur. Kesişen kazıklı duvar için ilk önce, 1 m. Kalınlığında ve kazık çapından 400-600 mm. daha büyük değerdeki bir genişlikte

beton yardımcı duvar yapılır. Bu yardımcı duvar tercihen, ilk kazıklar için önceden hazırlanmış koruyucu kılıfları da içeriyor olabilir. İlk (dişi) kazıklar için delme işlemi gerçekleştirilir. Bunun için kılıf da kullanılabilir fakat işlem bitince kılıflar geri çekilmelidir. Delme işleminden sonra gerekli donatı yerleştirilir ve kazıklar hazırlanır. Sertleşmeden sonra, kesen kazıklar (erkek kazıklar) için delme işlemi gerçekleştirilir. Bu işlem esnasında, kesişme bölgelerinde, ilk kazıklara ait parçalarda ortadan kaldırılmış olur. Böylece iki kazık arasında bir birleşim elde edilmiş olur. Erkek kazıklarda kılıf kullanılarak hazırlanabilir. Fakat bu sefer işlemler bittikten sonra bu kılıfların kaldırılması zorunluluğu yoktur. Kesişen kazıklı duvarlar aynı zamanda bir çimento bulamacı kullanılarak da inşa edilebilirler. Böylece kesen kazıklar için kesme işlemi de çok zor olmamış olur [14].



Şekil 4.11 Kazıklı perdelerin inşası [14]

4.3.3. Enjeksiyonlu teğet kazık perde

Yer altı suyunun yüksek ve hareketli olduğu durumlarda perdenin tam geçirimsizliği sağlamak için arkasında kazık birleşme noktaları enjeksiyonla tıkanır.

4.3.4 Bindirmeli kazıklı perde

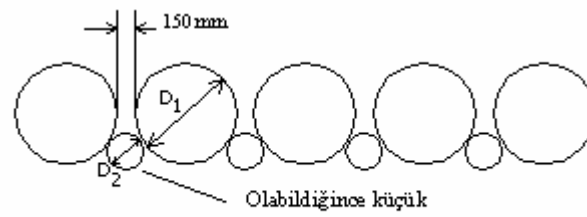
Toprak basıncının yüksek ve zemini doygun olduğu durumlarda uygulanır. İmalat için özel makine kullanılır.

Ankrajlar kazıklı duvarlar içinde kullanılabilirler. Eğer kazıklar oldukça yatay kontak halindeler ise, ankrajlar için kuşaklama da gerekecektir. Kesişen tip kazıklar için ankraj deliği kazık içinden geçerek açılmaktadır. Fakat mümkün olursa, büyük çaplı plastik tüp parçaları kullanarak, baştan kazık içinde ankraj delikleri bırakmak daha pratik bir yoldur [11].

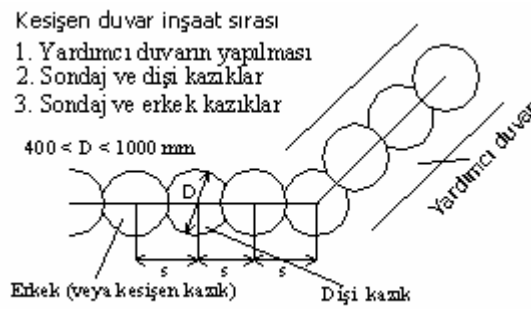
Şekil 4.12 de bazı kazık duvar konfigürasyonları görülmektedir. Şekil 4.13 de ise ankrajlı kazıklı duvar şekli verilmiştir.

Fore kazıkla oluşturulan kazıklı perdeler uygulamada TS 3168-EN 1536 Jeoteknik Uygulamalar – Delme (Fore) Kazıklar (Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar) standardı dikkate alınarak yapılmaktadır.

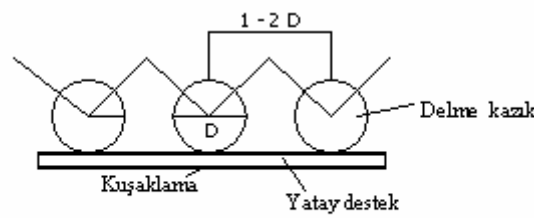
İnşaat sahası ve yollar imalatın düzgün yapılabilmesi için düzgün ve kuru tutulmalıdır. Delgi makinesi, paletli vinç, beton mikseri, beton pompası ve sair ağır iş makinelerinin 10 cm. den fazla batmadan çalışmasına imkan sağlayacak biçimde düzeltilip sıkıştırılmalıdır. Dolgular delgi işini zorlaştırmayacak uygun malzemelerle yapılmalıdır. Çalışma sırasında uygun yüzey drenaj sistemi tesis edilerek platformun kuru kalması sağlanmalıdır. Foraj malzemesi ve yer altı suyu sürekli olarak sahadan uzaklaştırılarak çalışma sahasının bozulması önlenmelidir. Kazıkların zemine işaretlenmesi uzman ölçüm ekibi tarafından tek tek yapılmalıdır. Kazıkların planda, düşeyde ve eğimindeki sapma miktarları toleransları aşamaz. Kazıların yerleştirilmesi sırası daha önce yapılmış olan kazıkları yerlerinden yatay ve düşey doğrultularda minimum derecede hareket ettirecek şekilde olmalıdır. Bir kazık bitiminden en az 24 saat geçmeden zayıf zeminde 3 çap, sadece ön muhafaza borusunun yeterli olduğu sıkı zeminde 1 çap çevresinde delgi yapılmayarak, imalat atlamalı olarak sürdürülmelidir.



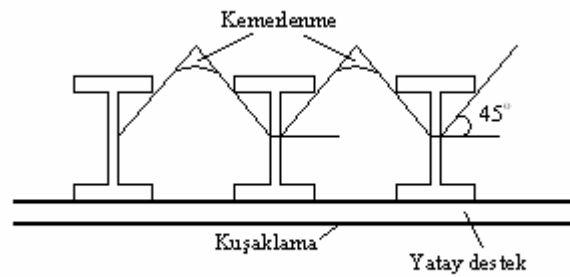
a) İki sıra delme kazık kullanılması



b) Kesişen kazık metodu

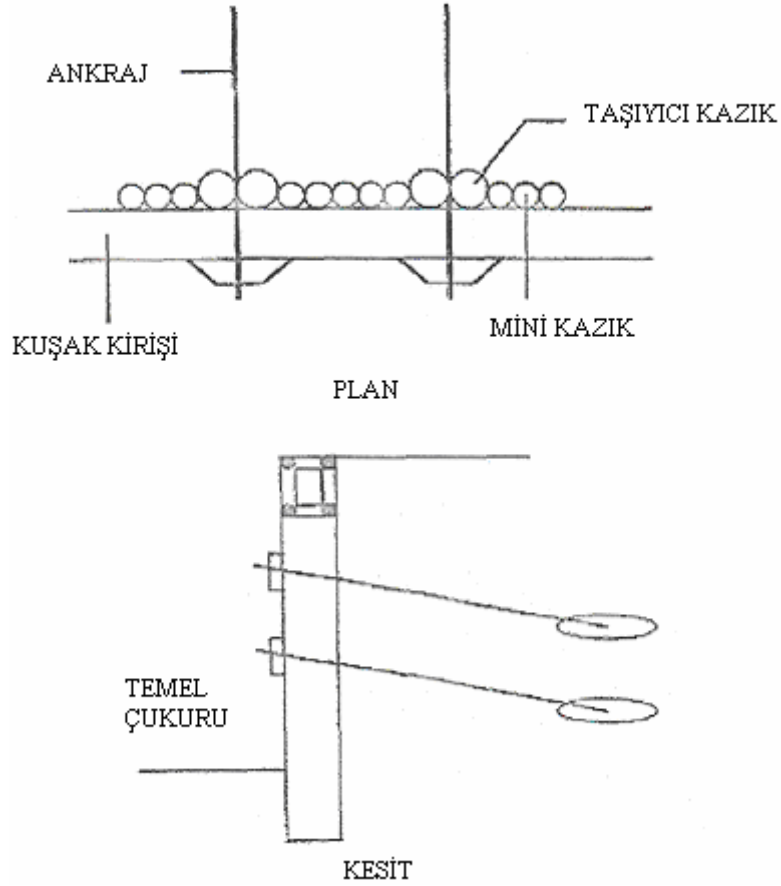


c) Tek sıra yakın yerleştirilmiş kazıklar, kazıklar arasındaki kemerlenme etkisi zemini tutuyor



d) Delme kazıklar yerine H kazıkların kullanılması

Şekil 4.12 Bazı kazık duvar konfigürasyonları [11]



Şekil 4.13 Ankrajlı kazıklı duvar [11]

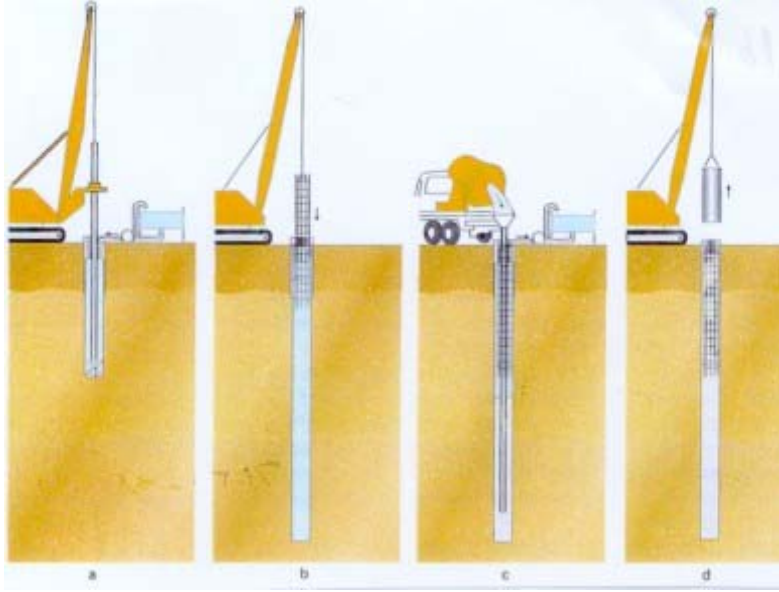
Delme, yerinde dökme, betonarme, $\text{Ø}65\text{-}150$ cm çaplarında kazıkların delme işlemi, yüksek tork kapasitesine sahip kendi boru sürebilen, teleskobik kuleli hidrolik delgi makineleri ile yapılmalıdır. Delme kil matkabı ile yapılacak, sert tabakaların geçilmesinde kaya matkabı ve gevşek sulu zeminlerde gerekirse kova kullanılacaktır. Kayadaki soket boyu için projesinde standartlara uygun olarak belirlenmiş gelen yükleri taşıyabilecek soket boyu kontrol edilerek uygulanmalıdır. Proje müellifinin öngördüğünden daha zayıf veya daha sert, farklı bir zeminle karşılaşılması durumunda, zemin sınıflarının derinliğe göre değişimini gösteren kuyu logu doldurulmalı ve gerekli düzeltmeler yaptırılmalıdır. Delmeye, gerekli proje derinliğine ulaşıncaya dek, seçilen yöntemlerle devam edilmelidir.

-Yer altı suyunda akıntı bulunuyorsa veya artezyen (hareketli su) yapıyorsa, betonun yıkanması ve agregasından ayrılma tehlikesi olduğunda;

-Kazıkların yumuşak ve çökme tehlikesi olan zemin katmanlarının içinde bulunduğu durumlarda;

muhafaza borularının kullanılması uygun olacaktır. Kullanılan beton miktarının hesabında, muhafaza borularının iç ve dış çap (\emptyset 670 / \emptyset 750 mm , \emptyset 800 / \emptyset 880 mm, \emptyset 920 / \emptyset 1000 mm) ölçüleri dikkate alınmalıdır. Delme işlemi, yer altı su seviyesinin üstünde bile olsa, çelik boruların zemine inişi, boru içi malzemenin dışarı çıkarılmasından önde gidecektir ve boru alt ucu her zaman delme kotu altında bulunacaktır. Geçici muhafaza boruları dökülen betonun işlenebilirliğini kaybetmeden önce çıkartılacaktır, ancak betonla boru arasında “sarılma/(necking)” ya meydan verilmemesi için muhafaza borusu çekilirken betonun eklenmesine de devam edilecektir. Her an boru içinde yaklaşık 2 metre yüksekliğinde taze beton kalmalıdır.

Ancak muhafaza borulu çalışmada “sarılma” ya izin verilmemesi kaygısıyla kuyu boyunca beton doldurulup daha sonra muhafaza borularının çekilmesi yoluna kesinlikle gidilmemelidir. Muhafaza boruları her biri içinde yaklaşık 2 metre yüksekliğinde beton kalacak şekilde birer birer çekilerek zeminin muhafaza borusunu sıkması dolayısıyla makinenin muhafaza borusunu çekme zorluğu yaşamasına izin verilmemelidir. Yer altı su seviyesi altında delgi yapılırken, delgi içindeki su seviyesi devamlı olarak yüksek tutularak, kuyudan boşaltılan zeminin basıncı yer altı su seviyesinin üzerinde tutulan su basıncıyla karşılanacaktır. Özellikle ince kumlu ve milli zeminlerde, delgi aletleri kuyunun dışında iken, kuyudaki su seviyesi yer altı su seviyesinin yaklaşık 2 metre üstünde olmalı ve bu farklı su seviyesi bütün delgi süresince temin edilmelidir. Delgi işi yapılırken basınçlı yer altı suyu tabakası delinmesi bekleniyorsa, muhafaza borusu, bu tabakaya ulaşmadan önce en yüksek artezyen basıncını karşılamaya yeterli basınçtaki su ile doldurulmalıdır. Artezyen su basıncının olup olmadığı konusunda herhangi bir tereddüt varsa delme yüksek su sütunu ile yapılacaktır. Artezyen üst seviyelerde ise, o bölüm muhafaza borusu ile geçilebilir. Ayrıca bentonitli delgi yapılabilir. Sözleşmede ve teknik şartnamede özellikle belirtildiği ve muhafaza borusunun yeterli olmadığı hallerde doğal veya sentetik bentonit çözeltisi kullanılarak kuyuların duraylılığı sağlanabilir. Bentonit çamuru delgi esnasında ve betonlama işlemi süresince delik duvarlarının göçmesini önleyecek seviyede tutulmalıdır [17].



Şekil 4.14 Fore kazık imalatı yapım aşamaları

Şekil 4.14 de fore kazık imalatı yapım aşamaları gösterilmiştir.

4.4. Diyafram Duvarlar

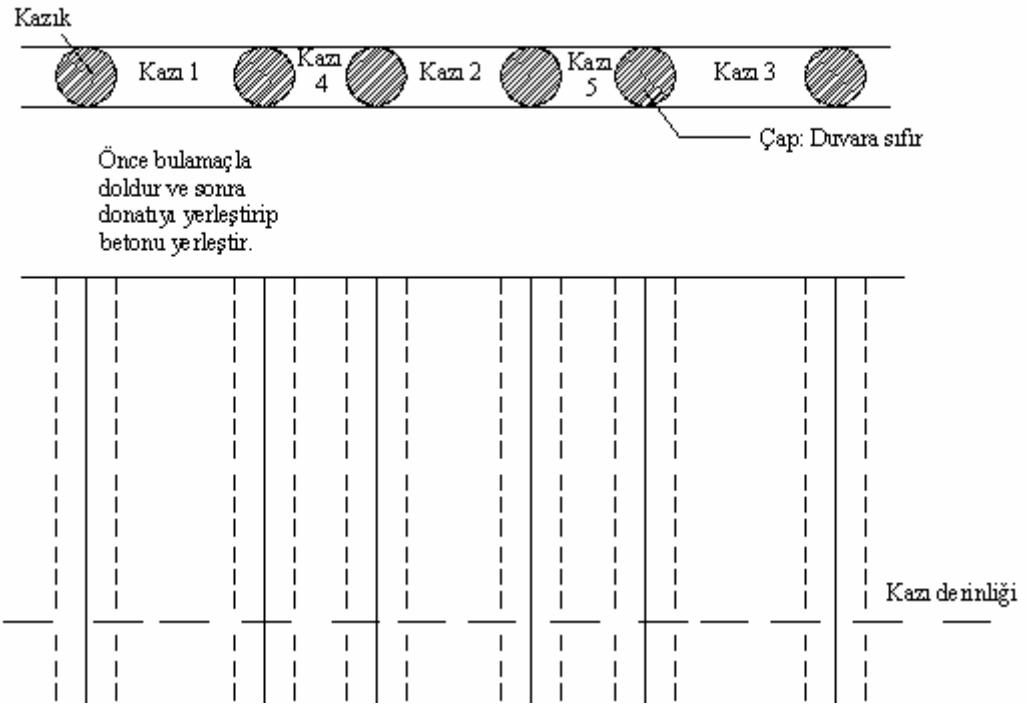
Derin kazıların önem kazandığı son yıllarda geoteknik mühendisliğinde geniş bir uygulama alanı bulan yöntemlerin en yaygınlarından biri diyafram duvarlardır. Bu duvarlar bulamaç duvarlar ya da diyafram-bulamaç duvarlar olarak da isimlendirilmektedirler. Bu tekniğin temeli zemin içerisinde kazı makineleri ile açılan dar, derin bir hendeğin kazı esnasında beton dökülünceye kadar, özel bir bulamaçla desteklenmesi ve daha sonra beton dökülerek zemin içerisinde parça parça veya diyafram olarak düz bir duvar oluşturulmasına dayanır. Kazı hendeğini bentonit bulamacı ile destekleyerek diyafram duvar oluşturulması ilk olarak 1940' lı yıllarda gerçekleşmiştir. Bu duvarların klasik betonarme duvarlara üstünlüğü kazı miktarının minimum olması, diğer bir deyişle, duvar genişliği kadar bir genişliğe sahip olmasıdır. Bu özelliği sebebiyle diyafram duvar tekniği ile kazı alanına bitişik binalar bulunması halinde de inşaatı mümkün olmaktadır. Diyafram duvarlar kazı hendeğinin desteklenmesi yada hem bu amaç için hem de inşa edilecek yapının birer taşıyıcı elamanı olarak tasarlanabilirler. Bulamaç duvarlar kazıların desteklenmesi anlamında çok yönlü sistemlerdir. Çünkü her zemin için ve hemen her derinlik için kullanılabilirler. Ayrıca diğer sistemlerin sağladığı, su geçirmezlik, yük taşıma,

kaplama gibi fonksiyonları da fazlasıyla sağlamaktadır. Bulamaç duvarlar ayrıca, saha şartlarına da şeklen uymada mükemmeldir. Örnek olarak bulamaç duvarlar, diyagonal veya kavisli kalıplarda inşa edilebilir. Bulamaç duvarlar yatay destekler veya yapıda kullanılacak diğer destek sistemleri gibi sahayı karmaşık bir hale getirmezler.

Bütün bunlara rağmen bulamaç duvarlar, inşası pahalı ve komplike yapılardır. İnşaat süreci çok maliyetli bir kazı ve pompalama ekipmanı gerektirmektedir. Bulamaç duvarlar sadece, suyun uzaklaştırılması şartsa ve başka bir çözüm makul değilse ekonomik olmaktadır.

Şekil 4.15 de bir diyafram duvarın inşaat metodunu göstermektedir. Burada kazıklar belirli aralıklarla çakılmakta, ve değişik kesitler, kazıyı dolu tutmak için bulamaç eklenerek, gerekli derinliğe ulaşıncaya kadar sırayla kazılmaktadır. Kazının kenarlarını göçmeden koruyabilmek için, üniform bir yoğunluk sağlamak için yeterli derecede çalkalanmış bir bulamaç ile dolu olmasının sağlanması gereklidir. Daha sonra donatı kafesleri yerine yerleştirilir ve kazı, betonla (betonun kazının üstünden altına taşınmasına yardımcı olan bir boru yoluyla) yukarıdan aşağıya doldurulur. Betonla yer değiştiren bulamaç, duvarın bir sonraki bölümünde kullanılmak üzere bir bulamaç çukurunda toplanır. Boru kazıklar, ilk duvar bölümleri şekillendikten ve kısmen de kürünü aldıktan sonra geri çekilebileceği gibi yerinde de bırakılabilirler. Bu kazıkların amacı bölümler arasında süreklilik ve su geçirmez bir kesit sağlamaktır [14,18].

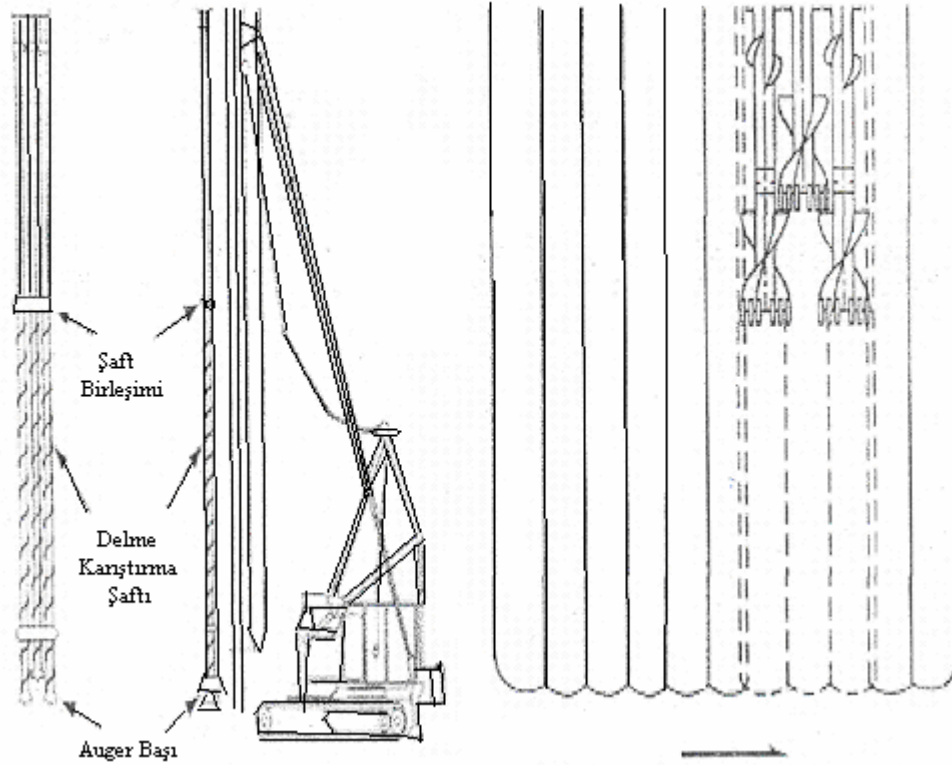
Bulamaç duvarlar genelde ankastre sistemlerdir. Fakat, duvar derinliğinin, kazıkların yanal basınçlara kendi kendine yeterli olamayacağı kadar büyük olduğu durumlarda, duvarlar yatay desteklerle veya arka bağlarla desteklenebilirler. Arka bağlar, beton içinden geçerek delme işleminin yapılmasını gerektirmektedir. Günümüz modern ekipmanlarıyla bunun donatıyla kesişmeden yapılması mümkündür. Bu tarz duvarlar, genellikle kalıcı yapının bir parçası olarak bırakılırlar.



Duvar bölümlerini bağlamak için kazıkları çak. 1.,2. ve mümkünse 3. kazı alanlarını kazıyı açık tutmak için bulamaç kullanarak hazırla. Donatıyı yerleştir ve betonu kazı içine pompala. Böylece 1.,2. ve mümkünse 3. alanlar için duvar inşa edilmiş olur. Daha sonra 4. ve mümkünse 5. kazı alanlarını bulamaç kullanarak kaz, donatılarını yerleştir ve betonu pompala. Böylece duvarın tamamı inşa edilmiş olur.

Şekil 4.15 Diyafram duvar inşaatı için bulamaç metodu [18]

Bu metot ve benzer duvar inşaat metotları, öncelikle Amerika’da olmak üzere sürekli bir gelişme içindedir. Şekil 4.16 de bulamaç-tip bir duvar üretmek için kullanılan daha yeni bir prosedür gösterilmiştir. Bu sistem, karıştırma küreklerine sahip üç tane delgi içermektedir. Burada bir zemin-çimento bulamacı (zemin türlerine göre farklı katkıları da ilave edilir) kullanılmakta ve zemin-çimento karışımı duvar (SMW) adı verilen duvar inşa edilmektedir. Eğer gerek duyulursa, geniş flanjlı kirişler de, henüz inşa edilmiş bir zemin karışımı duvarın içine donatı olarak konulabilmektedir. Duvar kesitleri, 1,8 metreden 6 metre genişliğe ve 61 metre derinliğe kadar üretilebilmektedir [14,18].



Şekil 4.16 Zemin çimento karışımı duvar (SMW) inşa etmek için yeni bir metod
(SSC Teknolojisi) [18]

Bulamacın yönetimi, bulamaç tip duvarların inşasında en büyük sorunu oluşturmaktadır. Bulamaç kazının kenarlarından kolayca drene olamayacak kadar yeterli derecede akıcı olmalıdır. Bulamaç yoğunluğu seçkin katkı maddeleri kullanılarak ayarlanabilir.

Bulamaç duvarların maliyeti, palplanj duvarlara veya asker kazıklar ve kaplamalı sisteme göre yaklaşık iki kat daha pahalıdır. Bu sebepten, zemin kaybının sifıra yakın tutulması gerektiğinde ve duvarlar kalıcı yapının bir parçası olarak kullanılacaklarsa tercih edilmektedirler.

Diyafram duvarlar aynı zamanda karayollarındaki yarma şevlerinde, istinat yapısı gösterirken bölgelerde heyelan yapılarında, şehir içerisinde “aç – kapa” yöntemiyle inşa edilen tünellerde, hatta bazı liman inşaatlarında kalıcı batardo olarak kullanılabilirler.

Keson yöntemiyle İnşa:

Bu süreçte amaç, binanın yeraltında kalacak kısmının tamamını veya bir bölümünü, aşağıdan yukarıya değil de yukarıdan aşağıya inşa etmektir. Bu metot, derin kazılarda yatay destekleri, ankrajları ve diğer destek elemanlarını elimine etmesi açısından bir avantaj sağlamaktadır. Keson yöntemiyle inşada, diyafram duvarlar, bitişik kazıklı veya kesişen kazıklı duvarlar gibi rijit duvarlar kullanılmaktadır.

İnşaat sürecinde ilk aşama, kat tabakaları, kirişler vb. elemanlarla bağlantıyı sağlayacak detayları da içeren bir kalıcı çevre diyafram duvarının inşa edilmesidir. Daha sonra da önceden belirlenmiş iç kolonlar zemin yüzeyinden inşa edilmektedir. Duvarlardan sonra ilk olarak en üst kat tabakası inşa edilir. Bu tabaka duvarlara zemin yüzeyi seviyesinde yanal destek sağlamış olur. Kazı bu tabaka altında ilk bodrum seviyesine kadar gerçekleştirilir ve ikinci kat tabakası yerleştirilir. Bu süreç kalan katlar için de tekrar edilir.

Bu sistemin en büyük dezavantajı, geleneksel kazıların hızına ve özgürlüğüne göre kıyaslandığında toprağın taşınmasının zorluğudur. Geleneksel kazılara göre kazı ve toprağın taşınması işlemleri daha yavaş ve daha pahalıdır. Ancak binanın tamamının inşası açısından bakıldığında, keson yöntemiyle inşa geleneksel destekli kazı metotlarına kıyasla önemli derecede daha kısa bir inşa süreci sağlamaktadır. Diğer bir yandan, örneğin bir cadde altında kazı gerçekleştiriyorsa, bu yöntemle geçici destekleme maliyetleri tasarruf edilmekte ve cadde aktiviteleri, geleneksel kazı yöntemlerine göre çok daha kısa bir sürede yeniden eski haline getirilebilmektedir. Kazı bir bina altında gerçekleştirilecekse, bu metot zemin yüzeyinden aynı anda hem aşağıya hem de yukarıya inşa işleminin gerçekleştirilmesine imkan vermektedir.

Bu metoda örnek olarak Şekil 4.17 de yer altı parkı projesi verilmiştir. İnşa süreci önemli bir zaman kazancı sağladığı gibi, parkın üst katları, alt katların kazısı tamamlanmadan hizmete açıldığından önemli maddi kazançlarda sağlanmıştır [18].

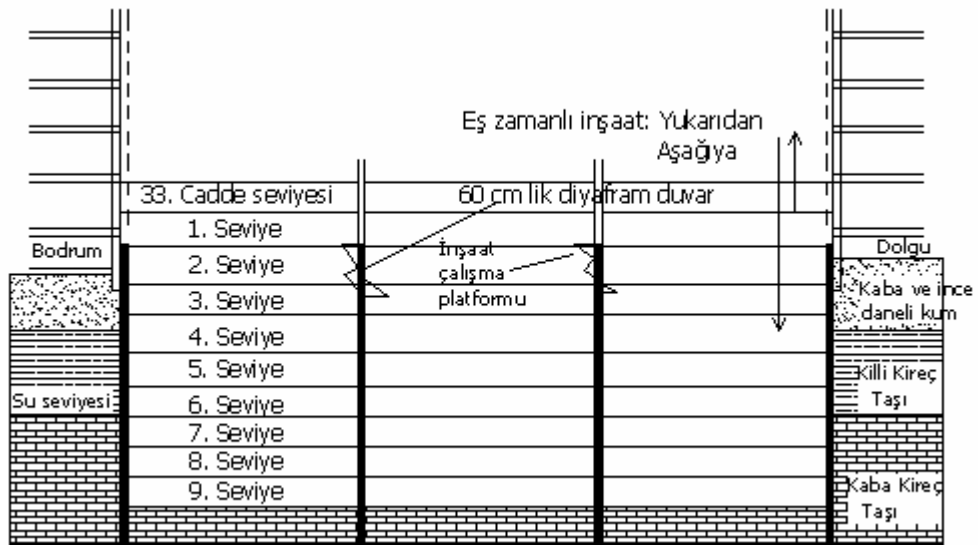
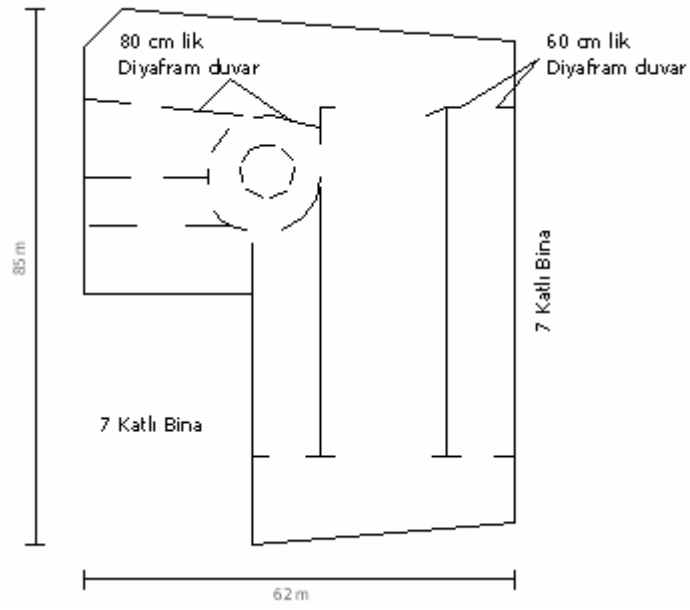
Diyafram duvarların avantaj ve dezavantajlarını özetlersek;

- Avantajları;

- 1) Diyafram duvar geçici veya sürekli bir eleman olarak kullanılabilir.
- 2) Dar bir hendek içinde inşa edildiği için maliyeti düşüktür.
- 3) Yer altı suyuyla karşı mükemmel bir sızdırmazlık sağlar.
- 4) Komşu yapıların desteklenmesini sağlar.
- 5) Yerleşim merkezlerinde yapım sırasında ortaya çıkan vibrasyon ve gürültüsü minimumdur.

- Dezavantajları;

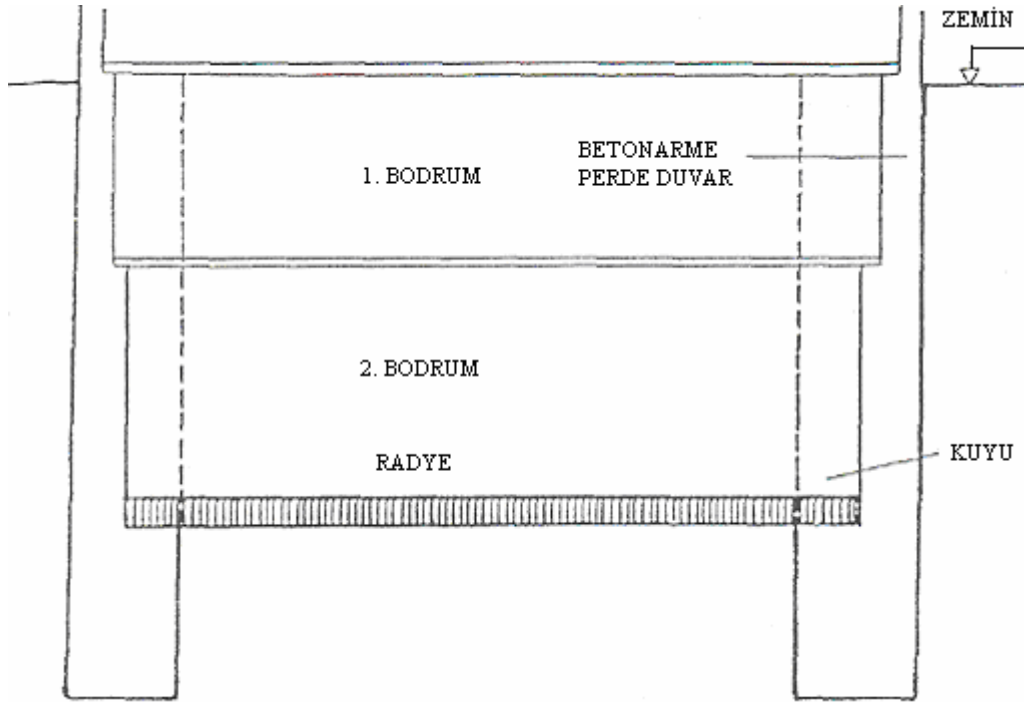
- 1) Prefabrik panellerin yerleştirilmesi operatörünün yeteneğine yeteneğine bağlıdır.
- 2) Kazı duvarlarının düşeyliğini sağlamak zordur.
- 3) Karışımın zemine gönderilmesi güç ve pahalıdır.
- 4) Kullanılan bulamacın uzaklaştırılması sorunu vardır.
- 5) Kılavuz duvar ihtiyacı nedeniyle 4-5 metre derinliğe kadar ekonomik olmamaktadır [19].



Şekil 4.17 Keson yöntemiyle inşaya bir örnek [18]

4.5. Kuyu Tipi Betonarme Perde Duvarlar

Yer altı su seviyesinin derinde olması ve zeminin kendini tutabilmesi halinde uygulanan bir yöntemdir. Kazı çevresinde çoğunlukla birer ara ile 2.0 x 2.0 m, 2.0 x 3.0 m veya 1.5 x 3.0 m boyutlarında iksalı kuyular açılmaktadır. Konsol çalışan perdelerde kuyu derinliği, kazı tabanının oldukça altına indirilmektedir. Kuyuların kazısının tamamlanmasından sonra, perde donatısı yerleştirilerek beton dökülmektedir. Toprak basıncı dağılımına uygun olarak bodrum katlardaki perde kalınlığı değiştirilebilmekte ve döşemeler perdeye oturtulabilmektedir. Kuyu tipi perdeler, çoğunlukla binanın taşıyıcı perdeleri olarak kullanılabilir. Malzeme ve işçilik maliyetlerinin artması ve ankraj teknolojisindeki gelişmeler nedeniyle kuyu tipi betonarme perdeler, giderek yerini ankrajlı betonarme perdelerle bırakmaktadır. Şekil 4.18 da kuyu tipi betonarme duvar görülmektedir.



Şekil 4.18 Kuyu tipi betonarme perde duvar [18]

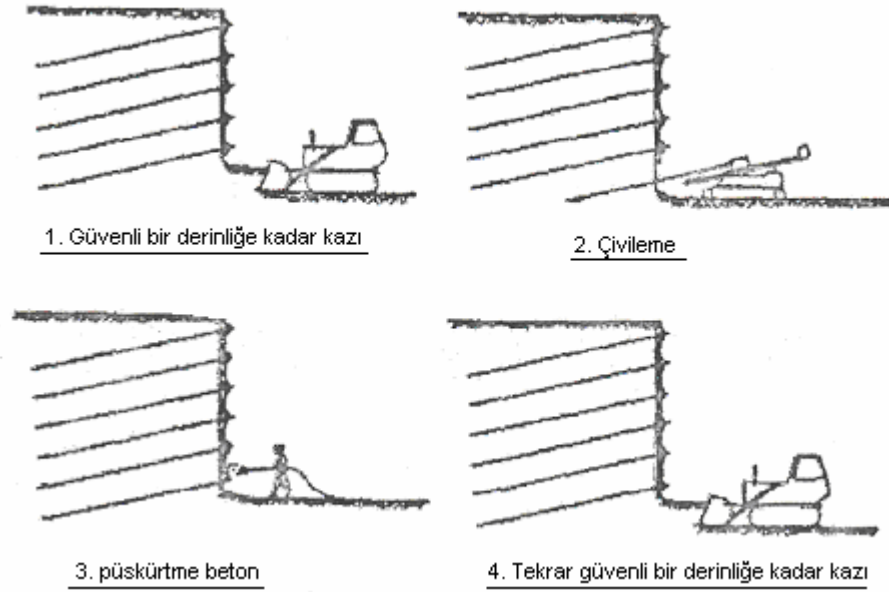
4.6. Kazıların Desteklenmesinde Yeni Yöntemler

Kazıların desteklenmesinde yeni yöntemlerde vardır. Zemin çivilemesi, püskürtme beton yapım yöntemi, zemin dondurma yöntemi bunlara örnek gösterilebilir.

4.6.1. Zemin çivilemesi yöntemi

Kazıların desteklenmesi için zemin çivileme yöntemi son yirmi yılda uygulanmaya başlamıştır. Zemin çivilenmesi ve diğer yöntemler arasındaki en önemli fark, zemin çivileme yönteminde, kazı yüzeylerinin stabilizasyonunun, zeminin yerinde donatılandırılmasıyla gerçekleştiriliyor olmasıdır. Zemin çivileme yöntemi, zeminin içerisine özellikle çökme potansiyeli bulunan kütle boyunca donatılar yerleştirerek zemini stabilize etme yöntemidir. Zemin çivileme yöntemi gerçekte, zemin kütlelerinin toplam kesme mukavemetini artırmakta ve zeminin hareketlerini dizginlemektedir. Bu da çökmeye çalışan elemanların, zemin içerisine çakılması ya da sondajla zemin içerisine harçlanması yoluyla gerçekleşmektedir. Kullanılan çiviler, genellikle 15-46 mm. arasında çapa sahip çelik çubuklar ya da barlardır.

Zemin çivileme yöntemi için inşa süreci Şekil 4.19 da verilmiştir. Bu süreç, yukarıdan aşağıya, belirli bir derinliğe kadar kazı yapılması, çivilerin kurulması ve yüzey kaplamasının uygulanması adımlarının istenilen derinliğe inilinceye kadar tekrarlanmasını içermektedir. Tabii ki yer altı su seviyesinin varlığı ve komplike tekniklerin kullanılması bu sürece birçok adım ekleyecektir. Zemin çivileri kurulmadan önce yapılacak kazıların derinliği, zemin kütlelerinin özelliklerine bağlıdır. Bazı kohezyonlu ve kaya zeminlerde kazılar üçer metrelik tabakalar halinde yapılabilmektedir. Daha az stabil zeminlerde ise kazılar 1.5 m. Derinliğe kadar yapılmaktadır. Stabilitesi çok düşük zeminlerde, çiviler kurulmadan önce püskürtme beton uygulaması gerekebilmektedir.



Şekil 4.19 Zemin çivileme yöntemi yapım aşamaları

Zemin çivileme yönteminin avantajları şunlardır;

- 1) Sadece hafif ekipman gerektirir.
- 2) Çivi çapları küçük olduğundan kaya içerisine çok daha kolay yerleştirilebilir.
- 3) Sistem esnek ve belirli yer hareketlerine direnebilmektedir. Yüzey deplasmanlarının kontrolüne de imkan vardır.
- 4) Özel çivilerin sayısı çok olduğundan, bir ikisinin çökmesi kritik değildir [11].

Zemin çivileri ile ilgili detaylar iksa sistemi destek elamanları başlığı altında verilmiştir.

4.6.2. Püskürtme beton yöntemi

Genellikle zemin çivileri üstüne uygulanmaktadır. Püskürtme beton yüklenicinin mevcut ekipmanına göre kuru yada yaş tip olabilir. Esas olarak karışım oranları geri dönüşü en aza indirecek şekilde ayarlanmaktadır. Karışımında minimum 350 kg/m^3 çimento olması gerektiği bilinmektedir. Ayrıca çakıl çapının 16 mm den büyük olmaması ve taş tozu karıştırılmasının faydalı netice verdiği deneyimle görülmüştür.

Uygulama yapılacak yüzey önce temizlenmelidir. Püskürtme beton yapılırken yüzeyde herhangi bir yer altı suyu akıntısı var ise önce burası çimento pastası, harç ya da enjeksiyon yoluyla tıkanacaktır. Su akıntısı yoğun ise bir boru ile kontrol altına alınabilir. Kaya yüzey önce su püskürtülerek nemlendirilir, sonra püskürtme beton yüzeye mümkün olduğu kadar dik tatbik edilir.

Kuru tip püskürtme beton çalışmasında, mikserle santralden alınan püskürtme beton karışımı, şantiyede püskürtme beton makinesi kullanılarak uygulanır. Mikserin oluklarından makinenin üst kısmındaki haznesine akan kuru karışım, haznenin üzerindeki elekten aşağıya akıtılır. Malzeme akarken üzerine, betonun yüzeye yapışmasını sağlayan “sigunit” malzemesi karışımdaki çimento ağırlığının % 2-4’ ü oranında katılır. Sigunit eklenen malzemenin elekten geçip aşağıya inmesi makinenin oluşturduğu titreşim ve makinenin içindeki helezonik yapıyla sağlanır. Bu şekilde makinenin alt haznesine indirilen kuru karışım, püskürtme hortumu ucuna yakın altındaki nozzle aparatı yardımıyla yüzeye yapışacak kadar sulandırılarak kompresörden gelen basınçlı hava etkisi ile uygulama yüzeyine püskürtülür. Kuru karışımdaki su muhtevası ağırlıkça % 4’ ü geçmemelidir.

Püskürtme beton uygulamasında, uygulayıcı kişi ile uygulama yüzeyi arasında en az 1.5 metre mesafe olması gerekmektedir. Uygulama iki kademeli olarak yapılmaktadır. Uygulama yapılacak yüzey üzerindeki 1.sıra hasırın üzeri püskürtme betonla kaplandıktan bir süre sonra 2.sıra hasırın üzeri de püskürtme betonla kaplanır. İlk uygulama ile ikinci uygulama arasında bir gün beklenirse daha iyi sonuç alınır. 1. ve 2. sıra hasır birlikte yerleştirilerek üzerine bir veya 2-3 sefer püskürtme beton atılabilir.

Kuru tipte yapılan püskürtme betonda kuru karışımda su muhtevasının ağırlıkça %4’ü geçmemesi gerekmektedir. Kuru ve yaş tip püskürtme betonlar için üretilmiş özel katkı maddeleri kullanılacaktır. Katkı oranı olarak üreticinin püskürtme beton için verdiği ürün bilgileri esas alınacaktır.

Çelik hasırlar projede gösterildiği şekilde ve birleşim yerlerinde en az iki göz bindirme yapılarak yerleştirildikten sonra shotcrete uygulamasına geçilir. Kaya

yüzey üzerine önce su püskürtülerek nemlendirilecek ondan sonra püskürtme beton, nozle yüzeye mümkün olduğunca dik tutularak tatbik edilecektir. Püskürtme hızı ve mesafesi malzemenin geri dönüşünü en aza indirecek şekilde ayarlanacaktır. Püskürtme beton uygulaması tamamlanan yüzeyde projeye göre veya su boşalma olasılığı olan yerlere barbakan delikleri yeniden açılır veya bırakılmış PVC delik ağzı imalattan sonra temizlenir.

Püskürtme beton yapımı “TS 11747 Püskürtme Beton (Shotcrete) Yapım, Uygulama ve Bakım Kuralları” normuna uygun yapılmalıdır [17].

4.6.3. Zemin dondurma yöntemi

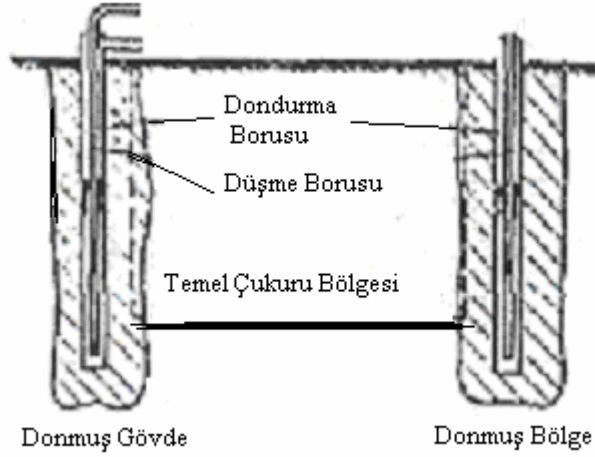
Zemin dondurma yöntemi de çok yeni bir tekniktir. Soğutma borularının zemini katı, stabil bir kütle olarak dondurması yoluyla gerçekleştirilir. Soğuk iklimlerde veya kısa dönemli bir kazı desteklenecekse bu yöntem uygulanabilir bir yöntemdir. Zemin dondurma yönteminin diğer yararları da; yer altı suyu akışını durdurması ve zemin içerisinde toksit atık hareketini kesmesidir.

Dondurulmuş zemin gövdesinin korunması için sürekli soğutmaya (enerji harcamaya) gerek vardır. Dondurma işlemi, su muhtevası %50 ‘ye kadar olan hemen hemen her cins zeminde uygulanabilmekle birlikte maliyetler çok yüksektir.

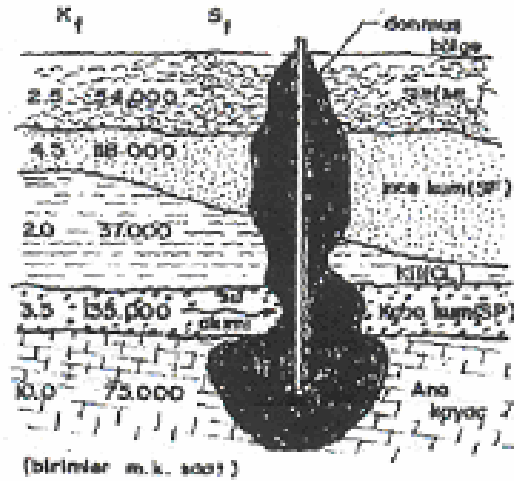
Dondurmanın teknolojisi, zemine sokulan dondurma boruları içinden soğuk taşıyıcı akışkan dolaştırılarak, zemin suyunun dondurulması prensibine dayanır. Zeminin dondurulması için iç-içe geçen iki borudan oluşan bir dondurma borusu kullanılır. Soğuk taşıyıcı akışkan iç borudan gönderilerek dış borudan geri alınır. İç boru ile dış boru arasındaki dolaşım sonucu, dondurma borusu etrafındaki zemin dondurulur. Soğutma maddesi olarak genellikle amonyak veya karbon dioksit, soğuk taşıyıcı akışkan olarak da magnezyum veya kalsiyum klorür eriyiği kullanılır.

Dondurma işleminin şematik gösterimi Şekil 4.20 de gösterilmiştir. Şekil 4.21 de yer altı suyunun donmaya etkisi verilmiştir.

Başarılı bir dondurma işlemiyle kazının güvenlik altına alınması kısa süre için yeterli sayılabilir. Yapılan araştırmalar zemin-su-buz karışımının geçici yüklerle direncinin büyük olduğu ancak uzun vadede sönümlülük nedeniyle çok daha düşük gerilmeler alabileceğini ortaya koymuştur.



Şekil 4.20 Dondurma şematik gösterimi



Şekil 4.21 Hareketli yer altı suyunun donmaya etkisi

BÖLÜM 5. DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ DESTEK ELEMANLARI

Derin kazı iksa sistemleri destek elemanları olarak günümüzde ankrajlar ve zemin çivileri kullanılmaktadır. Ahşap ve diğer destek sistemleri kazı alanını sınırladığı için artık tercih edilmemektedirler.

5.1. Ankrajlar

İnşaat sektöründe, derin kazılarda rahat çalışma ortamı ve güvenilirlik sağlayan ankraj sistemlerinin son yıllarda kullanımı oldukça artmıştır. Stabilite sorunlarına kısa veya uzun vadede ekonomik ve estetik çözümler getiren ankraj teknolojisi, tutulmak istenen bir zemini veya yapıyı geride ve/veya daha derinde bulunan sağlam tabakalara öngerme tekniği ile bağlamak şeklinde açıklanabilir.

Ankrajların başlıca kullanım alanları şunlardır;

- 1) Düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde
- 2) Yapıların dönmeye karşı emniyete alınmasında
- 3) Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı emniyetinin sağlanması
- 4) Yer altı yapılarının stabilitesinin artırılması
- 5) Zemin ön konsolidasyonunun sağlanması
- 6) Yapıların sismik stabilitesinin artırılması
- 7) Kazık yükleme deneyleri
- 8) Derin kazı destekleme sistemleri

Ankrajlar tuttıkları zemine göre, kaya ankrajı ve zemin ankrajı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Diğer bir ayırım ise ankrajların, hizmet süresi dikkate alınarak Geçici

ankrajlar ve kalıcı ankrajlar olarak yapılır. Tablo 5.1 'de geçici ve kalıcı ankrajlar için güvenlik faktörleri verilmiştir.

Tablo 5.1 Ankrajlar için minimum güvenlik değerleri [21]

Ankraj Sınıfı	Minimum Güvenlik Faktörleri			Kontrol Yükü Faktörü
	Tendon	Zemin/Enjeksiyon Ara Yüzeyi	Enjeksiyon/Tendon yada Enjeksiyon/Kapsüllenme Yüzeyi	
Geçici Ankrajlar (1)	1.40	2.0	2.0	1.10
Geçici Ankrajlar (2)	1.60	2.5*	2.5*	1.25
Kalıcı Ankrajlar (3)	2.00	3.0**	3.0**	1.50
* Eğer tüm araziye kapsayan deneyler yapılırsa bu değer minimum 2.0 alınabilir.				
** Bu değer zeminin limit sünme değerine ulaşması halinde 4. 0'e kadar çıkar.				

1) nolu geçici ankrajlar, servis süreleri 6 aydan daha az ve göçmesi çok ciddi sorunlar yaratmayan, toplumun güvenliğini etkilemeyen ankrajlardır.

2) nolu geçici ankrajlar, servis süreleri 2 yıl civarında olan, göçmesi sonucu oldukça ciddi sorunlar ortaya çıkabilen, uyarı olmaksızın toplum güvenliğini etkilemeyen (örneğin iksa duvarlarının desteklenmesinde kullanılan) ankrajlardır.

3) nolu kalıcı ankrajlar, korozyon riskinin yüksek olduğu ve/veya göçme durumunda çok ciddi sorunlar yaratan (örneğin asma köprülerin ana gergilerinde kullanılan yada su etkisi ile kalkan yapıların stabilitesinin amacıyla ağırlık yapısının elemanları olarak kullanılan) ankrajlardır.

İmalat tekniklerine göre ankrajlar dört sınıfa ayrılır. Verilen belirli bir zemin durumu altında bir ankrajın taşıma kapasitesi, geometrisi tarafından belirlenir. Bir ankrajın tasarımında, ankrajın kök kısmından çevresindeki zemine ilettiği gerilmeler, ankraja uygulanan imalat tekniği, enjeksiyon ve delme yöntemlerinden etkilenmektedir.

5.1.1. Ankraj tipleri

5.1.1.1. A tipi ankrajlar

Zemin ile enjeksiyon arasındaki kayma mukavemeti, tremie yöntemine göre harçlanan kök kısmındaki sıyrılmaya karşı direnci oluşturur. Dayanım, deliğin stabilitesine bağlı olup, doğrusal yada doğrusal olmayan düz şaftlı ankrajlardır. Çoğunlukla kayalarda yada katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılır. Mukavemet, zemin-enjeksiyon yüzeyi arasında oluşan yüzey kayma gerilmelerine bağlıdır.

5.1.1.2. B tipi ankrajlar

Ankraj kök çapının zemin içinde minimum hasar yaratarak genişletilmesi sonrası çimento harcının 1000 kN/m^2 'den düşük basınç altında boşluklara ve çatlaklara girmesi sağlanarak oluşturulan ankraj tipidir. Genellikle iyi derecelenmiş kohezyonsuz zeminlerde kullanıldığı gibi, yumuşak çatlaklı kayalarda ve kaba alüvyonlarda da kullanılır. Kök çevresindeki zeminin, kohezyonsuz zeminlerde çimento sızdırmazlığından yararlanarak basınç altında iyice sıkıştırılması ile geniş bir ankraj kökü oluşturulur. Dikkat edilmesi gereken, enjeksiyon basıncının her zaman toplam jeolojik yükten düşük olması gerektiğidir.

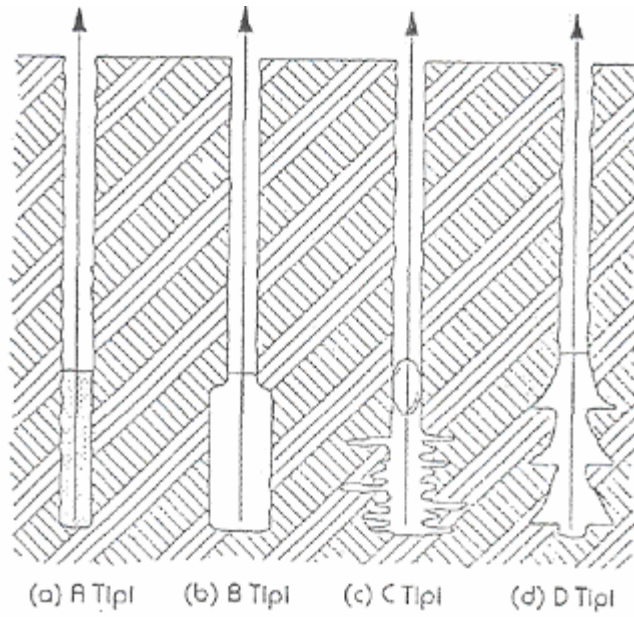
5.1.1.3. C tipi ankrajlar

2000 kN/m^2 'den daha yüksek bir basınç altında çimento harcının zemin boşluklarına sızdırılmasıyla ankraj kökü genişletilir. Birinci enjeksiyonun sertleşmesinden sonra, çoğunlukla basınç ikinci enjeksiyon sırasında uygulanır. İkinci enjeksiyon genellikle "manchette system" adı verilen özel bir tüp sistemi ile yada ankraj kökü içinde çalışabilen minyatür enjeksiyon tüpleri kullanılarak yapılır. Kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi kohezyonlu zeminlerde de başarılı bir şekilde uygulanır. Uniform bir kayma mukavemetinin ankraj kökü boyunca varolduğu prensibine göre tasarım kapasitesi hesaplanır.

5.1.1.4. D tipi ankrajlar

Mekanik aletlerle yada patlayıcılarla oluşturulmuş bir dizi kökten oluşan ankrajın enjeksiyonuna tremie yöntemi uygulanır. Katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılan bu ankrajlarda, kayma mukavemeti ve uç mukavemeti sıyrılmaya karşı direnci oluşturur [21].

Şekil 5.1 de temel ankraj tipleri verilmiştir.



Şekil 5.1 Temel ankraj tipleri

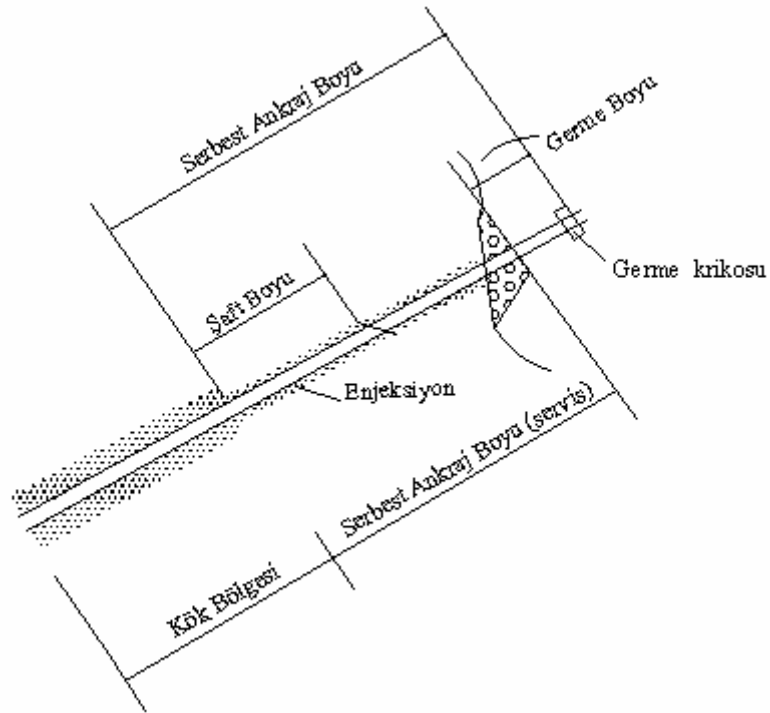
Ankrajlar için diğer bir ayırım da aktif ve pasif ankraj şeklindedir. Aktif ankrajlar, öngermeli kalıcı ve geçici ankrajlar kapsamına alırken, pasif ankrajlar rock boltlar gibi öngermesiz ankrajları kapsamaktadır. Aktif ankrajlarda öngörme yükü servis yükünün tamamı olabileceği gibi servis yükünün belirli bir oranı da olabilir.

5.1.2. Ankrajın kısımları

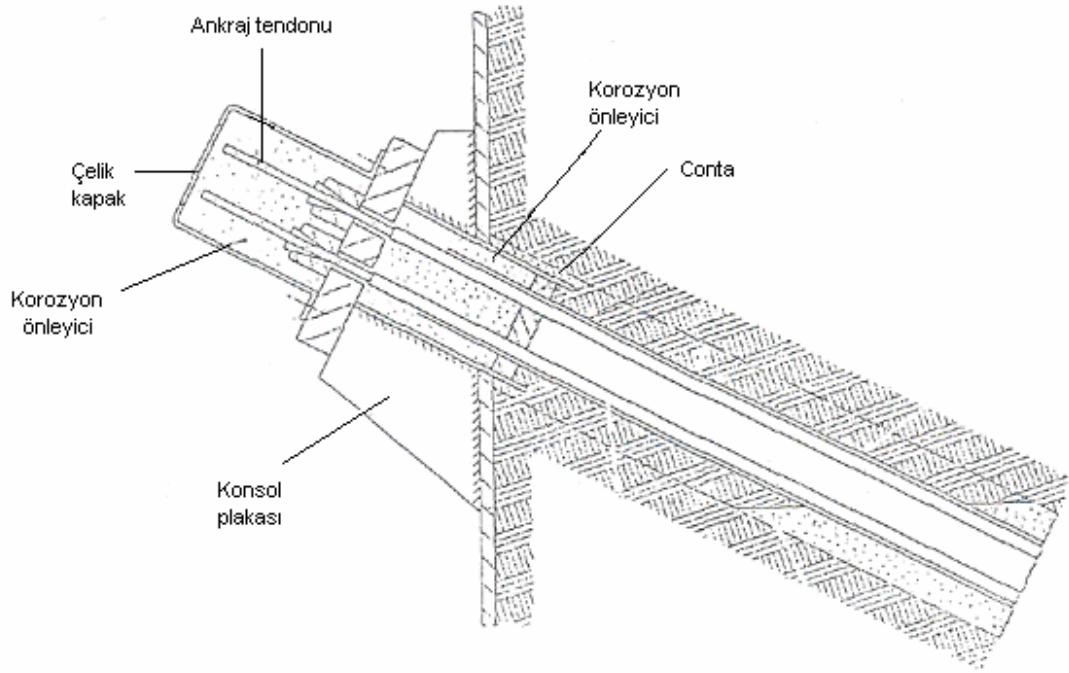
Bir zemin ankrajının ana elemanları ankraj kafası, serbest ankraj boyu ve ankraj köküdür [21].

5.1.2.1. Ankraj kafası

Bu bölge, öngerme kuvvetinin yüzeye yayılmasını temin eder. Öngermenin uygulandığı ve servis yüküne gerilen ankrajın kilitlenmesinin yapıldığı bölgedir. Şekil 5.2 den de görülebileceği gibi esas olarak bir germe kafası, sıkıştırıcılar (kamalar) ankraj ve ankraj plakasından meydana gelen bir germe ankrajından ibarettir. Kontrole açık olması gereken ankrajlarda bir de koruyucu kapak yapılması önerilir. Şekil 5.3 de ankraj kafası görülmektedir.



Şekil 5.2 Tipik bir geçici Ankraj



Şekil 5.3 Ankraj Kafası

5.1.2.2. Serbest ankraj uzunluğu

Ankraj gövdesinin başlangıcı ile ankraj kafası arasındaki mesafedir. Germe işlemi sırasında öngerme çeliğinin engelsiz olarak uzayabileceği uzunluğa karşılık gelmektedir. Serbest ankraj kısmının yapısı ankrajdan beklenen hizmete bağlıdır. Bunlar arasında aşağıdakiler sayılabilir:

- Ankrajın ömrü (geçici ya da kalıcı ankraj olması),
- Korozyon ve mekanik örselenmeye karşı ne düzeyde koruma gerektiği,
- Ankrajın aşamalı olarak gerilmesi zorunluluğu,
- Çekme kuvvetini her an ölçme olasılığı,
- Germe elamanlarını boşaltılması ve sonradan tekrar gerilmesi zorunluluğu,
- Zeminin olası enine yerdeğiştirmelerin karşılama olasılığı,

5.1.2.3. Ankraj kökü

Öngerme kuvvetini zemine aktaran kısımdır. Çimento harcının yüksek basınç altında ankraj deliğine itilerek doldurulması ile kök bölgesi oluşturulur.

Çeliğin ankraj gövdesi içine yerleştirilme şekli zemin özelliklerine bağlıdır. Halatlar ya doğrusaldır yada yer yer sıkılıp yer yer serbest bırakılarak bir dizi boğum meydana getirecek şekilde birbirine bağlanmıştır.

Çimento şerbeti öngerme çeliğini korozyona karşı korur fakat ankrajlarının kalıcı ankraj olarak kullanılması halinde, yada agresif zeminlerde, normal olarak halatları çevreden tümüyle yalıtan ondüle kılıf borusu ile ikinci bir koruma önerilir. Bu durumda ankrajdaki çekme kuvvetinin zemine aktarılması, germe elamanını çevreleyen harç, kılıf borusunun ondülasyonu ve kılıf borusu ile zemin enjeksiyon malzemesi üzerinden olur.

Ankraj kökü uzunluğu, zeminin geoteknik özellikleri temelinde ve şantiyede yapılan deneylere dayanılarak belirlenir. Bu uzunluk ankrajın servis yüküne ve zemin cinsine göre 3 ile 10 m arasında değişir.

Ankraj kökleri arasındaki etkileşimi sınırlamak için, ankraj köklerinin merkezden merkeze olan mesafeleri D ankraj kökünün en büyük çapı olmak üzere $4D$ 'den az olmamalıdır. Pratikte minimum aralık 1.5 – 2.0 m arasında değişmektedir. Bir ankrajın kök kısmı ile komşu temel yada yer altı yapısı arasındaki uzaklık 3 m den fazla olmalıdır. Üstünde yüzeysel temel bulunması halinde ankraj kök kısmının derinliği 5 m yada daha fazla olmalıdır.

Çoğu hallerde, hesapta yapılmış kabulleri kontrol etmek amacıyla önce şantiyede deneme ankrajları yapılması önerilmektedir.

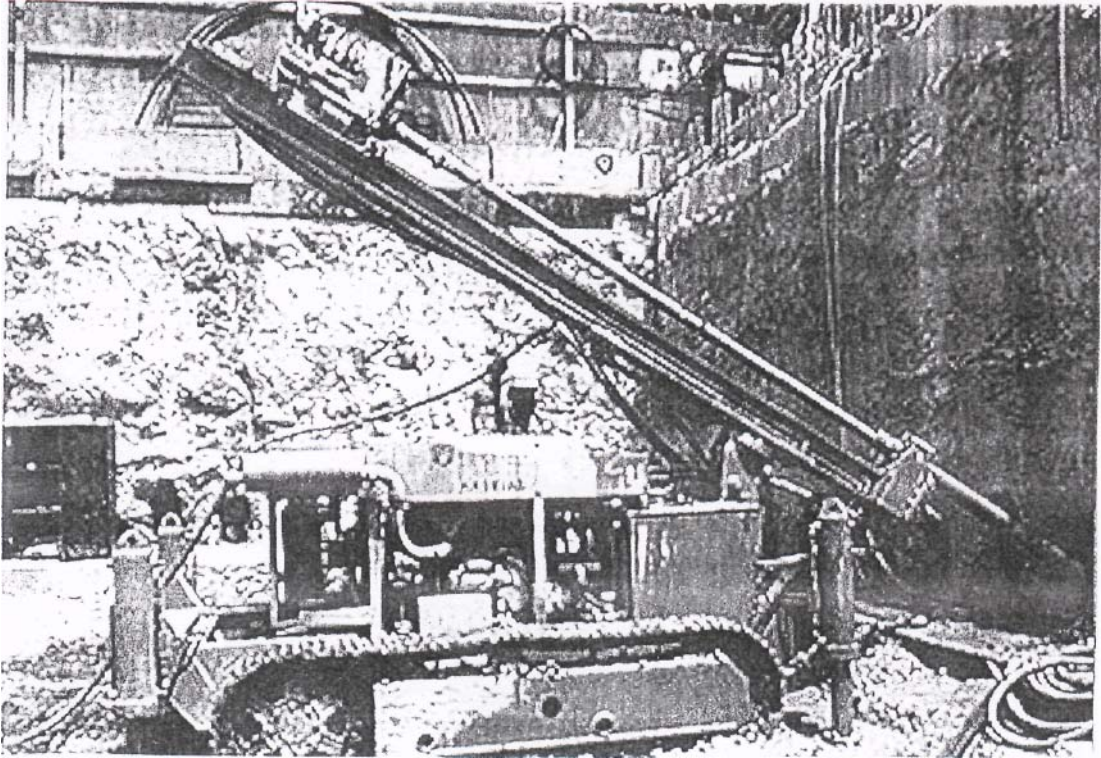
5.1.3. Ankrajların uygulanması

Ankrajların uygulamasında dört aşama vardır;

- 1) Ankraj deliğinin açılması,
- 2) Ankraj demetinin yerleştirilmesi,
- 3) Enjeksiyon yapılması,
- 4) Öngerme yapılmasıdır.

5.1.3.1. Ankraj deliğinin açılması

Ankraj için genellikle 8-15 cm. çapında istenen yönde 30 m. Uzunluğa kadar kuyular açılabilmektedir. Hem darbeli hem de rotary sistemle delik açan makinalar kullanılabilir. Makinalar aynı zamanda boru sürme tertibatına sahip olmalıdır. Şekil 5.4 de ankraj uygulaması görülmektedir.



Şekil 5.4 Ankraj Uygulaması [17]

Kuyu delme sisteminin seçiminde şu hususlar dikkate alınmalıdır:

- Yerel veya kaya tabakalarının özellikleri,
- Yer altı suyu durumu,
- Yerel Şartlar (Delik noktalarına ulaşım, su ve enerji temini),
- Delme yönteminden dolayı zeminde ve çevrede meydana gelebilecek zararlı durumlar,
- Sondaj kuyusunun doğrultusundan sapma olasılığı,

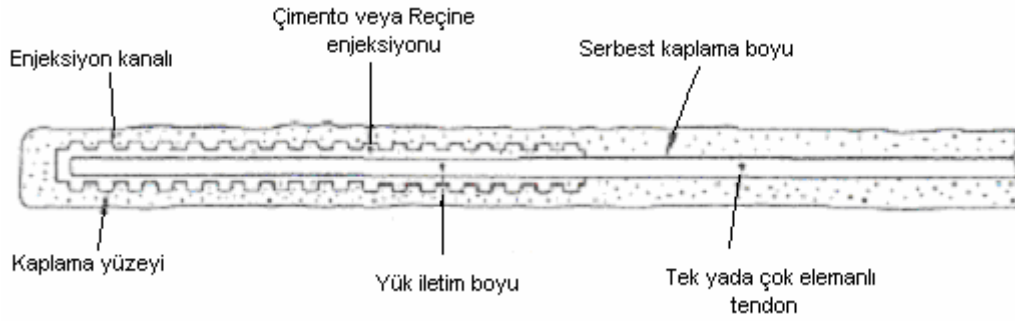
Genelde kohezyonsuz zeminlerde borulu darbeli veya darbeli rotary delme sistemleri başarılı olmaktadır. Kuyu açma yönteminin kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücüne tesiri azdır. Küçük çaplı ve darbeli makinelerle sıkı zeminlerde delik açılırken doğrultudan sapma oluşabilmektedir.

Kaya tabakalarında açılacak ankraj deliklerinde optimum delme yönteminin mevcut yerel şartlara göre şantiyede denenerek tespit edilmesi uygun olmaktadır. 12 cm'e kadar olan kuyu çapları tercih edilmektedir.

5.1.3.2. Ankraj demetinin yerleştirilmesi

Ankrajı geçici ve kalıcı oluşuna göre hazırlanan ankraj demeti ankraj deliğinin basınçlı su ile temizlenmesinden sonra deliğe yerleştirilir. Ankraj demeti içinde ; polietilen, enjeksiyon hortumu, çelik halat veya çelik çubuk, polietilen muhafaza hortumu, iç mesafe tutucuları ve dış mesafe tutucuları bulunur. Kalıcı ankrajlarda ise bunlara ilave olarak korozyonu önlemek amacıyla, ayrıca ondüle kılıf borusu kullanılır. (Şekil 5.5)

Ankraj germe elemanları olarak kullanılan, ya 7 mm çaplı çelik elemanlar veya 0.5 inch, 0.6 inch veya 0.7 inch çaplı çelik halatlar veya 32 mm çapa kadar özel çelik çubuklar kullanılır. Ankraj kafaları, kullanılacak halat cinsine ve sayısına göre imal edilirler.



Şekil 5.5 Tendon Kılıf Borusu

5.1.3.3. Enjeksiyon yapılması

Kohezyonsuz zeminlerde çimento şerbeti 1000 kN/m^2 minimum basınçla enjekte edilmektedir. Su-çimento oranı 0.4-0.5 arasında alınabilir. Kayada çatlak olmadığı kabulü ile fazla suyun emilme imkanı olmadığından kohezyonlu zeminlerde ve kayada bu oran 0.4'ü geçmemelidir.

Kohezyonlu ve zayıf mukavemetli kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücünü yükseltmek amacıyla ikinci defa enjeksiyonlama işlemi Batı Avrupa'da kullanılmaktadır. Birinci enjeksiyondan sonra beton pirizi alınca, özel olarak yerleştirilmiş borudan 400 kN/m^2 kadar yüksek bir basınçla çimento şerbeti verilerek mevcut ankraj gövdesinin çatlamasına ve genel olarak gövdenin büyümesine, böylece zeminde daha fazla bir sıkışmaya neden olmaktadır. İkinci defa yapılan enjeksiyonun civarındaki bodrum veya kanallara dolabileceği, komşu temel zemini veya yapılara zarar verebileceği göz önünde tutularak çevre devamlı kontrol altında tutulmalıdır.

Enjeksiyonda, yoğunluğu yüksek bir malzeme kullanıldığı için enjeksiyon dipte kalan zemin artıklarını ve varsa suyu dışarı atar. Böylece, enjeksiyon bölgesi temizlenmiş olur.

5.1.3.4. Öngerme yapılması

Enjeksiyon yapıldıktan en az 10 gün sonra öngermeye geçilir. Geçici ankrajlarda herhangi bir ankraj gerilirken, önce servis yükünün 1.25 katına kadar gerilerek test edilir. Ankrajın bu yükü emniyetli bir şekilde taşıdığı görüldükten sonra germe işlemi bir kere daha kamalar takılarak yapılır ve servis yüküne kilitlenir. Kalıcı ankrajlarda ise bu değer servis yükünün 1.5 katıdır.

Germe makinası bir gövde ve bir çekme kafasından oluşmaktadır. Halatlar germe işleminin başlangıcında çekme başlığına tespit edilir. Monometre basıncı ve ölçülen kablo uzaması kayıtlara geçilir. Makinanın pistonu sonunu kadar dışına çıkınca veya istenilen kuvvete ulaşır ulaşmaz, pres basıncı boşaltılır, halatlar düzgün biçimde ankraj kafasına kamalanır.

5.1.4. Ankrajların taşıma gücü ve hesabı

Ankraj taşıma gücü birçok parametreye bağlıdır. Bunlar ;

- Büyük ölçüde ankraj köküyle zemin ara yüzünün şekli,
- Ankraj kökü civarındaki zemin cinsiyle tabakalaşma durumu,
- Ankraj kökü üzerindeki jeolojik yük,
- Ankraj boyutları,
- Enjeksiyon basıncı ve sayısı,
- Ankrajın gerilme deformasyon bağıntısı şeklinde sıralanabilir.

Ankraj taşıma gücü hesapla da bulunabilir. Ancak birçok parametresi bulunduğu için, bu rakamın gerçekçi olması beklenemez. En doğru ve kesin taşıma gücü bulma yönteminin doğrudan doğruya yerinde ankraj yükleme deneyi yapılmasıdır.

5.1.4.1. Kayada ankraj taşıma gücü

Kayada A ve D tipi ankrajlar kullanılmaktadır. Tremie metodunun ekonomikliği ve imalatının daha kolay oluşu sebebi ile A tipi ankrajların kullanımı daha yaygındır. Düşük basınç altında enjeksiyonlama işlemi yapılan B tipi ankrajlar kaya-enjeksiyon aderansını sağlamak ve kaya-enjeksiyon temas yüzeyini arttırmak amacıyla zayıf ve çatlaklı kayalarda kullanılabilirler. Bağ sağlandığı zaman tasarım yönteminin güvenilirliğini kontrol etmek için arazide uygun kontrol deneyleri yapılmalıdır. Bu ankrajların tasarımında uniform çevre sürtünmesi kabulü üzerinde durulmuştur. Buna göre ankrajın taşıma kapasitesi;

$$T_f = \pi D \cdot L \cdot \tau_{ult}$$

bağıntısından hesaplanabilir. Burada D ankraj kökünün çapı, L ankraj kök boyu, dolayısıyla $\pi \cdot D \cdot L$ ifadesi ankraj kökü çevre yüzeyini, τ_{ult} terimi de zemin enjeksiyon ara yüzeyindeki nihai bağ veya çevre sürtünmesini göstermektedir [21].

5.1.4.2. Kohezyonsuz zeminlerde ankraj taşıma gücü

Kohezyonsuz zeminlerde çoğunlukla B ve C tipi ankrajlar kullanılmaktadır.

B tipi Ankrajlar: Ankrajın nihai yük taşıma kapasitesi ;

$$T_f = L \cdot n \cdot \tan \phi$$

bağıntısından hesaplanabilir. n, delme tekniğine, ankraj çapına, enjeksiyon basıncına, zeminin arazideki gerilmelerine, ankrajın yüzeyden olan derinliğine ve genişleyen kısmın karakteristiklerine bağlı bir katsayı olup, kum ve çakıl zeminler için 400 -600 kN/m arasında değişirken, ince kumlardan orta kumlara kadar 130-165 kN/m arasında değişmektedir. L ankraj kök boyu, ϕ ise içsel sürtünme açısıdır [21].

C Tipi Ankrajlar : C tipi ankrajların tasarımı, zeminlerin mekanik özelliklerinin kullanıldığı teorik yada amprik bağıntılardan yararlanarak yapılmaktan çok, belli bir zemin sınıfı aralığı için arazi deneylerinden elde edilen verileri kullanarak hazırlanmış tasarım eğrileri kullanılması esasına dayanır. Örneğin alüvyonlarda test sonuçları 0.10 – 0.15 m çapındaki ankraj delikleri için maksimum yük taşıma kapasitesinin ankraj kökünün imalatında 1000 kN/m²'lik enjeksiyon basıncı

5.1.5. Ankrajlı iksa sistemlerinin stabilite tahkikleri

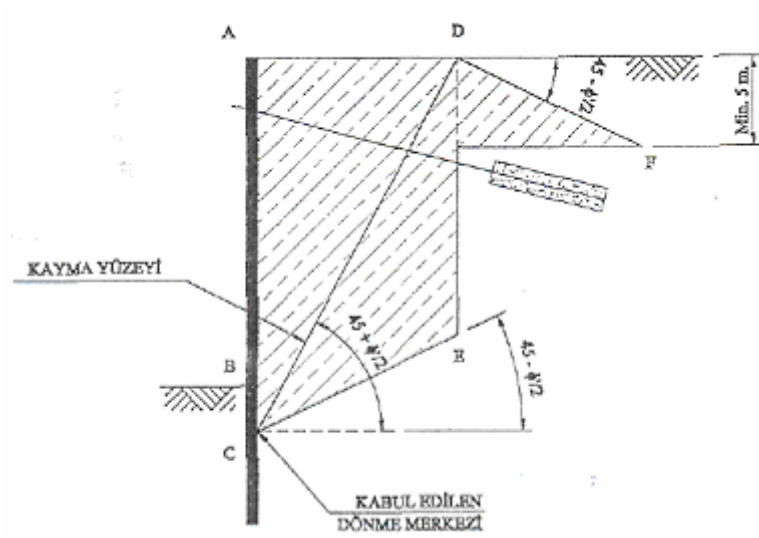
Ankrajlı iksa sistemlerinde, sistemin toptan göçmeye karşı güvenliği tahkik edilmeli, ankraj boylarının yeterli olup olmadığı araştırılmalıdır. Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de ankraj kökünün yerinin belirlenmesinde uygulanan amprik teknikler ve düzlem kayma yüzeyleri gösterilmiştir. Ankraj kökü yeterli bir güvenlik sağlayacak şekilde kritik kayma yüzeyinin gerisinde teşkil edilmelidir [21].

5.1.6. Ankrajların korozyona karşı korunması

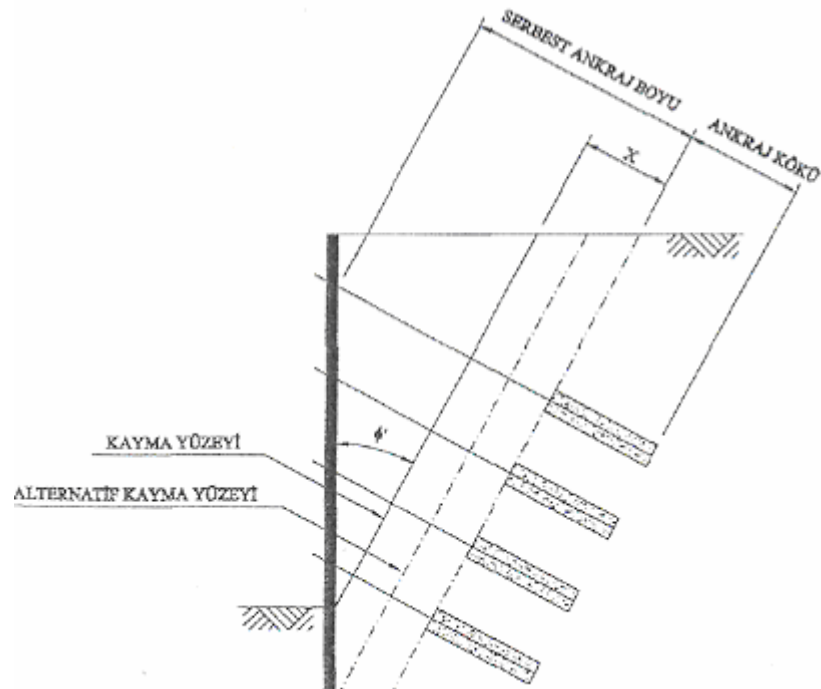
Ankrajlı bir yapının servis ömrü ankrajların dayanıklılığına bağlıdır. Dayanıklılığa etki eden en büyük faktör ise korozyondur ve bu yüzden de ankrajların korozyona karşı korunması gerekir. Korozyon, zemin içine gömülmüş olan tendonun kimyasal veya elektro kimyasal reaksiyonlar sonucu hasar görmesidir. Zemin katı, sıvı ve gaz elemanlardan meydana geldiği için korozyonun oluşmasına çok müsaittir. Örneğin az miktarda bir zemin suyu dahi elektrolit vazifesi görerek, farklı iki malzeme olan çelik ile zemin arasında elektrik akımının iletilmesini sağlar. Böylece metal iyonları açığa çıkar ve diğer tarafta oksijen ile hidrojen iyonları metale girerek çürümesine sebep olurlar.

Bazı zeminlerde bulunan bakteriler ise metal yüzeyinde, metale zarar verecek asitleri oluştururlar. Bu işlem sırasında yüzeylerde düzensiz bir hava dağılımı olduğundan metal kolayca korozyona uğrar. İlave olarak, bazı zeminler çeliğe zarar verebilecek asitleri, karbonatlar ve sülfatları içerirler. Sonuç olarak ankrajların korozyona karşı korunmasının en iyi yolu evvela zeminin korozyon etkisinin tespit edilmesidir. Özellikle ankraj tendonu farklı jeolojik tipte ve yapıda tabakalardan geçiyorsa korozyon tehlikesi çok büyük önem arz eder.

Ankrajların korozyona karşı korunmasında iki yöntem kullanılır. Birincisi direkt olarak ankrajın su geçirmez malzeme ile kaplanmasıdır ki buna pasif korunma denir. Diğer de ankraj yüzeyinde bir elektrik akımı oluşturularak elektriksiz katodik korunma sağlanmasıdır. İkinci yöntem aktif korunma denir. Ancak ankraj korunması yapılırken her bölge için (ankraj kökü, serbest tendon bölgesi ve ankraj kafası) özelliklere sahip malzemenin kullanılması gerekir.



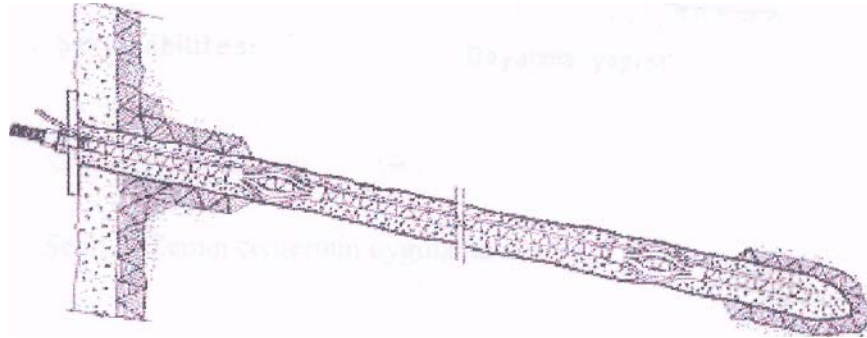
Şekil 5.7 Birinci sıra ankrajda kök yerinin bulunması [21]



Şekil 5.8 Kama metodu ile ankraj uzunluklarının belirlenmesi [21]

5.2. Zemin Çivileri

Zemin çivileri ile zemin takviyesi yöntemi son yıllarda gelişerek başarıyla uygulanmaktadır. Zemin çivisi yöntemi, pasif bir sistem olup, kazı yüzeyinde deformasyonların oluşmasına bağlı olarak çivilerdeki çekme kuvvetlerinin etkin olması prensibine dayanmaktadır. Tasarımın esası çivilerde oluşacak çekme kuvvetlerini sürtünme vasıtasıyla zemine aktarmaktır. Bu sistemle inşaat sahasındaki zemin, inşaat malzemesi olarak kullanılabilir. Geriye bağlama yöntemlerinden (ankrajlar) farklı olarak zemin çivileri pasif elemanlardır. Çivilerde meydana gelen maksimum çekme kuvvetleri yüzey elemanına transfer edilenden çok daha fazladır. Yapılan laboratuvar model deneylerinde maksimum çekme kuvvetinin potansiyel kayma yüzeyi ile çakıştığını göstermiştir. Zemin çivilerine ön germe uygulanmaz. Şekil 5.9 da tipik zemin çivileri görülmektedir. Şekil 5.10 da ise zemin çivilerinin çalışma prensibi gösterilmiştir.



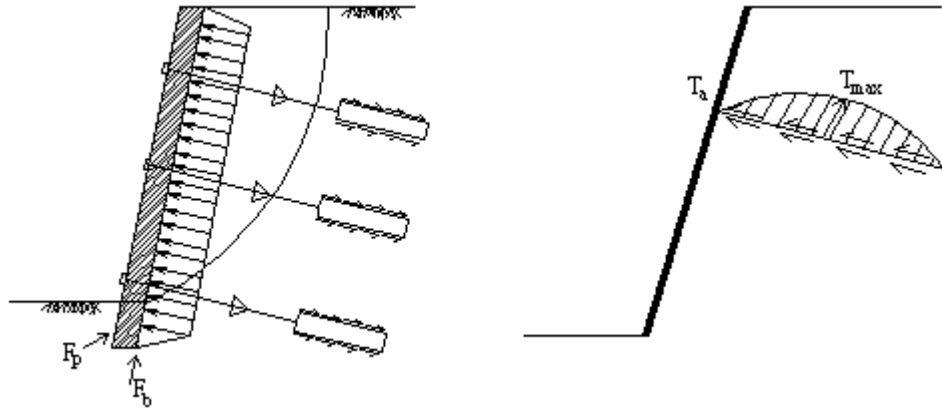
Şekil 5.9 Zemin çivileri

Zemin çivilerinin ana yapı elemanları şunlardır;

- 1) Zemin
- 2) Zemin çivileri
- 3) Yüzey elemanları

En uygun zemin olarak, sıkı granüler ve katı, düşük plastisiteli siltli kil zeminler belirlenmiştir. Zemin çivisi olarak;

- 1) Enjeksiyonlu
- 2) Çakmalı
- 3) Jet Enjeksiyonlu
- 4) Korozyona karşı korumalı tipler kullanılmaktadır.



Şekil 5.10 Zemin çivilerinde çalışma prensibi

Jet enjeksiyonlu tip yüksek basınç altında (>20 Mpa) enjeksiyon ve çakmalı tipin bir kombinasyonudur. Çiviler ön gerilmeli olmayıp birbirine yakın yerleştirilir. Çakmalı tip; $1 / 0.23 \text{ m}^2$, enjeksiyonlu tip; $1 / 0.93-4.65 \text{ m}^2$ dir. Uygulamaya ve zemin (kaya) cinsine bağlı olarak iki çeşit yüzey elemanı kullanılmaktadır;

- Püskürtme beton (10-25 cm): Günümüzde birçok geçici ve sürekli dayanma yapısında kullanılmaktadır. Zemindeki boşlukları doldurur ve genellikle bir hasır donatı ile birlikte kullanılır.
- Beton ve çelik paneller: Kalite ve estetik gereken durumlarda tercih edilmektedir.

Yüzey elemanı yük almaz, donatı tabakaları ile zemin arasında lokal stabiliteyi sağlar ve zemini yüzey erozyonu ile aşınma etkilerinden korur. Şekil 5.10 da zemin çivilerinin çalışma prensibi gösterilmiştir.

5.2.1. Zemin çivilerinin kapasitesi

Zemin çivisinin sıyrılma direnci zeminin mukavemeti ve yoğunluğu, delme metodu ve çapı, deliği temizleme metodu, enjeksiyon metodu ve basıncı, çivinin uzunluğu ve çapı gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Ankrajların kapasitesinde olduğu gibi zemin çivilerinin kapasitesini doğrudan hesaplayabilen teorik formüller mevcut değildir. Bu nedenle ankrajlarda olduğu gibi zemin çivilerinde de uygulamadan sonra arazi testleri ile yeterlilik ve uygunluk testleri yapılmaktadır.

Kayalık zeminlerde basınçsız enjeksiyon ile yapılan çivilerin nihai kapasitesi;

$$T = \pi D L F_1$$

bağıntısından tahmin edilebilir. Burada; F_1 , zemin/çivi arasındaki bağ kuvveti veya yüzeyel sürtünme kuvveti olup sağlam masif kayalarda maksimum 14 kg/cm^2 , yumuşak sedimenter kayalar için $2 - 3.5 \text{ kg/cm}^2$ ve şeyl için $0.7 - 1.8 \text{ kg/cm}^2$ olarak alınabilir. Ancak kayalarda süreksizlikler kayanın mukavemetini önemli ölçüde etkilediğinden dolayı F_1 değeri emniyetli tarafta kalacak şekilde seçilmelidir. Formülde D çivi çapı, L ise çivi uzunluğunu göstermektedir.

Kohezyonsuz zeminlerde çakma yoluyla yapılan çivilemede sıyrılma kapasitesi zahiri sürtünme katsayısı ile değerlendirilmektedir. Bu katsayı;

$$f^* = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_v}$$

ile ifade edilmektedir. Burada;

f^* : Zahiri sürtünme katsayısı (çakma yöntemi kullanıldığında)

τ_{\max} : Zeminin maksimum kayma mukavemeti

σ_v : Çivi üzerindeki toprak basıncından dolayı düşey gerilme

Kohezyonlu zeminlerde çakma yoluyla yapılan zemin çivisinin dizaynı için;

$$f^* = \sigma_v \tan \phi$$

formülü kullanılabilir. Burada;

f^* : Zahiri sürtünme katsayısı (çakma yöntemi kullanıldığında)

σ_v : Çivi üzerindeki toprak basıncından dolayı düşey gerilme

ϕ : Zeminin içsel sürtünme açısı

Ancak, $f^* = \sigma_v \tan\phi$ formülü ile bulunan değerin 1.5 den daha fazla olmaması önerilmektedir.

Enjeksiyonlu zemin çivisinin tüm uzunluğu boyunca üniform sürtünme olduğu kabul edilerek nihai kapasitesi;

$$T = A \sigma_v f^*$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada;

T : Nihai çivi kapasitesi

σ_v : Çivinin orta noktasında zeminden dolayı oluşan düşey gerilme

A : Enjeksiyonlu deliğin çevre alanı

f^* : Zahiri sürtünme katsayısı

Bu formüldeki f^* değeri delme metodu, delme uzunluğu, düşük derinlikteki zeminin genişmesi gibi nedenlere bağlı olarak değişmesi nedeniyle, f^* ifadesine kesin bir değer atamak güçtür. Ancak FHWA tarafından 6 metreye kadar olan zemin çivileri için f^* değerinin 2 ila 4, daha derin zemin çivileri için 1.5 ila 3 olarak alınması önerilmektedir. Fakat enjeksiyon basıncı arttıkça f^* değerinin artacağı unutulmamalıdır.

Zemin ankrajlarında olduğu gibi zemin çivisi için arazi testleri ile yeterlilikleri saptanmalıdır. Eğer çivinin akma gerilmesi σ_a ise $0.10 \sigma_a$ 'dan $0.90 \sigma_a$ 'ya kadar belirli artışlar ve belirli yükleme süreleri ile çiviye yük testi uygulanarak deformasyonlar ölçülmekte ve belirli sayıdaki çiviye sıyrılma testi uygulanarak sıyrılma kapasitesi belirlenmektedir [22].

5.2.2. Avantaj ve dezavantajları

Zemin çivileri arazi şartlarına ve zemin profiline uyumda yüksek bir esneklik gösterirler. Heterojen zeminlerde; sıkı çakıllı, aşınmış veya sert kayada diğer çözümlere kıyasla daha ekonomiktirler. Ankrajlara kıyasla yapının masraf ve inşaat hızını etkileyecek birçok avantajları vardır. Oldukça çabuk yerleştirilen püskürtme beton ön yüzey ve çivilerin hafif ve ekonomik oluşları nedeniyle ankraj ve palplanşlardan oluşan dayanma yapılarına, diyafram duvarlara kıyasla oldukça avantajlıdır. Yukarıdan aşağıya doğru inşa edilmesi diğer donatılı zemin yapılarına

kıyasla tercih nedeni olmaktadır. Ulaşımı zor olan bölgelerde gerekli olan hafif inşaat makinaları kullanabilmektedir. Alışıl gelmiş betonarme dayanma yapılarına kıyasla daha esnek olduklarından daha fazla toplam ve farklı oturmalara dayanabilirler. Sismik olarak aktif bölgelere iyi adapte olurlar.

Yukarıda bahsedilen avantajları yanında zemin çivileri ile inşa edilmiş dayanma yapılarında yer altı suyu drenajı en önemli sorunlardan birini teşkil etmektedir. İnce daneli zeminlerde etkili bir drenaj sistemi kurulması ve muhafaza edilmesi zor olabilir. Plastik killi zeminlerde sünme uzun sürede performansı etkileyebilmektedir. Agresif zemin şartlarında duraylılık konusu oldukça yüksek sınırlamalar getirebilmektedir. Duraylılık konusunun önemi nedeniyle değişik bulon ve çiviler, paslanmaya karşı koruyucu sistemler ilgili yükleniciler tarafından sürekli olarak geliştirilmekte olup bu konuda oldukça büyük ilerlemeler kaydedilmiştir.

BÖLÜM 6. DERİN KAZI İKSA SİSTEMLERİ İÇİN GENEL KRİTERLER

6.1. Zemin Etütleri (Geoteknik Rapor)

Derin kazı ve iksa sistemlerinin tasarımında ve uygulanmasında en önemli faktör zemin etütlerinin çok sıhhatli ve düzgün yapılmasıdır. Çünkü yapılacak hesaplarda kullanılan tüm parametreler zemin etütlerinden elde edilecektir. Derin kazıların performansı, zemin ve destek sistemi arasındaki etkileşim yoluyla şekillendiği için zemin tipi önemlidir.

Geoteknik çalışmaların hacmi amaca uygun olarak ve zemin şartları göz önünde tutularak tespit edilmelidir. İlk önce arazide ön inceleme yapılmalıdır. Konu ve bölge ile ilgili mevcut bilgiler derlenip zemin durumu için bir ön değerlendirme yapılmalıdır. Eğer sahada hareket varsa gözlem ve ölçüm altına alınmalı ve sahanın topoğrafik planı yoksa hazırlanıp, derin kazı yapılacak sahanın jeolojisi belirlenmelidir.

Arazide yapılacak çalışmalar planda incelenerek kazının en az sınırlarını kapsamalı, yapılacak ameliye ve imalattan etkilenen derinliği içine almalıdır.

Zemin incelemesi arazi ve laboratuvar çalışmalarından oluşur. Arazi çalışmalarında sondaj yapılarak numune alınır ve ayrıca arazi deneyleri yapılır . Zemin şartları ve iksa yapımı dikkate alınarak kaç adet sondaj yapılacağına karar verilir. Minimum iki adet sondaj yapılmalıdır. Çünkü bir arazinin jeolojik profilinin çıkarılabilmesi için en az iki sondaj gerekir. Genelde çok az sayıda sondajla zemin hakkında tüm bilgiye ulaşılmaya çalışılmaktadır. Sondaj sayısı arazinin topografyasına ve zeminin homojenliğine göre uzman bir mühendis tarafından belirlenmelidir.

Derin kazı iksa projelerinde sondaj derinliği, yapılacak kazı derinliğinin altına minimum 5-10 metre daha inilmesiyle bulunan derinliktir. 10 metre bir kazı yapılacaksa en az 15 metrelik sondaj yapılmalıdır. Eğer zemin yapısı çok değişken ve arazi topografyası çok eğimli ise, sondaj derinlikleri değişebilir. Bu durumda sondajlar, alt kotlarda daha sığ, yukarı kotlarda daha derin yapılmalıdır.

Sondaj alışmaları çok meşakkatli ve zordur. Sondaj işleri iyi bir sondaj ekibi tarafından yapılmalı, yapılacak deneyler ve alınacak numuneler standartlara uygun yapılmalıdır. Alınan numuneler zemini gerçekten temsil etmelidir [1].

Sondajlardan UD numuneleri alınmalıdır. Ayrıca Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılmalıdır. Diğer bir arazi deneyi Koni Penetrasyon Deneyi (CPT) dir. Özellikle çok yumuşak ve sulu-kumlu zeminlerin olduğu durumlarda CPT yapılmasında ısrar edilmelidir. Bu deney deniz kenarlarında ve alüvyonal dere yataklarında çok iyi sonuçlar vermektedir. Ülkemizde İzmir, Antalya gibi yerleşim bölgelerinde kullanılabilir. Ancak çok sert killer ve grovaklar olduğunda bu deney çok fazla içe yaramamaktadır. CPT deneyinin ekipmanı tamamen bilgisayar kontrollü olup, zemine itilen koninin zemin direncini ölçmesine dayanır. Zeminin her 2 cm de bir profili çıkarılır. Böylece zeminde atlama olmadan zemin tabakaları hakkında bilgi elde edilir. Yine jeofizik çalışması yapılarak zemin tabakalaşma durumları incelenebilir [1].

Araziden alınan numuneler üzerine laboratuvar deneyleri yapılır. Laboratuvar deneyleri biraz daha pahalı olduğu için genelde alınan bir çok numune içinden selektif olarak bir bölümü seçilerek deneyler yapılmakta ve az sayıda numuneyle rapor hazırlanmaya çalışılmaktadır. Ancak bir kum bandının dahi atlandığında hesaplarda bir çok hata yapılacağı göz önünde bulundurulmalı ve alınan her numune üstünde gerekli deneylerin yapılması sağlanmalıdır. Bu deneyler; zemin sınıflandırma deneyleri, kıvam deneyleri, su muhtevasının bulunması, birim hacim ve özgül ağırlık tayinleri, tek ve üç eksenli basınç deneyleri, geçirimlilik deneyleri, konsolidasyon deneyleri vb. laboratuvar deneyleridir. Yine kil numuneler varsa şişme potansiyelleri olup olmadığı araştırılmalıdır. Kili zeminlerde yapılan kazılar neticesinde, basıncı azalan kil tabakaların su ile şişmesi sonucu hasarlar meydana gelebilir. Kazı

projelerinde çok önemli olan direkt kesme deneyleri yaptırılmalıdır. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan standartlar;

TS 1900 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri

TS 1500 İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması

Arazi ve laboratuvar çalışmaları bittikten sonra sondaj logları titizlikle hazırlanmalıdır. Yapılan deneyler kullanılarak zemin profilinin idealizasyonu çıkarılmalıdır. Eğer homojen bir zemin varsa hesaplar kolaylaşmaktadır. Zemin homojen değilse tüm kriterler dikkatlice incelenerek hesaba katılmalıdır.

Yer altı suyu da büyük önem taşımaktadır. Yer altı suyu piyezometre yükseklikleri ölçülmelidir. Sondajlar sulu sistem ile yapılırsa sondaj suyu ile yer altı suyu karışabilir. Su seviyesinin doğru tespit edilmesi çok önemlidir. Özellikle kazı çevresinde binalar varsa su seviyesinin düşmesi oturmalara neden olabilir.

6.2. Kazı Çevresinin İncelenmesi

İksa projelerinde en önemli aşamalardan bir tanesi de kazı sahasını detaylı gezmektir. Çevrede olan yapılar iyice incelenmelidir. Komşu binaların kazı alanına olan mesafeleri tesbit edilmelidir. Yine komşu binaların bodrumlarının olup olmadığı, yapı temellerinin hangi tip temel sistemi olduğu araştırılmalıdır. Komşu binalar gezilerek kolon ve kiriş sistemleri incelenmelidir. Taşıyıcı sistemde hasar, çatlak vb. problemlerin olup olmadığı kontrol edilmelidir. Bir tutanak tutup, bunları resmi olarak kayda geçirmelidir [1].

Yine kazı çevresinde, yer altında kanalizasyon, PTT, elektrik, doğalgaz vb. sistemlerinin olup olmadığı araştırılmalı; varsa bu sistemler hakkında detaylı bilgi ve projelerin ilgili kurumlardan alınarak incelemesi yapılmalıdır.

6.3. İksa Projesi

İksa projelerinde yapılacak binanın veya yapının kesitleri çıkartılıp, yapının cephelerinde hangi tip zeminler olduğu geoteknik rapordan elde edilen zemin çeşitleri ve özellikleri işlenerek, iksa sisteminin seçimi yapılır. İksa sistemleri Bölüm 4 de açıklanmıştır. İksa sisteminin kalıcı mı yoksa geçicimi olacağına karar verilir. Bu konuda kazının açık kalacağı süre çok önemlidir. Çok uzun süre açık kalacak derin kazılarda kalıcı iksa sistemi düşünülmelidir. Yine bu tip kalıcı iksa sistemlerinde deprem hesapları da yapılmalıdır. Geçici ve kısa süreli kazılarda genellikle deprem hesabı dikkate alınmamaktadır. İksa projesi geoteknik rapordan ayrı olarak yapılmalıdır. Bu proje de; yapılacak iksa sisteminin hesap ve detayları açıkça gösterilmelidir. Zaten kurumlar artık iksa sistemi gerekliyse geoteknik rapordan başka iksa projesi de istemektedirler [1].

Bir önemli konuda iksa sisteminin ekonomik olup olmadığıdır. Tasarlanılan projenin ekonomikliği de araştırılmalıdır. Daha az maliyet getirecek başka sistem varsa o sisteme geçilmelidir. Kalıcı iksa sisteminin maliyeti, geçici iksa sistemi maliyetinin yaklaşık olarak 3-4 katıdır.

Geçici iksaların ekonomik ömrü 1.5-2 yıl dır. Genelde şartnamelerde 2 yıl kabul edilmektedir. Bu süre içerisinde yapı mutlaka yapılmalıdır. Yine kazı yapıldıktan sonra işçiliğin hızlı bir şekilde yapılması önemlidir. Bir iş planı hazırlanarak işin ne kadar süreceği tespit edilmeli ve ekipmanlar ona göre hazırlanmalıdır.

İksa projelerinde zemin dışı faktörlerden biri mimari projelerdir. Kazı derinliği, yapının oturma alanı, cephe uzunlukları mimari projelerden elde edilmektedir. Çoğu kez mimari projeler arsanın boyutlarına göre tasarlanmakta ve iksa sisteminden dolayı meydana gelecek kayıplar dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle iksadan sonra, mimari proje yapı yerleşim alanına sığmamaktadır. Bazen de, bırakılan iksa alanı yetersiz kalıp, yine yer kayıpları olmaktadır. Böyle bir durumda, mimari revizyon kaçınılmazdır. Bu sorunlarla karşılaşılması için, mimari projeler tasarlanırken iksa sisteminden meydana gelecek kayıplar dikkate alınmalıdır [1].

6.4. Stabilite Tahkikleri

İksa sistemine etkiyen kuvvetler göz önüne alınarak iksa projesi hesaplandıktan sonra taban kabarması ve derin kayma tahkikleri de yapılmalıdır. Özellikle killi zeminlerde taban kabarması tahkiki önem taşımaktadır. Kabarmayı önlemek için çözüm; kullanılan iksa sisteminin (kazık, palplanş,vb.) çakma derinliğini uzatmaktır. Kanalizasyon tatbikat projelerinde, boru yerleştirilmesindeki kazılarda taban kabarması tahkikine büyük önem verilmelidir. Bu projelerde kazı sırasında taban sürekli bozulduğu için yerleştirilen borular hasar görebilir.

İksa projelerinde ayrıca derin kayma analizi (toptan göçme analizi) de yapılmalıdır. Özellikle destekli sistemlerde, desteklerin kayma kaması içinde kalmadığı analiz edilmelidir.

Faylar, kayma mukavemeti düşük olan ara tabakalar ve özellikle su ihtiva eden ara kumlu tabakalar kayma düzlemini belirler.

Bir diğer konuda sıcaklık değişimleridir. Isı değişiklikleri, desteklerde önemli termik gerilmelere veya deformasyonlara neden olabilmektedir. Sıcaklık iki yönden göz önüne alınmalıdır. Birincisi yapı elemanlarının sıcaklık değişimlerinden dolayı genişmesi yada büzülmesidir. İkincisi de, sıcaklığın, derin kazıları gözetlemek için kullanılan aletler üzerine etkisidir [11].

6.5. Aletsel Gözlem

Derin kazılarda bir diğer önemli hususta aletsel gözlemdir. Kazı çukurunun deformasyonu, çöküp çökmeyeceği aletsel gözlem ile anlaşılabilir. Yine kazı çukurundan dolayı çevre binalara zarar verilir verilmediğinin tek ispatı aletsel bir gözlem yapmaktır. İksa sistemlerinde en güzel gözlem inklonometrik gözlemlerdir. İnklinometre adı verilen aletle kazı çukurundaki tüm deplasmanları zamanla ölçüp grafiğini çizmek mümkündür. Diğer bir gözlem ekstensometre adı verilen aletle deformasyonların gözlenmesidir. Ayrıca ankrajlara yük hücresi ve

deformasyon hücreleri takılarak, ankraj kapasiteleri ölçülebilmekte ve proje yüklerine uygun olup olmadığı kontrol edilebilmektedir.

İnclinometre cihazı sahada açılmış deliklerin eksenlerinden düşey sapmaları ölçmek için kullanılan bir alettir. Ölçülen sapmalar trigonometrik fonksiyonlarla ifade edilebilecek hale dönüştürülebilir. Ardarda yapılacak olan ölçümler, stabil olmayan eğimlerin, derinliğin ve yanal hareket oranlarının belirlenmesine olanak sağlarlar.

İnclinometre cihazlarının piyasada pek çok tipi olmakla beraber en çok kullanılan tipi Probe Tipi İnclinometre (Probe Type İnclinometer) dir. Bu tip, bir kabloya bağlı olarak bir boru içerisinde deliğe indirilen probeden oluşur. Probedaki elektriksel çıkış kontrol kutusuna bağlı bulunmaktadır ve yapılan ölçümleri görsel verilere, grafik formlara dönüştürmektedir.



Şekil 6.1 İnclinometre cihazı

İnclinometre borusu, hareket beklenen bölge ile kesişen dike yakın bir deliğe kurulur. Açılan delik, hareket beklenmeyen bölge içerisinde (zemin veya kaya ortamı olabilir) hareket beklenen bölgenin 4.5 m ilerisine kadar uzatılmalıdır. Sedimanter yığılmanın olabileceği delik diplerinde 1.5 m lik kayıplara müsaade edilir. Boru, kum dolgu veya zayıf çimento enjeksiyonu içerisinde tutulur. İnclinometre boruları, 3.0 m uzunluğunda, plastik olarak kullanılırlar. Yivlerin dipten tepeye kadar aynı düşeyde kalmaları için kullanılan kılavuz sağa ve sola döndürülerek kurma işlemi tamamlanır.

İnclinometre borusunun kurulduğu andaki pozisyonuna göre, bütün deplasmanların hesaplanmasına kadar, en az iki ayrı set halinde yapılacak olan ölçümlere göre borunun ilk konumunun doğruluğu kanıtlanmalıdır. İlk ölçümler yapıldığında borunun tepesi, zemin yüzünde, hareket beklenen bölgenin dışında bir noktaya yönlendirilmiş olmalıdır. Ölçümlerin sıklığı çeşitli nedenlere bağlıdır, en önemli neden hareketin oranıdır [17].

İnclinometre cihazında, derin kazılar da tamamen yatay deplasmanlar okunmaktadır.



Şekil 6.2 Ekstensometre cihazı

6.6. Hukuki Sorunlar

Derin kazılarda hukuki durumlarda önemlidir. İksa sistemi çalışmaları yan parselleri ve komşu yapıları etkiliyorsa bu yapıların sahiplerinden izin alınmalıdır. Devlet eliyle yapılan iksa işlerinde kamulaştırma gerekiyorsa, kamulaştırma yapılmalıdır. Özellikle destek sistemlerinin yapımı için kamulaştırma gerekli olabilmektedir. Komşu yapılar iyi araştırılmalıdır. Birçok derin kazıda komşu yapıların bodrumlarına zarar verilmiştir. Bu da hukuki sorunlar oluşturmuştur. Çevre bina sahipleri yapılarında daha önce meydana gelen hasarların, yapılan derin kazı çalışmasından meydana geldiğini iddia ederek tazminat talep edebilmektedir. Bu durumlarla karşılaşmamak için, çevre binaların durumları, hasar olup olmadığı kontrol edilmeli , fotoğraflanmalı ve tutanak tutulmalıdır. Fakat bu her zaman

mümkün olmamaktadır. Çünkü çoğu zaman yapı sahipleri yapının içinin gezilmesine müsaade etmemektedir. Elden geldiğince çevre hakkında maksimum bilgi elde edilmeye çalışılmalıdır.

Yine çevre güvenliği çok önemlidir. Kazı çukuru etrafı da güvenliğe alınmalıdır. Özellikle etrafında yol olan kazılar, yaya ve taşıt güvenliğini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle gerekli önlemler alınmalıdır.

Her inşaat işinde olduğu gibi, çalışan işçilerin güvenliği de önemlidir. İşçi sağlığı ve güvenliği ile ilgili önlemler de eksiksiz alınmalıdır [23].

BÖLÜM 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Derin kazılarda olumsuz sonuçlarla karşılaşmamak için aşağıda verilen konular üzerinde hassasiyetle durulmalıdır.

Derin kazının başarıyla yapılması için en önemli faktör geoteknik araştırmanın kusursuz yapılmasıdır. Geoteknik araştırma derin kazı için anahtar faktördür. Buradan bulunacak parametreler, yapacağımız kazının performansını direkt olarak etkileyecektir. Hatalardan uzaklaşmak için geoteknik araştırma titizlikle yapılmalıdır.

Zemin hakkında bilgi edindikten sonra kazı sisteminin seçimi önem kazanmaktadır. İksa sisteminin kalıcı mı, geçici mi olacağı, sistem seçiminde ilk düşünülmesi gereken konudur. Kazı alanı daha sonra tamamen yapı ile kapatılacaksa geçici iksa projeleri düşünülür. Burada kazının açık kalma süresi de önemlidir. Uzun süreli zemin itkisine maruz kalacak veya devamlı kalıcı olacak iksa sistemleri bu kriterler göz önüne alınarak dizayn edilmelidir. Derin kazı projelendirilirken çevre etkileri de dikkate alınmalıdır. Kazının yapılacağı çevrenin detayları incelenmelidir. Seçilen sistemin ekonomik olup olmadığı değerlendirilmelidir.

İksa sistemine gelen yanal zemin basınçları belirlenmelidir. Rankine, Coulomb toprak basıncı teorileri tek sıra ankrajlı perde duvarlarına ve klasik istinat yapılarına uygulanabilmekte fakat çok sıra ankrajlı iksa sistemlerini modelize edememektedir. Fakat bu teoriler yanal toprak basıncı kavramının anlaşılmasında önemli teorilerdir. Çok sıra ankrajlı destek sistemlerinde Bölüm 2 de “Derin Kazı İksa Sistemlerine Etkiyen Toprak Basınçları” başlığı altında verilen toprak basınçları kullanılabilir. Kazı çevresindeki makinalardan kaynaklanan sürşarj yükleri de dikkate alınmalıdır. Yine günümüzde hesaplar, çeşitli analiz metotlarını kullanan bilgisayar programlarıyla yapılabilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemiyle daha gerçekçi modellemeler yapmak mümkün olmaktadır. Bir derin kazının sonlu eleman analizini

gerçekleştirmek, inşasından ve gözetlenmesinden daha kolay ve ekonomiktir. Ancak analizdeki yaklaşım ve varsayımlar analizin doğruluğunu sınırlandırmaktadır. Kazılarda yapılan aletsel gözlemler analizin doğruluğunu kontrol etmektedir.

İnclinometre cihazıyla yatay deplasmanlar okunarak, analizle hesaplanan deplasmanlar karşılaştırılır. Böylece kazının performansı ve çevreye olan etkisi hakkında bilgi alınabilir. Deplasmanların tahmin edilen düzeyde olması kazının başarıyla yapıldığının ispatıdır.

Yer altı suyu, sıcaklık rötre, konsolidasyon gibi etmenlerde kazı performansını etkilemektedir. Bu etmenlerin kazı performansına etkileri incelenmeli ve bunlardan doğabilecek stabilite problemleri proje aşamasında dikkate alınmalıdır. Taban kabarması ve derin kayma dairesi analizleri yapılmalıdır. Taban kabarmasını önlemek için, kullanılan iksa sisteminin boyu artırılmalıdır.

Yatay destek olarak kullanılan ankraj ve çivilerin uygulama detayları da önemlidir. Yapılan çalışmalar, deplasmanların azaltılmasında yatay destek elemanlarının sıklaştırılmasının etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Yatay desteklerin eğim açısı ve kayma dairesi dışına çıkacak şekilde sert tabakaya penetre edilmiş olması da önemlidir.

İnşa sırası, yapılan işçilik ve imalatın kalitesi de derin kazı performansı üzerinde etkilidir. İksa sisteminde kullanılacak malzemelerin kalitesi projede öngörülen kalitede olmalıdır. Gerekli kontroller ve deneyler yapılarak malzeme kalitesi tespit edilmelidir.

Derin kazı gerektiren projelerde, mimari projeler iksa sistemi göz önüne alınarak projelendirilmelidir. İksa sisteminden doğacak yer kayıpları göz önüne alınmalıdır.

Derin kazı inşasından sonra Bölüm 6 da anlatılan hukuki sorunlarla karşılaşmamak için çevre iyi araştırılmalıdır. Komşu yapıların stabilite sorunları olup olmadığı tespit edilerek tutanak hazırlanmalıdır.

Derin kazılarda esas olan, kazının koşullarına göre kabul edilebilir deplasman değerine ulaşmak ve stabiliteyi sağlamak için uygulanabilecek en ekonomik destek sisteminin seçilmesidir. Her bir kazı kendi saha koşullarına göre ele alınmalı ve analiz edilmelidir. Tüm kriterler değerlendirilerek uygun destek sistemi seçilmelidir.

Ülkemizde derin kazılarla ilgili herhangi bir teknik şartname bulunmamaktadır. Ancak iksa sistemleri olarak da kullanılan elemanlara ait çeşitli standartlar mevcuttur. Bunlar; Fore kazıklarla ilgili TS 3168-EN 1536 standardı, püskürtme beton için TS 11747 standardı, diyafram duvarlar için TS EN 1538 standardı, palplanş duvarlar için TS EN 12063 standardı, zemin dayanma yapıları için TS 7994 standardı, zemin ankrajları için TS EN 1537 standardıdır. Ayrıca “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik”te de deprem durumunda iksa sistemine gelen toprak basınçları verilmiştir.

Derin kazıların daha kaliteli bir şekilde yapılması ve ortaya çıkabilecek hasarların önlenmesi için derin kazılarla ilgili ayrı bir teknik şartnamenin oluşturulmasında yarar vardır. Böyle bir teknik şartnamenin yapılması halinde, aşağıda verilen konu başlıklarının dikkate alınması önerilmektedir.

- Geoteknik araştırmaların kapsamı
- Çevre etkilerinin iksa sistemine etkisi
- Zemin cinsine göre iksa sistemine gelecek toprak basınçları
- Derin kazı iksa sistemlerinin hesap yöntemleri
- Stabilite sorunları
- İksa sistemlerinin uygulama esasları
- İksa sistemlerinde kabul edilebilir deplasman sınırlamaları
- İksa sistemlerinin aletsel gözlem kriterleri

Günümüzde derin kazılar özellikle metro ve yüksek yapı inşaatlarında sıkça uygulanmaktadır. Yapılan kazıların performansları incelenerek, kalitesi belirlenmektedir. Özellikle kentsel alanlardaki kazılarda performans incelemesi daha

kontrollü ve sık yapılmaktadır. Bu incelemede ortaya çıkan sonuçlar araştırılarak, bilgi ve tecrübeler daha sonra yapılacak kazılarda kullanılmaktadır. Böylece derin kazıların kalitesinin artırılması hedeflenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] NALÇAKAN, M.S., Derin Kazılar, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Meslekiçi Eğitim Merkezi 2003 Yılı Sonbahar Dönemi Seminerleri No:4, Ankara, 2004
- [2] UZUNER, B.A., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayınevi, 1998
- [3] KUMBASAR, V., KİP, F., Zemin mekaniği problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul
- [4] YILDIRIM, S., Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, 2002
- [5] BERİLGİN, M., ÖZAYDIN, K., İnşaat Adımlarının Ankrajlı Perde Mekaniğine Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1996
- [6] TSCHEBOTARIOFF, G.P., Foundations, Retaining and Earth Structures, McGraw-Hill Book Co. Inc., Newyork, 1951
- [7] HANNA, H.T., Foundations in Tension – Ground Anchors, McGraw-Hill Book Co. Inc., Newyork, 1982
- [8] SIA 191, Swedish Standart for Ground Anchors, 1982
- [9] “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ”, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No: 25, 1997
- [10] ÇALIŞKAN, O., ÖZKAN, M.Y., Zemine Gömülü Ankrajlı İksa Duvarları Hesap ve Tasarım Yöntemleri ve Eurocode-7’ye Göre Tasarım Esasları, 26-27 Ekim 2005 Adana Geoteknik Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası, 2005
- [11] APAYDIN, B.S., Derin Kazılar ve Destekleme Sistemleri, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003

- [12] KELEŞOĞLU, O., ÖZKAN, M.Y., Dolgu Yüklerinden Kaynaklanan Deplasmanların Kazıklar Üzerindeki Yatay Yük Etkisi, 26 – 27 Ekim 2005 Adana Geoteknik Sempozyumu, İnşaat Mühendisleri Odası, 2005
- [13] AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington
- [14] BOWLES, J.E., Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill Book Co. Inc., Newyork, 1996
- [15] CLAYTON, C.R.I., MILITITSKY, J. ve WOODS, R.I., Earth Pressure and Earth-retaining Structures, Blackie Academic & Professional, London, 1993
- [16] SAĞLAMER, A., Derin Kazılarda Güncel Destekleme Yöntemleri, 1987
- [17] www.temeltas.com.tr. – Temeltaş İnş. San. Ve Tic. A.Ş.
- [18] XANTHAKOS, P.P., Slurry Walls on Structural Systems, McGraw-Hill Book Co. Inc., Newyork, 1994
- [19] GÜLER, E., Şehir İçinde Açılacak Büyük ve Derin Temel Çukurlarında Diyafram Duvarların Kullanımı, İTÜ Yayını, İstanbul, 1977
- [20] LAMBE, T.W. ve WHITMAN R.V., Soil Mechanics, John Wiley, New York, 1969
- [21] BS8081, British Standart Code of Practice For Ground Anchorages, British Standarts Institution , 1989
- [22] TUNÇ, A., Yol Mühendisliğinde Geoteknik Uygulamalar, Atlas Yayınevi, 2002
- [23] Yapı İşlerinde İşçi Sağlığı ve İş güvenliği Tüzüğü, Resmi Gazete, Eylül 1974
- [24] SIMPSON B., Retaining structures, displacement and design, Geotechnique, 1992
- [25] FINNO, R.J., Finite element analyses of HDR-4 excavation, Journal of Geotechnical Engineering, 1991

- [26] WHITTLE, A.J., HASHASH, Y.M.A., WHITMAN, R.V., Analyses of deep excavation in Boston, Journal of Geotechnical Engineering, 1993
- [27] SWANSON, P.G., LARSON, T.W., "Shoring failure on soft clay" Design and Performance of Earth Retaining Structures, ASCE GSP 25 , 1990
- [28] STEINER; W., Pedrozzi, G., Risk analysis of tunnel systems in urban areas with variable ground conditions
- [29] BONO, N.A., Liu, T.K., SOYDEMİR C., Performans of an internally braced slurry-diaphragm wall for excavation support, Slurry wall: design, construction and quality control, STP 1129 ASTM, Philadelphia ,1992
- [30] WONG K.S., BROMS, B.B., Lateral wall deflections of braced excavations in clay, Journal of Geotechnical Engineering, 1989
- [31] GOH, A.T.C., Estimating Basal-Heave stability of Braced Excavations in Soft Clay , Journal of Geotechnical Engineering ,1994
- [32] TS 3168 EN 1536 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Delme(Fore)-Kazıklar-(Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar), Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2001
- [33] TS 11747 Püskürtme Beton (Shocrete) Yapım, Uygulama ve Bakım Kuralları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1995
- [34] TS EN 1538 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Diyafram Duvarlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2001
- [35] TS EN 12063 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Palplanş Duvarlar, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2001
- [36] TS 7994 Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirilme Esasları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 1990
- [37] TS EN 1537 Özel Jeoteknik Uygulamalar-Zemin Ankrajları, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, 2001

EKLER



Resim 1 Kesişen Kazık ve ankraj uygulamalı iksa sistemi



Resim 2 Püskürtme beton ve zemin çivili İksa sistemi



Resim 3 Asker kazıklı iksa sistemi



Resim 4 Asker kazıklı ahşap kaplamalı iksa sistemi



Resim 5 Diyafram duvar iksa sistemi



Resim 6 Berlin Duvarı

ÖZGEÇMİŞ

17 .08.1981 de Tosya'da doğdu.İlk öğrenimini Namık Kemal İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Orta ve lise öğrenimini Tosya Anadolu Lisesi'nde bitirdi. 1999 da Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2004 yılında mezun oldu ve aynı sene Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu üniversitede öğrenimini sürdürmektedir.