

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KOHEZYONLU ZEMİNLERDE DAYANMA DUVARLARININ
KONSOLİDASYON OTURMALARININ HESAPLANMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Evrim TURAN

**TEMMUZ 2006
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KOHEZYONLU ZEMİNLERDE DAYANMA DUVARLARININ
KONSOLİDASYON OTURMALARININ HESAPLANMASI**

İnş.Müh. Evrim TURAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"İnşaat Yüksek Mühendisi"
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 09.06.2006

Tezin Savunma Tarihi : 07.07.2006

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Bayram Ali UZUNER

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

“ Kohezyonlu Zeminlerde Dayanma Duvarlarının Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması” adındaki bu çalışmayı bana öneren ve tez çalışmamın her aşamasında benden gerek bilgi, gerekse deneyimlerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof.Dr.Bayram Ali UZUNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sırasında, geçmiş yıllarda aynı anabilim dalında yüksek lisans yapmış olması nedeniyle hem deneyimlerinden, hem de bilgilerinden yararlandığım arkadaşım İnş.Yük.Müh. Mustafa Ogun BAYRAKTAR'a teşekkür ederim.

Tezimi yazarken ve düzenlerken fikirlerinden yararlandığım, manevi olarak destek gördüğüm, değerli insan İç Mimar Y.Olcay CÜRE'ye teşekkürü borç bilirim.

Eğitim hayatımın tüm aşamalarında bende emeği geçen tüm öğretmenlerime şükranlarımı sunarım.

Son olarak beni yetiştiren, maddi-manevi hiçbir şey esirgemeyen ve bu noktaya gelmemi sağlayan ailemin tüm fertlerine ve özellikle kardeşim Ersin TURAN'a teşekkür eder, bu çalışmamın inşaat mühendislerine faydalı olmasını dilerim.

Evrin TURAN
Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
ÖZET	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Dayanma Duvarlarının Tanımı.....	2
1.3. Dayanma Duvarlarının Tarihçesi.....	2
1.4. Dayanma Duvarlarının Kullanıldıkları Yerler.....	4
1.5. Dayanma Duvarlarının Türleri.....	5
1.5.1. Taş Ağırlık Dayanma Duvarları.....	5
1.5.2. Beton Ağırlık Dayanma Duvarları.....	6
1.5.3. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı.....	6
1.5.4. Konsol Dayanma Duvarları.....	7
1.5.5. Payandalı (Önde veya Arkada) Dayanma Duvarları.....	8
1.5.6. Donatılı Zemin (Toprakarme) Dayanma Duvarları.....	9
1.5.7. Gabyon (Kafes) Dayanma Duvarları.....	9
1.5.8. Sandık Dayanma Duvarları.....	10
1.6. Dayanma Duvarlarına Etkiyen Yanal Zemin Basınçları	11
1.6.1. Rankine Teorisi.....	11
1.6.2. Coulomb Kama Teorisi.....	17
1.7. Dayanma Yapılarına Etki Eden Deprem Yükleri.....	21
1.7.1. Aktif Durumda Deprem Yükleri.....	22
1.7.2. Pasif Durumda Deprem Yükleri.....	24
1.7.3. Yer altı Suyu Bulunması Durumunda Deprem Etkisi.....	27
1.8. Dayanma Duvarlarının Drenajı.....	28

1.9.	Dayanma Duvarlarında Yapılan Tahkikler.....	30
1.9.1.	Kayma (Taban Üzerinde) Tahkiki.....	30
1.9.2.	Devrilme Tahkiki.....	32
1.9.3.	Taşıma Gücü Tahkiki.....	33
1.9.3.1.	Geleneksel Yöntem.....	36
1.9.3.2.	Azaltılmış Genişlik (Meyerhof) Yöntemi.....	38
1.9.4.	Toptan Göçme Tahkiki.....	39
1.9.5.	Oturma Tahkiki.....	39
1.9.6.	Diğer Tahkikler.....	40
2.	KOHEZYONLU ZEMİNLERDE DAYANMA DUVARLARININ KONSOLİDASYON OTURMALARININ BİLGİSAYAR YARDIMIYLA HESAPLANMASI.....	41
2.1.	Giriş.....	41
2.2.	Oturma Terimleri.....	41
2.2.1.	Mutlak (toplam) Oturma.....	42
2.2.2.	Farklı Oturma.....	42
2.2.3.	Açısal Distorsiyon.....	42
2.3.	Oturma Tipleri.....	42
2.4.	Oturma Nedenleri.....	43
2.5.	Farklı Oturmanın Nedenleri.....	44
2.6.	Oturmaların Yol Açtığı Hasarlar	44
2.7.	Üniform Oturmanın Zararları	45
2.8.	Oturmaların Önlenmesi veya Azaltılması	45
2.9.	Temelerde Farklı Oturmaların Azaltılması	46
2.10.	İzin Verilebilir (Müsaade Edilebilir) Oturmalar.....	46
2.11.	Kohezyonsuz ve Kohezyonlu Zeminlerde Oturma.....	47
2.12.	Dayanma Duvarlarında Konsolidasyon (Birincil) Oturmalarının Hesaplanması..	49
2.13.	Yüklemeden Dolayı Bir Kil Tabakasının Ortasındaki Gerilme Artışlarının Hesaplanması.....	51
2.13.1.	Üniform Şerit Yük.....	53
2.13.2.	Üçgen Şerit Yük.....	54
2.14.	Bir Dayanma Duvarı Temeli Altındaki Kil Tabakasında Meydana Gelen İzin Verilebilir Oturma Değerleri.....	55

2.15.	Fortran Bilgisayar Programının Akış Mantığı ve Akış Şemasında Kullanılan Semboller.....	56
2.16.	Fortran Bilgisayar Programının Akış Mantığı.....	58
2.17.	Fortran Bilgisayar Programının Akış Şeması.....	60
2.18.	Kohezyonlu Zeminde Dayanma Duvarının Konsolidasyon Oturmasının Hesaplanması Üzerine Sayısal Örnekler..	61
2.18.1.	Örnek.....	61
2.18.2.	Örnek.....	66
2.19.	1. Örneğin Analiz Sonucu.....	70
2.20.	2. Örneğin Analiz Sonucu.....	71
2.21.	1. Örneğin Elle Çözümünün ve Bilgisayar Sonuçlarının Karşılaştırılması	72
2.22.	2. Örneğin Elle Çözümünün ve Bilgisayar Sonuçlarının Karşılaştırılması	73
3.	SONUÇLAR.....	74
4.	KAYNAKLAR.....	75
	EKLER.....	77
	ÖZGEÇMİŞ.....	80

ÖZET

Zemini farklı iki düzeyde tutan ve yanal zemin basınçlarına maruz kalan duvarlara dayanma duvarları denilir. Dayanma duvarlarının güvenli olarak işlevlerini yerine getirebilmeleri için, dayanma duvarlarında bazı denetimler (tahkikler, kontroller) yapılır. Bu denetimlerin en önemlilerinden biri, oturma denetimidir. Dayanma duvarları, sıklıkla oturma denetimi yapılmadan tasarlanmaktadır. Oysa dayanma duvarı da bir yapıdır ve aşırı oturmalarından hasara uğrayabilmekte, hatta kırılmalar, göçmeler meydana gelebilmektedir. Bu açıdan dayanma duvarlarının oturmaları hesaplanmalı ve izin verilebilir değerlerle karşılaştırılmalıdır.

Bu çalışmanın amacı; kohezyonlu zeminlere oturan dayanma duvarlarının konsolidasyon oturmalarının hesaplanması ve hesaplanan oturmaların izin verilebilir oturma değerleriyle karşılaştırılmasıdır. Bunun için bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve iki tipik örneğe uygulanarak, hesaplanan değerler izin verilebilir değerlerle karşılaştırılmıştır.

Bu tezde, oturma konusunun çok geniş olması nedeniyle, bu konunun bir parçası olan kohezyonlu zeminlerde oturma konusu incelenmiştir.

Çalışmanın 1. Kısmı'nda; dayanma duvarları ile ilgili genel bilgiler (tanımları, sınıflandırılmaları, kullanıldıkları yerler, onlara etkiyen yanal zemin basınçları ve projelendirilmeleri için yapılması gereken denetimler) verilmiştir.

2. Kısmı'nda ise; oturma olayı, üniform ve farklı oturmanın nedenleri, zararları, alınabilecek önlemler gibi konular üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte dayanma duvarlarının konsolidasyon oturmalarını hesaplayan Fortran bilgisayar programı yazılmış, sayısal iki örnek, hem elle, hem de programla çözülmüştür. İki çözümün sonuçları karşılaştırılmış ve birbirine yakın değerlerin çıktığı görülmüştür. Bu da programın doğru çalıştığını göstermektedir.

Bu bilgilerin ışığında, dayanma duvarlarında diğer denetimler gibi oturma denetimi de yapılmalı ve elde edilen oturma değerleri izin verilebilir oturma değerlerinden küçük olmalıdır.

Anahtar Kelimeler : Dayanma Duvarları, Oturma Denetimi, Kohezyonlu Zemin, Konsolidasyon Oturması, Üniform ve Farklı oturma, Fortran Bilgisayar Programı

SUMMARY

Calculation of Consolidation Settlements of Retaining Walls on Cohesive Soils

The walls that retain soil at different two levels and are subjected to lateral earth pressures are called retaining walls. Some controls are made in retaining wall designs for their safe behaviours. One of the most important control is settlement control. The retaining walls are designed frequently without settlement control. However retaining wall is as a structure and it gets damage even failure if over settlement occur. So, settlement of retaining walls should be calculated and compared with the permissible settlement values.

The aim of this study is calculation of consolidation settlements of retaining walls on cohesive soils and compare estimated settlements with permissible settlement values. For this, a computer program in Fortran Language is developed and calculated settlement values with program were compared with the permissible settlement values.

In this thesis, only apart, settlement on cohesive soils, of the settlement subject which is too large was studied.

In the first section of this study, general information about the retaining walls (such as their definition, classification, their usage in practice, earth pressures on them, controls for their design) are given.

In the second section, settlement phenomenon, causes of uniform and differential settlements, measures against such damages are given. Also, a computer program in Fortran Language is developed and used in for the calculation of consolidation settlement in two typical examples. The solution results are in good agreement with solution by hand. So, computer program is working well.

As a result, settlements of retaining walls should be computed and calculated settlements should be less than the permissible settlements.

Key Words : Retaining walls, Settlement control, Cohesive soil, Consolidation settlement, Uniform and Differential settlement, Fortran Computer Program

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Dayanma yapılarının sınıflandırılması.....	1
Şekil 2. Yanal zemin basıncının etkisindeki dayanma duvarı.....	1
Şekil 3. Tipik bir palplanş perdesi.....	2
Şekil 4. Düşey tahtalarla kaplanmış bir hendek.....	2
Şekil 5. Dayanma duvarlarının kullanıldıkları yerler.....	4
Şekil 6. Taş ağırlık dayanma duvarı.....	6
Şekil 7. Beton ağırlık dayanma duvarı.....	6
Şekil 8. Yarı ağırlık dayanma duvarı.....	7
Şekil 9. Konsol dayanma duvarı.....	8
Şekil 10. Ana donatıları yerleştirilmiş konsol dayanma duvarı.....	8
Şekil 11. Payandalı (önde veya arkada) dayanma duvarı.....	8
Şekil 12. Hazır plaklı, donatılı zemin duvarı.....	9
Şekil 13. Gabyon dayanma duvarı çeşitleri	10
Şekil 14. Sandık dayanma duvarı.....	11
Şekil 15. Kohezyonsuz zeminde aktif durum.....	14
Şekil 16. Kohezyonsuz zeminde pasif durum	14
Şekil 17. Kohezyonlu zeminde aktif durum.....	15
Şekil 18. Kohezyonlu zeminde pasif durum.....	16
Şekil 19. Kohezyonsuz zeminde aktif durum.....	17
Şekil 20. Kohezyonsuz zeminde pasif durum.....	18
Şekil 21. Dayanma duvarlarına etki eden aktif deprem itkisi.....	21
Şekil 22. Aktif durumda deprem itkileri.....	22
Şekil 23. P_{AE} 'nin etki yeri.....	24
Şekil 24. Pasif durumda deprem itkileri.....	24
Şekil 25. Dayanma duvarlarında çeşitli drenaj önlemleri.....	28
Şekil 26. Dayanma duvarlarında yüz drenaj delikleri ve ayırma aralıkları (karşıdan görünüş).....	30
Şekil 27. Dayanma duvarında taban üzerinde kayma.....	31
Şekil 28. Dayanma duvarında (taban üzerinde) kayma tahkiki.....	31

Şekil 29. Dayanma duvarında devrilme.....	32
Şekil 30. Dayanma duvarında devrilme tahkiki.....	33
Şekil 31. Dayanma duvarında taşıma gücü göçmesi	34
Şekil 32. Yükün çekirdek içinde olması hali.....	36
Şekil 33. Yükün çekirdek sınırında olması hali.....	37
Şekil 34. Yükün çekirdek dışında olması hali.....	37
Şekil 35. Meyerhof Azaltılmış Genişlik Yöntemi.....	38
Şekil 36. Dayanma duvarında toptan göçme.....	39
Şekil 37. Dayanma duvarının farklı oturması.....	39
Şekil 38. Betonarme dayanma duvarları.....	40
Şekil 39. Oturma.....	41
Şekil 40. Oturma ile ilgili terimler.....	41
Şekil 41. Yapılarda üç tip oturmanın şematik gösterimi.....	43
Şekil 42. Kohezyonsuz zeminlerde oturma-zaman ilişkisi.....	48
Şekil 43. Suya doygun kohezyonlu zeminlerde oturma-zaman ilişkisi.....	49
Şekil 44. Tabaka ortasında meydana gelen düşey gerilme artışları.....	49
Şekil 45. Dayanma duvarının tabanında yüklemeden dolayı oluşan taban basınç dağılımları.....	51
Şekil 46. Dayanma duvarının tabanında oluşan yamuk basınç dağılımından dolayı, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları.....	52
Şekil 47. Dayanma duvarının tabanında oluşan üçgen taban basınç dağılımından dolayı, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları.....	52
Şekil 48. Dayanma duvarının tabanında oluşan kopmuş üçgen basınç dağılımından dolayı, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları.....	53
Şekil 49. Üniform şerit yük.....	53
Şekil 50. Üçgen şerit yük.....	54
Şekil 51. Dayanma duvarının burun ve topuk noktasında meydana gelen oturmalar.....	55
Şekil 52. Fortran bilgisayar programında kullanılan semboller.....	57
Şekil 53. Fortran bilgisayar programının akış mantığı.....	58
Şekil 54. Fortran bilgisayar programının akış şeması.....	60
Şekil 55. Dayanma duvarı ve zemine ait bilgiler.....	61
Şekil 56. Dayanma duvarına etkiyen yanal zemin basınçları.....	61
Şekil 57. Dayanma duvarında meydana gelen taban basınçları.....	62
Şekil 58. Kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları.....	63

Şekil 59. Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri.....	65
Şekil 60. Dayanma duvarı ve zemine ait bilgiler.....	66
Şekil 61. Dayanma duvarına etkiyen yanal zemin basınçları.....	66
Şekil 62. Dayanma duvarında meydana gelen taban basınçları.....	67
Şekil 63. Kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları.....	68
Şekil 64. Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri	69

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1 : Zemin cinsine bağlı K_0 değerleri.....	13
Tablo 2 : Dayanma duvarında aktif basınç yaratan minimum kayma ve dönme miktarları.....	17
Tablo 3 : Aktif ve pasif basınç katsayıları (Skolovski).....	19
Tablo 4 : Granüler zeminler için μ değerleri.....	32
Tablo 5 : Terzaghi Taşıma Gücü Katsayıları.....	35
Tablo 6 : İzin verilebilir maksimum oturma değerleri.....	47
Tablo 7 : 1. Örneğin Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	72
Tablo 8 : 2. Örneğin Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	73

SEMBOLLER DİZİNİ

a_h	: Deprem ivmesinin yatay bileşeni
a_v	: Deprem ivmesinin düşey bileşeni
B	: Duvar genişliği
B'	: Azaltılmış duvar genişliği
C	: Temel zemininin kohezyonu
C_0	: Deprem bölge katsayısı
C_c	: Sıkışma indisi
e	: Eksantrisite
e_0	: Tabakanın yüklemmeden önceki durumuna ait boşluk oranı
F	: Kayma kaması üzerine etkileyen normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi
F_s	: Sürtünme kuvveti
G_s	: Güvenlik sayısı
h_w	: Duvar tabanından itibaren su yüksekliği
H	: Duvar yüksekliği
H	: Tabaka kalınlığı
I	: Yapı önem katsayısı
I_s	: Üniform şerit yük etki faktörü
I_T	: Üçgen şerit yük etki faktörü
$k_h W$: Deprem yatay etkisi
$k_v W$: Deprem düşey etkisi
k_1, k_2	: Temel şekil katsayıları
K_0	: Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_a	: Aktif zemin basınç katsayısı
K_p	: Pasif zemin basınç katsayısı
m_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
N_c, N_q, N_γ	: Temel zemininin, ϕ içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
P_a	: Aktif bileşke kuvvet
P_{AE}	: Statik ve sismik yükten dolayı duvara etkileyen aktif kuvvet
P_p	: Pasif bileşke kuvvet

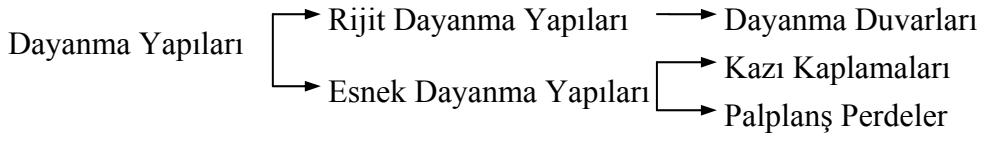
P_{PE}	: Statik ve sismik yükten dolayı duvara etkiyen pasif kuvvet
P'_0	: Temel taban düzeyindeki efektif gerilme
q_{em}	: Emin taşıma gücü
$q_{sınır}$: Sınır taşıma gücü
r_u	: Boşluksuyu basıncı katsayısı
R	: Bileşke kuvvet
s	: Zemin ivme katsayısı
W	: Zemin kamasının ağırlığı
z_0	: Duvar arkasındaki gerilmenin sıfır olduğu derinlik
α	: Dayanma duvarının dolgu tarafındaki yüzeyinin yatayla yaptığı açı
β	: Arka dolgunun yatayla yaptığı açı
β	: Açısal distorsiyon
δ	: Duvarla dolgu arasındaki sürtünme açısı
δ	: Taban sürtünme açısı
δ	: Farklı oturma
ϕ	: Kayma direnci açısı
ϕ'	: Efektif kayma direnci açısı
γ	: Zeminin doğal birim hacim ağırlığı
γ_d	: Zeminin doygun birim hacim ağırlığı
γ_k	: Zeminin kuru birim hacim ağırlığı
λ	: Dayanma duvarının yüksekliğine göre rölatif su derinliği
μ	: Taban sürtünme katsayısı
ν	: Zeminin poisson oranı
θ	: Duvar arka dolgusundaki kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı
θ_d	: Kayma yüzeyindeki içsel sürtünme açısı
ρ	: Mutlak oturma
ρ_i	: İlk (ani) oturma
ρ_c	: Birincil konsolidasyon oturması
ρ_s	: İkincil konsolidasyon oturması
σ'_1	: Tabaka ortasında, yüklemmeden önceki düşey efektif gerilme
σ'_2	: Tabaka ortasında, yüklemmeden sonraki düşey efektif gerilme

σ'_0	: Sükunetteki yatay toprak basıncı
σ_a	: Aktif yanal zemin basıncı
σ_p	: Pasif yanal zemin basıncı
σ_d	: Düşey gerilme
σ_{max}	: Maximum taban basıncı
σ_{min}	: Minimum taban basıncı
ΔH_∞	: Tabakanın toplam son oturması
ΔM_O	: Toplam moment
ΣN	: Toplam yük
$\Delta \sigma'$: Yüklemeden dolayı tabakanın ortasındaki efektif gerilme artışı

1. GENEL BİLGİLER

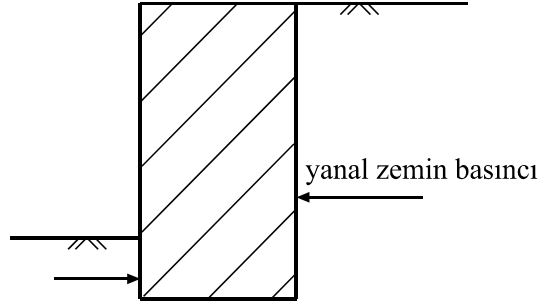
1.1. Giriş

Zemini farklı iki düzeyde tutan ve yanal zemin basınçlarına maruz kalan yapılara dayanma yapıları denir (Uzuner, 2005). Şekil 1’de görüldüğü gibi dayanma yapıları iki ana gruba ayrılabilir. Bunlar rijit dayanma yapıları ve esnek dayanma yapılarıdır.



Şekil 1. Dayanma yapılarının sınıflandırılması

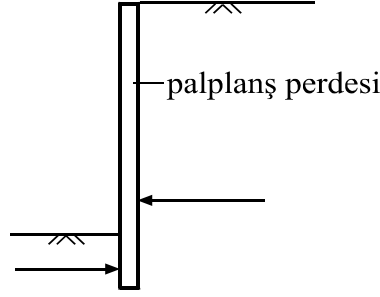
Eğilme rijitlikleri büyük olan rijit dayanma yapıları, çok az deformasyona uğrarlar. Bunlara örnek olarak dayanma (istinat) duvarları verilebilir. Şekil 2’de yanal zemin basıncının etkisinde olan bir dayanma duvarı görülmektedir.



Şekil 2. Yanal zemin basıncının etkisindeki dayanma duvarı

Eğilme rijitlikleri küçük olan esnek dayanma yapıları, rijit dayanma yapılarına oranla daha fazla deformasyona uğrarlar. Palplanş perdeleri ve kazı kaplamaları (iksa), esnek dayanma yapılarına örnek olarak verilebilir.

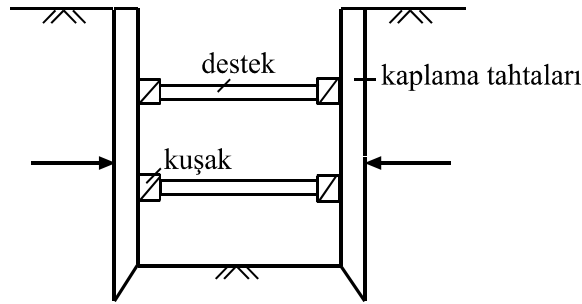
Palplanş perdeleri; ahşap, hazır beton veya çelik elemanların yan yana çakılmasıyla oluşturulur. Daha çok rıhtım, iskele gibi su yapılarında uygulanır. Şekil 3’te tipik bir palplanş perdesi görülmektedir.



Şekil 3. Tipik bir palplanş perdesi

Palplanş perdeler; hafif, ekonomik olmalarından ve birçok kez kullanılabilmelerinden dolayı günümüzde kuru inşaatta da sıkça kullanılmaktadırlar.

Şekil 4'ten de görüldüğü gibi kazı kaplamaları; herhangi bir nedenden kazılan çukurda, çalışma güvenliğini sağlamak amacıyla, kazının yan yüzlerine kaplanır. Killi zeminlerde kohezyon nedeniyle belli bir derinliğe kadar kaplama olmaksızın kazı yapılabilmektedir.



Şekil 4. Düşey tahtalarla kaplanmış bir hendek

1.2. Dayanma Duvarlarının Tanımı

Yamaçlarda, sığ kayma olasılığı olan yerlerde yamaç dengesini sağlamak için, ya da yarma ve dolgu şevlerinin bir nedenden dolayı yeterince yatık yapılamaması durumunda, şev stabilitesinin sağlanması amacıyla inşa edilen ve yanal toprak basınçlarına maruz kalan yapılara, dayanma duvarları denir (Tunç, 2002).

1.3. Dayanma Duvarlarının Tarihçesi

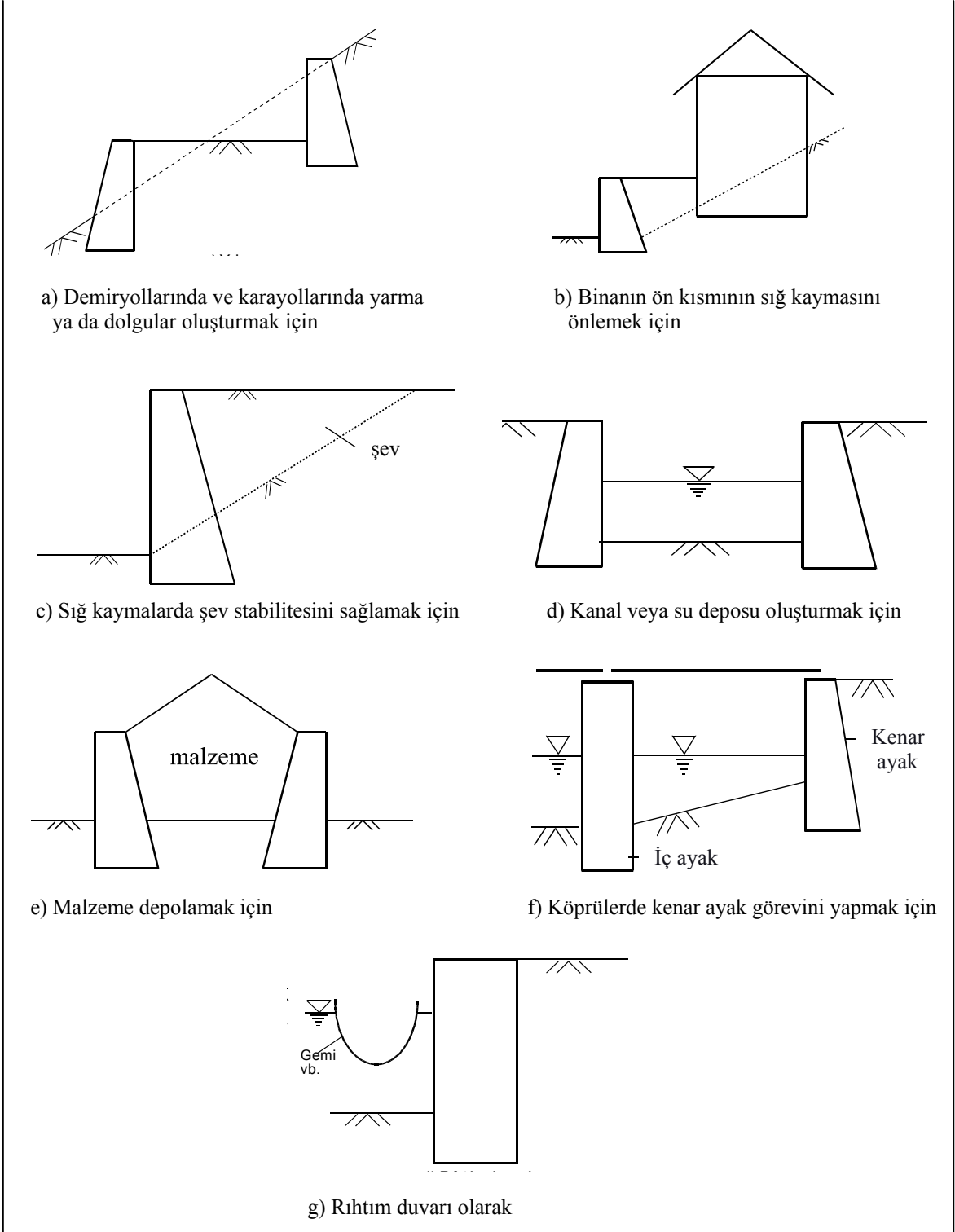
Dayanma duvarlarının varlığı, binaların yapımı ile başlamıştır. Basit dayanma duvarlarından çok amaçlı elemanlara geçiş de tarih öncesine dayanır. Köprü ayakları gibi

derin kazı gerektiren çalışmalarda, zemine iki sıra bambu kazıklar akıp su sızıntısını durdurmak için arayı kille doldurma yönteminin in'de Han Sülalesi zamanında uygulanmış bir destek sistemi olduğu bilinmektedir. Ortaçaė'dan başlayarak derin siperlerin dayanma duvarlarıyla desteklenmesi, askeri mühendislerin sürekli uğraştıkları bir konu olmuştur.

Genel tarifiyle dayanma duvarı, zemin seviye farklarının korunması için kullanılan bir yapıdır. Bu amacı sağlamak için zeminin önüne; ağır blokların, basına karşı koyacak miktarlarda yerleştirilmesi dşnlmş ve uygulama yıllarca srdrlmştir. Roma ve Bizans'ta yapılan başarılı duvarların nedeni, blokların arasına eklenen puzolan malzemelerle harçlı olarak işlenmesidir. Çimentonun endüstriye sunulması ile harçlı örme duvarlar, sonra da beton ve betonarme duvarların yapımına geçilmiştir (nalp, 1992).

1.4. Dayanma Duvarlarının Kullanıldıkları Yerler

Dayanma duvarlarının kullanıldıkları yerlerin bazıları Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Dayanma duvarlarının kullanıldıkları yerler

1.5. Dayanma Duvarlarının Türleri

Günümüzde yapılan ve kullanılan dayanma duvarlarının türleri; istenilen yükseklik, elde bulunan yapı malzemeleri, yeraltı suyu durumu, dolguda kullanılacak zemin türü ve kullanma amacına bağlı olarak seçilir. Diğer konularda olduğu gibi dayanma duvarlarında da maliyet en önemli öğedir. Uzunluğu yüzlerce metreyi bulabilen projelerde yanlış tip seçimi veya ekonomik olmayan kesitlerin kullanılması önemli maddi kayıplara neden olabilmektedir (Önalp, 1992).

Kullanılan yapı malzemesi ve sistemi bakımından dayanma duvarları şu türlere ayrılabilir:

1. Ağırlık Dayanma Duvarları
 - a. Taş Ağırlık Dayanma Duvarları
 - b. Beton Ağırlık Dayanma Duvarları
2. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarları
3. Betonarme Dayanma Duvarları
 - a. Konsol Dayanma Duvarları
 - b. Payandalı (önde veya arkada) Dayanma Duvarları
4. Donatılı Zemin Dayanma Duvarları
5. Gabyon (Kafes) Dayanma Duvarları
6. Sandık Dayanma Duvarları

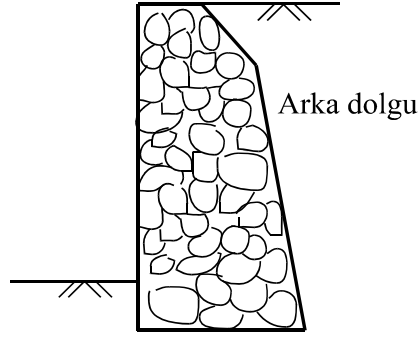
1.5.1. Taş Ağırlık Dayanma Duvarları

Kargir dayanma duvarı olarak da bilinirler. Taşların arasına harç kullanılırsa “harçlı dayanma duvarı”, harç kullanılmazsa “kuru dayanma duvarı” veya “kuru duvar” olarak adlandırılırlar.

Taş ağırlık dayanma duvarları için kullanılacak taşın fiziksel ve geometrik nitelikleri, şartnamelerde belirtilmiştir. Bu taşlar genellikle homojen, sağlam, sık kristalli, sert, aşınmaya ve donmaya, ya da başka hava etkilerine karşı da dayanıklı olmalıdır (Epsiseli, 1996).

Bu tür dayanma duvarları, yanal toprak basıncına, kendi öz ağırlıkları ile direnirler. Bu yüzden belirli yükseklikleri aşmamalıdır (4-5 m).

Şekil 6’da taş ağırlık dayanma duvarı görülmektedir.

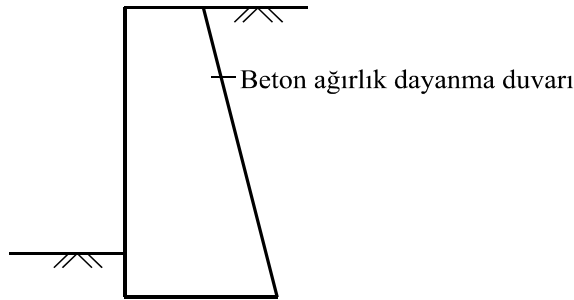


Şekil 6. Taş ağırlık dayanma duvarı

Ağırlık dayanma duvarlarının diğer tiplere göre olumlu yanı; kütlesi nedeniyle aşınma, paslanma hatta kısmi kırılmadan daha az etkilenmesidir.

1.5.2. Beton Ağırlık Dayanma Duvarları

Beton dayanma duvarları ile taş ağırlık dayanma duvarlarının kullanılma yerlerinde herhangi bir farklılık yoktur. Bazı bölgelerde istenen nitelikte taş sağlanması olanağı yoktur. Kum, çakıl, çimento sağlamak daha kolay olabilir. Bu gibi durumlarda beton dayanma duvarı yapmak, taş dayanma duvarına göre daha çok tercih edilmelidir (Epsiseli, 1996). Şekil 7’de beton ağırlık dayanma duvarı görülmektedir.

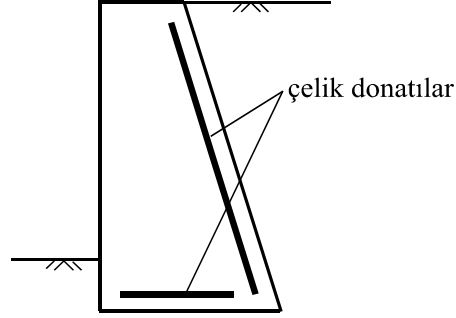


Şekil 7. Beton ağırlık dayanma duvarı

1.5.3. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı

Şekil 8’den de görüldüğü gibi, betonda çekme gerilmelerinin meydana geldiği kısımlara

bir miktar donatı ekleyerek ağırlık tipinde kullanılan beton miktarını azaltmak mümkündür. Özellikle, gövde belirgin oranda küçüldüğünden; temel boyutu, stabilitenin sağlanması için büyür. Bu tipe, yarı ağırlık dayanma duvarı denir.



Şekil 8. Yarı ağırlık dayanma duvarı

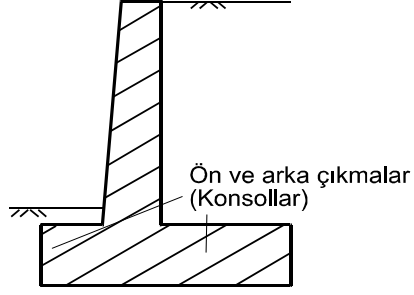
1.5.4. Konsol Dayanma Duvarları

Dayanma duvarının yerleştirileceği alan bazen dar ve yetersiz olabilir. Duvar kesitlerine, stabilizeye gerekli boyut ve ağırlık verilemez. Bu durumda duvarın arkasına ya da önüne temelde çıkma (konsol) yapılır. Bu çıkma önde ise, duvarın devrilmeye karşı direnç momentini, direnç kuvvetlerinin dönme merkezine uzaklığını arttırarak büyütür. Çıkma arkada ise; çıkma üzerine duvar arkasındaki dolgu yükleri de katılarak devrilmeye karşı direnç momentini arttırır. Çıkmanın önde veya arkada olması, yer darlığının hangi yönde olduğuna bağlıdır. Çıkmanın konması ile duvar-temel kitlelerinde eğilme momentleri oluşacaktır. Bu momentler, duvar temelini betonarme yaparak önlenir. Duvar kesitlerinin küçüklüğü nedeniyle duvar kesitlerinde basınç çizgisi kesit çekirdeği dışına çıkacağından, kesitlerde eksantrik kuvvet çekme gerilmeleri yaratacaktır. Bu nedenle de duvar gövdesi de betonarme olarak yapılır (Çağlarer, 1986).

Konsol dayanma duvarları genellikle L, T, J biçimlerinde olabilirler. Küçük ve orta yükseklikler (7-8 m) için ekonomiktirler.

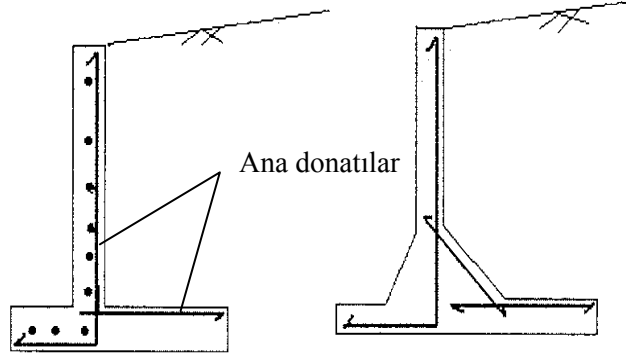
Konsol dayanma duvarının özel bir şekli taşkın dayanma yapılarında görülür. Normal konsol duvarda, topuk yanındaki temel uzun tutularak bunun üzerine binecek toprak etkisinden faydalanma amaçlanmıştır. Taşkın duvarında ise bu etki, uzun tutulan burun tarafından elde edilmiştir.

Şekil 9'da konsol bir dayanma duvarı görülmektedir.



Şekil 9. Konsol dayanma duvarı

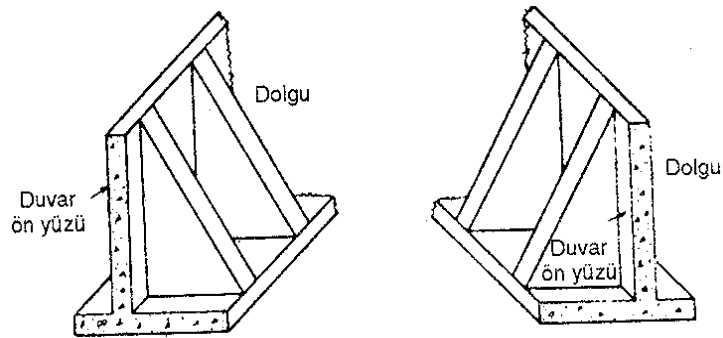
Şekil 10'da ana donatıları yerleştirilmiş konsol duvar görülmektedir.



Şekil 10. Ana donatıları yerleştirilmiş konsol dayanma duvarı (Aytekin, 2004).

1.5.5. Payandalı (Önde veya Arkada) Dayanma Duvarları

Şekil 11'de payandalı ve ters payandalı duvar gösterilmiştir.



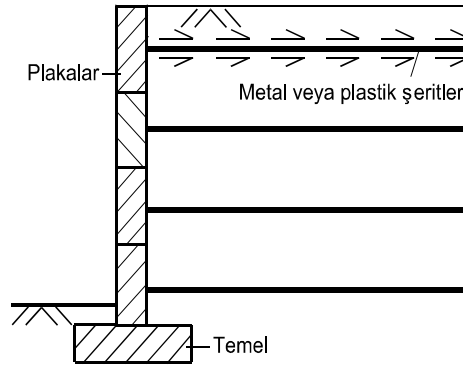
Şekil 11. Payandalı (önde veya arkada) dayanma duvarı (Tunç, 2002).

Konsol dayanma duvarına etkiyen yanal toprak basınçlarının fazla ve yüksekliğin konsol duvar için çok olması durumunda payandalı dayanma duvarı tercih edilir. Payandanın işlevi, konsol duvarlarda uzunlamasına momentleri azaltmaktır. Daha az kullanılan şekli ters payandalı duvardır (Önalp, 1992).

1.5.6. Donatılı Zemin (Toprakarme) Dayanma Duvarları

Donatılı zemin metodu ile dayanma duvarı yapımı, son yıllarda hızla gelişmekte olan bir uygulamadır. İnşaat süresinin kısa ve ekonomik oluşu, uygulama kolaylığı, özel ekipman gerektirmemesi ve çok değişik amaçlar için kullanılabilir olması nedeniyle bu tip dayanma duvarı yaygın olarak kullanılmaktadır (Tunç, 2002).

Şekil 12’de görüldüğü gibi donatılı dayanma duvarları; yan yana veya üst üste kolayca monte edilebilen prefabrik plakaların, yüksek sürtünme kuvveti ve çekme mukavemetine sahip metal veya plastik şeritler ile zemine ankre edilmesiyle oluşturulur. Şeritler, duvar arkasındaki zemin içerisine, dolgu sırasında serilip dolgu ile birlikte sıkışma sonucu zemine ankre edilirler ve zeminde oluşan çekme ve kayma kuvvetlerini alarak sistemin kaymaya ve devrilmeye karşı stabiliteyi sağlarlar (Uzuner, 2005).



Şekil 12. Hazır plaklı, donatılı zemin duvarı (Uzuner, 2005).

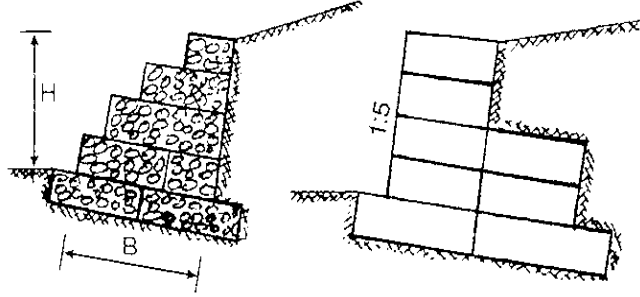
1.5.7. Gabyon (Kafes) Dayanma Duvarları

Gabyonlar, yumuşak çeliklerden kümes teli gibi örgülü olarak fabrikalarda üretilirler ve şantiyede, kafes şeklinde kutular halinde imal edilirler. Daha sonra bu tel örgü kutuların içlerine, iri bloklar halindeki dere malzemesi veya taş parçaları konularak belli ebatta ve ağırlıkta bloklar elde edilir.

Gabyonların delikleri ve tel kalınlıkları çok farklı tiplerde imal edilmektedir. Delikleri genellikle altıgen olup telleri galvaniz (çinko kaplı) veya plastik ile kaplanarak oksidasyona ve çürümeye mani olunur.

Kargir, beton ve betonarme yapılar, işçilik ve malzeme yönünden daha pahalı ve daha uzun sürede inşa edilebilmektedir. Ayrıca bu tip yapılar, soğuk ve yağışlı havalarda inşa edilememektedir. Halbuki gabyon imalatlarında bu tip güçlükler olmayıp daha kolay ve daha çabuk yapılabildikleri gibi daha ekonomik olmaktadır. Gabyon dayanma duvarları, klasik dayanma duvarlarına bir alternatif olarak çeşitli şekillerde yapılır (Tunç, 2002).

Şekil 13'te görüldüğü gibi içi dolu tel kafes kutular, yan yana veya üst üste konularak istenilen boyutta dayanma duvarı imal etmek mümkündür.



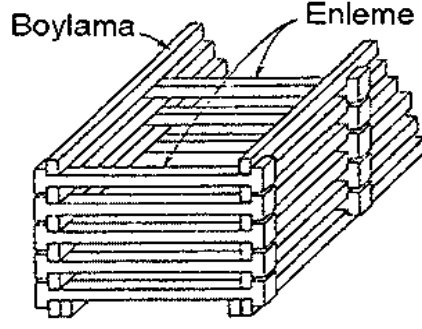
Şekil 13. Gabyon dayanma duvarı çeşitleri (Tunç, 2002).

1.5.8. Sandık Dayanma Duvarları

Şekil 14'te görüldüğü gibi sandık dayanma duvarları, beton kirişler ile kutular şeklinde örülerek elde edilir. Ülkemizde hazır beton sektörü yaygın olup, gün geçtikçe de hızla yaygınlaşmaktadır. Kış aylarında faaliyet göstermeyen bu sektör, bu kirişleri kapalı mekanlarda üreterek hazırlayabilir. Yaz aylarında, bu kirişler ile çok hızlı dayanma duvarları imal edilebilir (Tunç, 2002).

Sandık dayanma duvarlarının temeli, basit betonarme veya beton olarak yapılmaktadır.

Sandık dayanma duvarları; kendi bünyeleri içinde drenajı temin etmeleri, sökülüp takılabilmeleri, tamamlanır tamamlanmaz yük taşıyabilir olmaları, küçük oturmalardan etkilenmemeleri ve bakımlarının kolay olması nedeniyle tercih edilmektedirler.



Şekil 14. Sandık dayanma duvarı

1.6. Dayanma Duvarlarına Etkiyen Yanal Zemin Basınçları

Dayanma duvarlarının projelendirilebilmesi için, onlara etkiyen yanal zemin basınçlarının bilinmesi gerekir.

Zeminlerin yatay deformasyonları engellendiği zaman dayanma yapılarına yanal zemin basınçları etkimektedir. Zeminde meydana gelen bu yanal zemin basınçlarının hesaplanabilmesi için çeşitli teoriler geliştirilmiştir. Bunlar;

- a) Rankine Teorisi
- b) Coulomb Kama Teorisi'dir.

1.6.1. Rankine Teorisi

Rankine Teorisi'nde plastik dengeye ulaşıldığı durumda, toprak basıncı problemi aşağıdaki kabullerle çözülmüştür.

- a) Zemin kütlesi homojen ve izotropdur. Yani, kohezyon c , kayma direnci açısı (ϕ), ve birim hacim ağırlık (γ) zeminin her yerinde aynıdır.
- b) Kayma yüzeyi düzlemseldir. Zemin yüzeyi düzlemseldir.
- c) Dayanma yapısı sonsuz uzunluktadır ve problem düzlemsel olarak çözülebilir.
- d) Dayanma yapısı, aktif ve pasif gerilmelerin oluşabileceği miktarda hareket eder.
- e) Dayanma yapısına etkiyen bileşke kuvvet, dolgu eğimine paralel olarak etki eder.

Bu kabullerden; 3. kabulün dışında hemen hepsi gerçeğe uymamaktadır. Buna rağmen hesaplara kolaylık getirmesi, büyük hatalara neden olmamasından dolayı genel çözüm için kabul edilmektedir.

Zemin homojen olsa bile izotrop değildir. Bir dayanma duvarının arkasına yerleştirilen dolgu çoğu kez sıkıştırıldığından, anizotropluk hemen hemen her zaman dolgunun doğal bir özelliğidir.

Kayma yüzeyinin düzlemsel olması birçok zeminde geçerli değildir. Çünkü kayma yüzeyi bir parabole yakın belirmektedir. Yine zemin yüzeyinin düzlemselliği; mimari nedenlerle iki veya daha fazla kırıkla oluşturulduğundan, Rankine çözümü genellikle geçersiz olur.

Duvarla zemin arasında sürtünme olmadığı ($\delta=0$) kabulü bu teorinin en zayıf yanıdır. Örneğin, eğik sırtlı bir beton duvarın arkasının kumla doldurulması halinde, duvar-zemin arasındaki sürtünme açısı önemli değerlere ulaşmaktadır (Önalp, 1992).

Kohezyonsuz zeminler için geliştirilen Rankine Teorisi, daha sonraları kohezyonlu zemin, tabakalı zemin, yeraltı suyu, üniform yayılı yük vb. durumlar için de genelleştirilmiştir.

Rankine Teorisi'ne göre, zeminlerin yatay deformasyonları dikkate alındığında 2 durum meydana gelebilir. Bunlar;

a) Sükunet durumu (elastik denge)

b) Plastik denge durumu (aktif ve pasif durum)

a) Sükunet durumu (elastik denge) : Zemin ortamında, herhangi bir deformasyonun olmadığı durumda dayanma yapılarına etkiyen yanal basınca, sükunetteki toprak basıncı, bu duruma da sükunet durumu denir. Sükunet durumundaki yatay toprak basıncı Bağintı (1) ile hesaplanabilir.

$$\sigma_0 = K_0 \sigma_d \quad (1)$$

Burada;

σ_0 : sükunetteki yatay toprak basıncı

σ_d : düşey gerilme

K_0 : sükunetteki toprak basıncı katsayısı'dır.

Sükunetteki toprak basıncı katsayısı, K_0 için çeşitli bağıntılar önerilmiştir. Jakky Bağıntısı olarak bilinen bağıntı, genellikle pratikte kullanılmaktadır ve aşağıdaki gibidir :

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \quad (2)$$

Burada;

ϕ' : efektif kayma direnci açısı'dır.

Mayne ve Kulhawy (1982) tarafından ise, Bağıntı 3 önerilmektedir.

$$K_0 = (1 - \sin \phi') \text{OCR}^{\sin \phi'} \quad (3)$$

Burada;

OCR : aşırı konsolidasyon oranı'dır.

Bir diğer bağıntı ise aşağıdaki gibidir :

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (4)$$

Burada,

ν : zeminin poisson oranı'dır.

Zeminin cinsine bağlı bazı K_0 değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Zemin cinsine bağlı K_0 değerleri

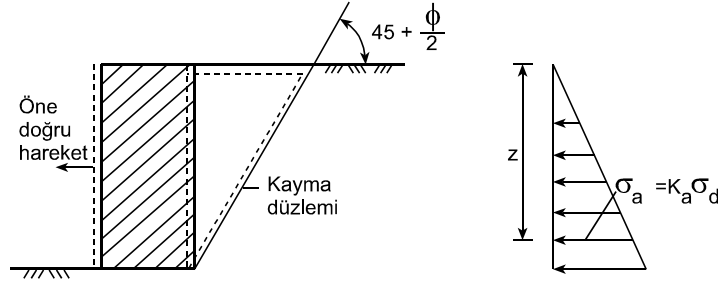
Zemin cinsi	K_0
Gevşek kum	0.4
Sıkı kum	0.6
Kil (OCR < 4)	1.0
Kil (OCR > 4)	≥ 2
Yumuşak kil	0.6
Sert kil	0.5

b) Plastik denge durumu : Zemin ortamında plastik durum elde etmek için, zeminin yanal deformasyona (sıkışma veya genişleme) uğraması gerekmektedir.

Aşağıda, kohezyonsuz zeminler için Rankine Teorisi açıklanacaktır.

Aktif durum : Zemin, yanal bir genişlemeye tabi tutulursa, dayanma yapılarına etki eden yanal basınçlara aktif basınç; bu duruma da aktif durum denir.

Şekil 15'ten görüldüğü gibi duvarın öne doğru hareket ettirilmesi ile, duvar arkasında aktif durum meydana gelir ve duvara aktif yanal zemin basıncı etki eder. Aktif yanal zemin basınç dağılışı, derinlikle doğrusal olarak artar.



Şekil 15. Kohezyonsuz zeminde aktif durum

Aktif durumda, yatay ve düşey gerilmeler arasında, aşağıdaki bağıntı vardır :

$$\sigma_a = K_a \sigma_d = K_a \gamma_n z \quad (5.a)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (5.b)$$

Burada;

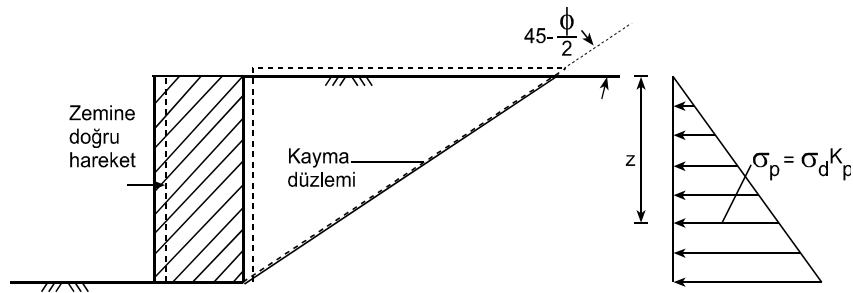
K_a : aktif zemin basınç katsayısı

σ_a : aktif yanal zemin basıncı

σ_d : düşey gerilme

ϕ : kayma direnci açısı'dır.

Plastik durum : Zemin, arka dolguya doğru yanal bir sıkışmaya tabi tutulursa, dayanma yapılarına etki eden yanal basınçlara pasif basınç, bu duruma da pasif durum denir.



Şekil 16. Kohezyonsuz zeminde pasif durum

Şekil 16'dan görüldüğü gibi, dayanma duvarının arka dolguya doğru hareket ettirilmesiyle, duvar arkasında pasif durum oluşur ve duvara pasif yanal zemin basıncı etki

eder. Pasif yanal zemin basınç dağılışı, derinlikle doğrusal olarak artar.

Pasif durumda, yatay ve düşey gerilmeler arasında, aşağıdaki bağıntı vardır :

$$\sigma_p = K_p \sigma_d = K_p \gamma_n Z \quad (6.a)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) \quad (6.b)$$

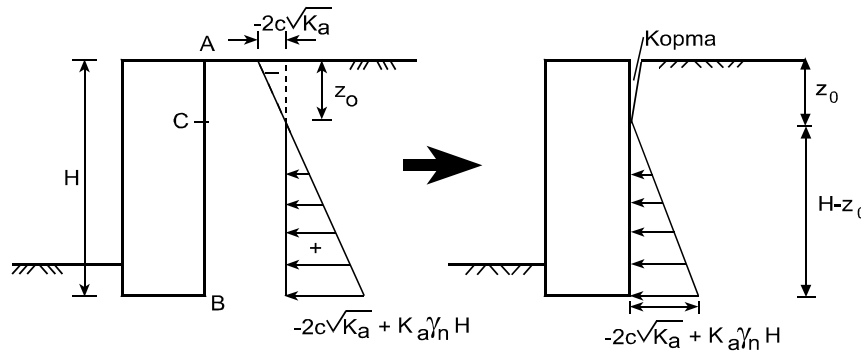
Burada;

σ_p : pasif yanal zemin basıncı

K_p : pasif zemin basınç katsayısı'dır.

Aşağıda, kohezyonlu zeminler için Rankine Teorisi açıklanacaktır.

Rankine Teorisi'ne göre, kohezyonlu bir zeminde ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$) dayanma duvarına etki eden aktif yanal zemin basıncı Şekil 17'deki gibidir.



Şekil 17. Kohezyonlu zeminde aktif durum (Uzuner, 2005)

Şekil 17'den de görüldüğü gibi, zeminin AC derinliğinde çekme gerilmesi (-) oluşur. Pratikte zemin çekme gerilmesi almadığı için, AC derinliği boyunca duvar arkasına yanal zemin basıncı etkimez.

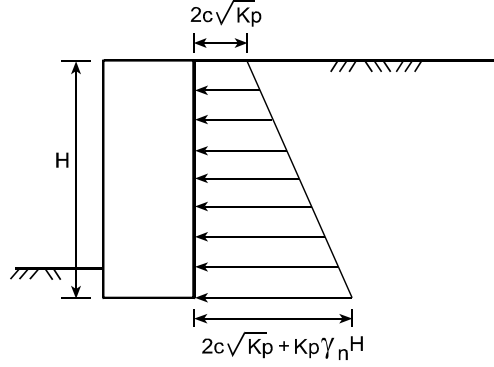
Burada;

$$\sigma_{a(A-A)} = -2c\sqrt{K_a} \quad (7.a)$$

$$\sigma_{a(B-B)} = -2c\sqrt{K_a} + K_a \gamma_n H \quad (7.b)$$

$$z_0 = \frac{(2c\sqrt{K_a})}{\gamma_n K_a} \quad (7.c)$$

Rankine Teorisi'ne göre, kohezyonlu bir zeminde ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$) dayanma duvarına etki eden pasif yanal zemin basıncı Şekil 18'deki gibidir.



Şekil 18. Kohezyonlu zeminde pasif durum

Burada;

$$\sigma_{p(A-A)} = 2c\sqrt{K_p} \quad (8.a)$$

$$\sigma_{p(B-B)} = 2c\sqrt{K_p} + K_p\gamma_n H \quad (8.b)$$

Rankine Teorisi'nde tanımlanan aktif yanal zemin basıncı katsayısı (K_a)'yı veren Bağıntı (5.b) ve pasif yanal zemin basıncı katsayısı (K_p)'yi veren Bağıntı (6.b), dayanma duvarının arka dolgusunun yatay olması halinde geçerlidir. Aksi taktirde, yani arka dolgunun yatayla β açısı yapması halinde,

$$K_a = \text{Cos}\beta \frac{\text{Cos}\beta - \sqrt{\text{Cos}^2\beta - \text{Cos}^2\phi}}{\text{Cos}\beta + \sqrt{\text{Cos}^2\beta - \text{Cos}^2\phi}} \quad (9.a)$$

$$K_p = \text{Cos}\beta \frac{\text{Cos}\beta + \sqrt{\text{Cos}^2\beta - \text{Cos}^2\phi}}{\text{Cos}\beta - \sqrt{\text{Cos}^2\beta - \text{Cos}^2\phi}} \quad (9.b)$$

olmaktadır.

Dayanma duvarlarında, aktif basıncın oluşabilmesi için gerekli minimum kayma ve dönme miktarları Tablo 2’de verilmektedir.

Tablo 2. Dayanma duvarında aktif basınç yaratan minimum kayma ve dönme miktarları (Tunç, 2002)

Zemin	Kayma, d	Dönme, θ
Kum	(0.001-0.002)H	0.001
Sert kil	(0.01-0.02)H	0.004
Yumuşak kil	(0.02-0.05)H	0.004

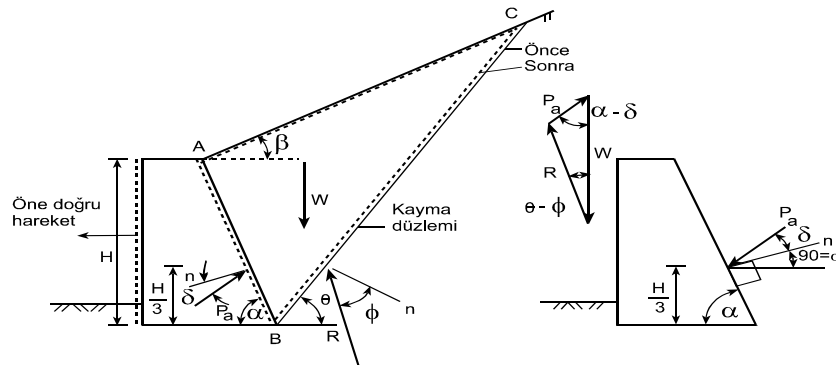
1.6.2. Coulomb Kama Teorisi

Coulomb Kama Teorisi’nin uygulamasında, aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Zemin; homojen, izotrop, kohezyonlu ve kayma açısı olan bir malzemedir.
- Kayma yüzeyi ve dolgu yüzeyi düzlemseldir.
- Kayma kaması, rijit bir cisim olarak dikkate alınır.
- Sürtünme kuvvetleri, kayma düzlemi boyunca üniform olarak dağılmaktadır ve sürtünme katsayısı $f = \tan \phi$ ’ye eşittir.
- Duvar yüzeyi ile zemin arasında sürtünme vardır.
- Kırılma bir düzlem şekil değiştirme problemidir ve birim genişlik dikkate alınabilir.

Coulomb Kama Teorisi’nde, dayanma duvarının öne veya arkaya doğru hareketinden dolayı; duvar arkasında oluşan ve kayan zemin kütesinin dengesi dikkate alınmıştır.

Coulomb Kama Teorisi’ne göre kohezyonsuz zeminde aktif durumda, dayanma duvarı öne doğru hareket ederken, duvar arkasında oluşan üçgen kama aşağı doğru kayar.



Şekil 19. Kohezyonsuz zeminde aktif durum (Uzuner, 2005).

Coulomb Kama Teorisi'ne göre kohezyonsuz zeminde pasif durumda, dayanma duvarı arkaya doğru hareket ederken, duvar arkasında oluşan üçgen kama yukarı doğru hareket eder.

Şekil 20'de, kohezyonsuz zeminde pasif durumda duvar arkasına etki eden aktif bileşkenin (P_p) yönü ve etkime yeri görülmektedir.

Burada;

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2\alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \frac{\sqrt{\sin(\phi + \delta)\sin(\phi + \beta)}}{\sin(\alpha + \delta)\sin(\alpha + \beta)} \right]^2} \quad (12)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (13)$$

olarak elde edilir.

Tablo 3. Aktif ve pasif basınç katsayıları (Skolovski)

ϕ	δ	$\theta = 90^\circ$		$\theta = 100^\circ$		$\theta = 110^\circ$	
		K_a	K_p	K_a	K_p	K_a	K_p
10°	0°	0.70	1.42	0.72	1.31	0.73	1.18
	5°	0.67	1.56	0.70	1.43	0.70	1.29
	10°	0.65	1.66	0.68	1.52	0.70	1.35
20°	0°	0.49	2.04	0.54	1.77	0.58	1.51
	10°	0.45	2.55	0.50	2.19	0.54	1.83
	20°	0.44	3.04	0.50	2.57	0.54	2.13
30°	0°	0.33	3.00	0.40	2.39	0.46	1.90
	15°	0.31	4.62	0.37	3.62	0.43	2.79
	30°	0.30	6.55	0.38	5.03	0.45	3.80
40°	0°	0.22	4.60	0.29	3.37	0.35	2.50
	20°	0.20	9.69	0.27	6.77	0.34	4.70
	40°	0.22	18.20	0.29	12.30	0.38	8.23

Skolovski tarafından Tablo 3'te önerilen aktif ve pasif basınç katsayıları, kohezyonlu duvar dolguları için kullanılabilir.

Burada;

θ : duvar arka dolgusundaki kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı'dır.

Duvar arka dolgusundaki kayma yüzeyinin, yatayla yaptığı açının (θ) kritik değerleri için Corps of Eng. tarafından Bağıntı 14 ve Bağıntı 15 önerilmektedir (Tunç, 2002).

$$\theta = 45 + \frac{\phi_d}{2} \quad (14)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{C_1 + \sqrt{C_1^2 + 4C_2}}{2} \right) \quad (15)$$

Burada;

$$\theta_d = \tan^{-1} \left(\frac{2}{3} \tan \phi \right)$$

$$C_1 = \frac{2 \tan^2 \phi_d}{A}$$

$$C_2 = \frac{\tan \phi_d}{\gamma H^2}$$

$$A = \tan \phi_d - \frac{2q(1 + \tan^2 \phi_d)}{\gamma H^2}$$

Kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açının (θ) saptanmasında;

- 1) Duvar arka dolgusu yatay ve üniform yayılı yük varsa veya yoksa, Bağıntı 14;
- 2) Duvar arka dolgusu yatay veya eğimli ve üniform yayılı yük varsa, Bağıntı 15 kullanılmalıdır.

Ayrıca Corps of Eng.'a göre, duvar arka dolgusunun kohezyonlu ve eğimli olması durumunda duvar arka dolgusundaki gerilmenin sıfır olduğu derinlik (z_0), Bağntı 16 ile hesaplanmalıdır.

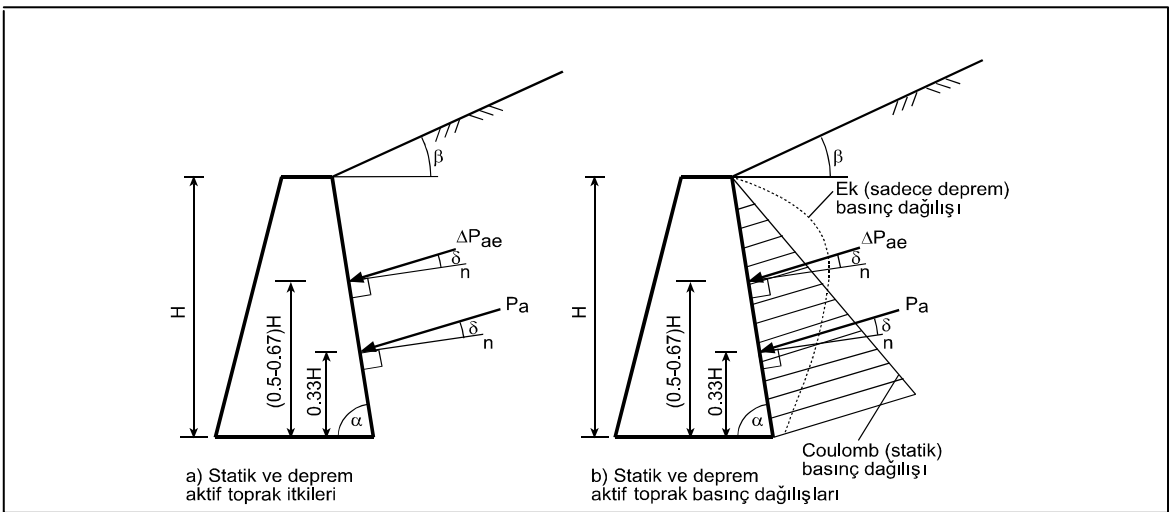
$$z_0 = \frac{2c \tan \theta}{\gamma \left(\frac{1 - \tan \phi \cot \theta}{1 + \tan \phi \tan \theta} \times \frac{\tan \theta}{\tan \theta - \tan \beta} \right) (2 \sin \theta \cos \theta (1 + \tan \phi \tan \theta) (\tan \theta - \tan \beta))} \quad (16)$$

1.7. Dayanma Yapılarına Etki Eden Deprem Yükleri

Depremler, dayanma duvarlarına etki eden yanal zemin basınçlarını arttıırlar. Dayanma duvarlarına etkiyen deprem kuvvetlerinin hesaplanması çok karmaşık olduğu için genellikle basitleştirilmiş yöntemler kullanılmaktadır.

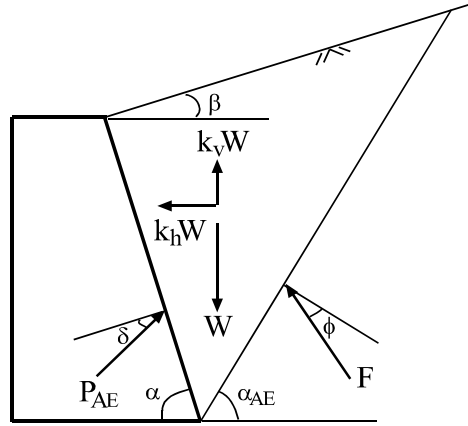
Dayanma duvarlarına etkiyen deprem kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan en eski ve kullanışlı yöntem, Mononobe-Okabe Yöntemi'dir. Monobe ve Okabe, Coulomb Kama Teorisi'ni deprem için değiştirerek, (P_{ae}) ve (P_{pe})'yi veren formüller elde etmişlerdir.

Şekil 21'de görüldüğü gibi; depremden dolayı duvara etkiyen kuvvet, duvar tabanından itibaren (0.5-0.67)H mesafesindedir. Seed ve Whitman'a (1970) göre ise, bu mesafe 0.6H olarak alınabilir.



Şekil 21. Dayanma duvarlarına etki eden aktif deprem itkisi (Uzuner, 2005).

1.7.1. Aktif Durumda Deprem Yükleri



Şekil 22. Aktif durumda deprem etkileri

Kohezyonsuz ve kuru bir dolguda kayma kamasına etkileyen kuvvetler Şekil 22'deki gibidir:

Burada;

$k_h W$: deprem yatay etkisi

$k_v W$: deprem düşey etkisi

W : zemin kamasının ağırlığı

F : kayma kaması üzerine etkileyen normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi

P_{AE} : duvarın birim uzunluğuna etkileyen aktif kuvvet'tir.

$$k_h = \frac{\text{deprem ivmesinin yatay bileşeni}}{g} = \frac{a_h}{g}$$

$$k_v = \frac{\text{deprem ivmesinin düşey bileşeni}}{g} = \frac{a_v}{g}$$

Duvara etkileyen aktif bileşke kuvvet, Bağıntı 17'den hesaplanabilir.

$$P_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{AE} \quad (17)$$

$$K_{AE} = \frac{\text{Cos}^2(\phi - \theta - \psi)}{\text{Cos}\psi \text{Cos}^2\theta \text{Cos}(\delta + \theta + \psi) \left(1 + \sqrt{\frac{\text{Sin}(\delta + \phi) \text{Sin}(\phi - \beta - \psi)}{\text{Cos}(\delta + \theta + \psi) \text{Cos}(\beta - \theta)}} \right)^2} \quad (18)$$

Burada;

$$\gamma = \gamma_k$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{k_h}{(1 - k_v)}$$

Kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı, α_{AE} ; Bağntı 19 ile hesaplanabilir.

$$\alpha_{AE} = \phi - \psi + \tan^{-1} \left(\frac{-\tan(\phi - \psi - \beta) + C_{1E}}{C_{2E}} \right) \quad (19)$$

Burada;

$$C_{1E} = \sqrt{\tan(\psi - \phi - \beta) [\tan(\phi - \psi - \beta) + \cot(\phi - \psi - \theta)] [1 + \tan(\delta + \psi + \theta) \cot(\phi - \psi - \theta)]} \quad (20)$$

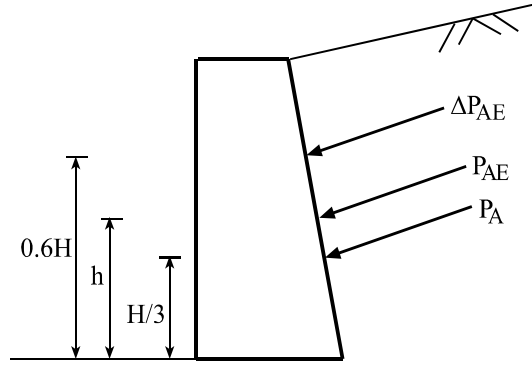
$$C_{2E} = 1 + [\tan(\delta + \psi + \theta) [\tan(\phi - \psi - \beta) + \cot(\phi - \psi - \theta)]] \quad (21)$$

Bileşke kuvvet, statik ve deprem bileşenlerine ayrılarak Bağntı 22'deki gibi yazılabilir.

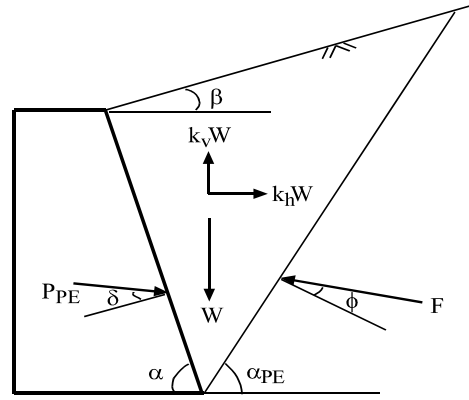
$$P_{AE} = P_A + \Delta P_{AE} \quad (22)$$

P_{AE} 'nin etkime yeri Bağntı 23 ile belirlenebilir.

$$h = \frac{P_A \left(\frac{H}{3} \right) + \Delta P_{AE} (0.6H)}{P_{AE}} \quad (23)$$

Şekil 23. P_{AE} 'nin etki yeri

1.7.2. Pasif Durumda Deprem Yükleri



Şekil 24. Pasif durumda deprem itkileri

Kohezyonsuz dolguda, kayma kamasına etkiyen kuvvetler Şekil 24'teki gibidir. Duvara etkiyen pasif bileşke kuvvet, P_{PE} Bağıntı 24'ten hesaplanabilir.

$$P_{PE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_{PE} \quad (24)$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi + \theta - \psi)}{\cos \psi \cos^2 \theta \cos(\delta - \theta + \psi) \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi) \sin(\phi + \beta - \psi)}{\cos(\delta - \theta + \psi) \cos(\beta - \theta)}} \right)^2} \quad (25)$$

Burada;

$$\gamma = \gamma_k$$

$$\psi = \tan^{-1} \frac{k_h}{(1-k_v)}$$

Kayma yüzeyinin yatayla yaptığı açı, α_{PE} ; Bağıntı 27 ile hesaplanabilir.

$$\alpha_{PE} = \phi - \psi + \tan^{-1} \left(\frac{\tan(\phi + \psi + \beta) + C_{3E}}{C_{4E}} \right) \quad (26)$$

Burada;

$$C_{3E} = \sqrt{\tan(\phi + \beta - \psi) [\tan(\phi - \psi + \beta) + \cot(\phi - \psi + \theta)] [1 + \tan(\delta + \psi - \theta) \cot(\phi - \psi + \theta)]} \quad (27)$$

$$C_{4E} = 1 + [\tan(\delta + \psi - \theta) [\tan(\phi + \beta - \psi) + \cot(\phi + \theta - \psi)]] \quad (28)$$

Bileşke kuvvet, statik ve deprem bileşenlerine ayrılarak Bağıntı 29'daki gibi yazılabilir.

$$P_{PE} = P_P + \Delta P_{PE} \quad (29)$$

Kohezyonlu zeminlerde ise, deprem esnasında aktif ve pasif yanal basınçlar yaklaşık olarak sırasıyla Bağıntı 30 ve Bağıntı 31 ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{AE}(z) = \gamma z K_{AE} - 2c (K_{AE})^{1/2} + q K_{AE} \quad (30)$$

$$\sigma_{PE}(z) = \gamma z K_{PE} + 2c (K_{PE})^{1/2} + q K_P \quad (31)$$

Burada;

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_E + \alpha)}{\cos \theta_E \cos^2 \alpha \cos(\delta + \theta_E - \alpha) (1 + \eta_{AE}^{1/2})^2} \quad (32)$$

$$K_{PE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_E - \alpha)}{\cos \theta_E \cos^2 \alpha \cos(\delta + \theta_E - \alpha) (1 - \eta_{PE}^{1/2})^2} \quad (33)$$

Bu ifadelerdeki;

$$\eta_{AE} = \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta_E - \beta)}{\cos(\delta + \theta_E - \alpha) \cos(\alpha + \beta)} \quad (34)$$

$$\eta_{PE} = \frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi - \theta_E - \beta)}{\cos(\delta - \theta_E - \alpha) \cos(\alpha + \beta)} \quad (35)$$

$$\tan \theta_E = C_h \quad (35.a)$$

değerine eşittir.

$$C_h = C_0 s I \text{ 'dir.} \quad (35.b)$$

Burada;

C_h : deprem yükü katsayısı

C_0 : deprem bölge katsayısı

s : zemin ivme katsayısı

I : yapı önem katsayısı'dır.

I olarak genellikle 1.0 alınabilir. Ancak dayanma duvarlarının tuttuğu yamaç üzerinde binalar bulunması halinde $I = 1.2$ alınır.

Hesaplamalar sırasında θ_E , s değerini

1. derece deprem bölgelerinde 1.6

2. derece deprem bölgelerinde 1.4

3. derece deprem bölgelerinde 1.2

4. derece deprem bölgelerinde 1.0 olarak, Bağıntı 35.a ve Bağıntı 35.b'den bulunur.

1.7.3. Yer altı Suyu Bulunması Durumunda Deprem Etkisi

Deprem sırasında, boşluk suyuna uygulanan dinamik yüklerden dolayı fazla boşluk suyu basıncı (Δu) oluşur. Bu fazla boşluksuyu basıncının hesaplanması için Mononobe-Okabe Yöntemi'nde bazı değişiklikler yapılmıştır (Aytekin, 2004).

Fazla boşluk suyu basıncının, o seviyedeki efektif gerilmeye oranı; boşluk suyu basıncı katsayısı, r_u olarak tanımlanır. r_u , Bağıntı 36 ile hesaplanabilir.

$$r_u = \frac{\Delta u}{\sigma'} \quad (36)$$

Bu durumda, Bağıntı 17 ve Bağıntı 24'teki γ değeri yerine

$$\gamma = \gamma' (1 - r_u) ;$$

Bağıntı 18 ve Bağıntı 25'teki ψ yerine

$$\psi = \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_d k_h}{\gamma' (1 - r_u) (1 - k_v)} \right)$$

yazılmalıdır.

Deprem sırasında, dayanma yapısına gelecek su basıncı Bağıntı 38'den hesaplanabilir.

$$P_w = \frac{1}{2} \gamma_{eşd} H^2 \quad (37)$$

$$\gamma_{eşd} = \gamma_w + r_u \gamma_k \quad (38)$$

Dayanma duvarının arka dolgusundaki su düzeyi, duvar yüksekliğinden daha düşük bir düzeyde ise $\gamma_{eşd}$ yerine Bağıntı 39'daki ortalama bir birim hacim değeri alınır.

$$\overline{\gamma} = \lambda^2 \gamma_d + (1 - \lambda^2) \gamma_k \quad (39)$$

$$\lambda = h_w / H$$

Burada;

λ : dayanma duvarının yüksekliğine göre rölatif su derinliği

h_w : duvar tabanından itibaren su yüksekliği

H : dayanma duvarının yüksekliği'dir.

1.8. Dayanma Duvarlarının Drenajı

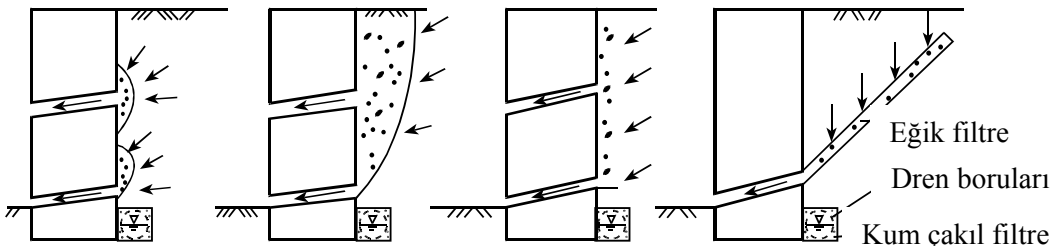
Dayanma duvarlarının arkasında biriken yağmur suları, yüzey veya sızıntı suları; duvara hidrostatik basınç uygulayarak olumsuz etki yaparlar. Dayanma duvarı arkasındaki suların dren edilmemesi halinde ise; aşırı hidrostatik basınçlar, duvarın devrilmesine neden olabilir. Bu nedenle, dayanma duvarları arkasında uygun drenaj tedbirleri alınarak, oluşacak hidrostatik basınçların sönmelenmesine çalışılır. Ayrıca bu drenaj tedbirleri ile duvar arka dolgusundaki don kabarması ve şişme potansiyeli yüksek killi zeminlerin şişmesinden ötürü oluşan ilave basınçlar da önlenmiş olur.

Drenaj sistemi; drene edilecek suyun miktarına, dayanma yapısı arkasındaki dolgu malzemesinin geçirimsizliğine ve yer altı su düzeyine bağlıdır. Bu yüzden, dayanma duvarlarında dolgu malzemesi olarak kohezyonsuz temiz kum ve çakıl önerilmektedir.

Dren boruları, duvar arkasındaki yer altı sularını toplayıp, uygun noktalarda toplanan suları deşarj etmek amacıyla kullanılır. Bu nedenle, yeterli kapasiteye ve boru içinde çökelmeyi önlemek için uygun eğime sahip olmalıdır.

Dren boruları ile suyun duvar dışına iletilmesi mümkün olmuyorsa, duvarda (0.10-0.20) m çapında dikdörtgen veya dairesel drenaj delikleri (güvercin delikleri, barbakanlar) yapılarak suyun deşarj edilmesi sağlanır.

Şekil 25'te çeşitli drenaj önlemleri görülmektedir.



Şekil 25. Dayanma duvarlarında çeşitli drenaj önlemleri (Uzuner, 2005)

Dren malzemesinin veya zeminin erozyonunu önlemek için barbakanlara, suyun giriş bölgesinde filtreler konulur. Ayrıca duvar arkasında da düşey veya eğik filtre meydana getirilebilir.

Filtre malzemesinin özellikleri, drenajın performansı için çok önemlidir. Çünkü, kullanılacak filtre malzemesi;

- Dren edilen zemindeki ince malzemelerin hareketinin önlenmesi (borulanma koşulu)
 - Yer altı suyunun filtre malzemesi içine süzülürken zeminin ince malzemeleri tarafından tıkanmanın önlenmesi (geçirimsizlik koşulu)
- gibi iki ana fonksiyonu aynı anda sağlamalıdır.

İnce malzemelerin hareketinin önlenmesi ve tıkanmayı önleyecek kadar permeabilitenin sağlanması için Terzaghi, Casagrande ve diğer araştırmacılar tarafından önerilen Bağıntı 40.a ve Bağıntı 40.b'deki şartların her ikisinin de sağlanması gerekir.

$$\frac{D_{15}(\text{filtre})}{D_{15}(\text{zemin})} \geq 5 \quad (40.a)$$

$$\frac{D_{15}(\text{filtre})}{D_{85}(\text{zemin})} \leq 5 \quad (40.b)$$

Bağıntı 40.a, zemindeki borulanmadan ötürü zeminin filtre malzemesini tıkamasını önlemek için; Bağıntı 40.b, filtre malzemesinin permeabilitesini sağlamak ve istenmeyen boşluk suyu basıncını önlemek için gerekli şartları belirtmektedir.

Drenaj malzemesinin iyi derecelenmiş olması gerekir. Bunun için Bağıntı 41.a ve Bağıntı 41.b'deki şartların sağlanması gerekir.

$$\frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 4 \longrightarrow \text{çakıl için} \quad (41.a)$$

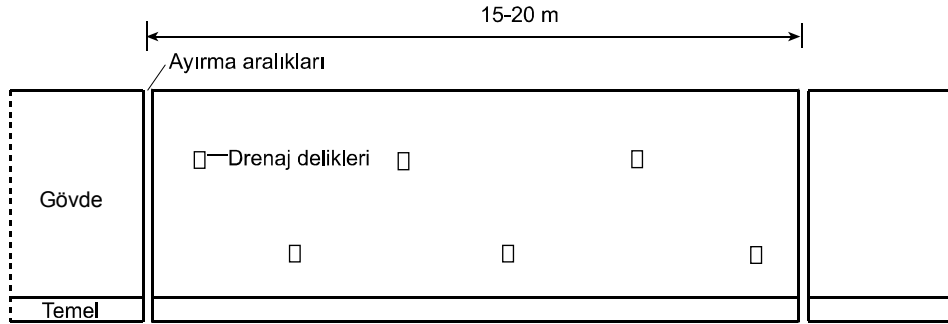
$$\frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 6 \longrightarrow \text{kum için} \quad (41.b)$$

İnşaat kolaylığı ve düşük maliyeti nedeniyle, filtre malzemesi tek tabaka halinde yapılabilir. Tek tabaka halinde yapılacak olsa da yukarıda belirtilen kriterlerin tümüne uymak zorundadır. Son yıllarda üretilen perfore dren boruları, çok sık aralıklarla çok düşük

çap veya yarıklar şeklinde suyu süzebilen deliklere sahip olduğundan tek tip filtre kullanılması mümkün olabilmektedir.

Dayanma duvarı temelinde, yer altı suyu yüksek bir düzeyde ise; temelin dolgu tarafına ve temel taban düzeyi altında standart büzlü bir drenaj hendeği yapılabilir. Bu hendekte toplanan suların hendek yolu ile akıtılması, temeli kurutabilir.

Şekil 26’da görüldüğü gibi, uzun dayanma duvarlarında, uzunluk boyunca (15-20) m’de bir ve (50-100) mm genişliğinde ayırma aralıkları yapılır. Bu düşey aralıklar, dayanma duvarlarında genişleme (sıcaklık, farklı oturma) olayları içindir. Bu aralıklar, dayanma duvarının temelinden en üst noktasına kadar devam eder.



Şekil 26. Dayanma duvarlarında yüz drenaj delikleri ve ayırma aralıkları (karşıdan görünüş) (Uzuner, 2005).

1.9. Dayanma Duvarlarında Yapılan Tahkikler (Denetimler, Kontroller)

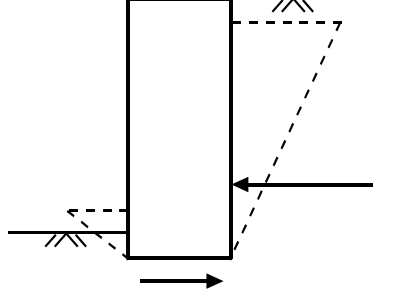
Dayanma duvarlarının boyutlandırılabilmesi için aşağıdaki tahkikler yapılmalıdır.

- Kayma (taban üzerinde) Tahkiki
- Devrilme Tahkiki
- Taşıma Gücü Tahkiki
- Toptan Göçme Tahkiki
- Oturma Tahkiki
- Diğer Tahkikler

1.9.1. Kayma (Taban Üzerinde) Tahkiki

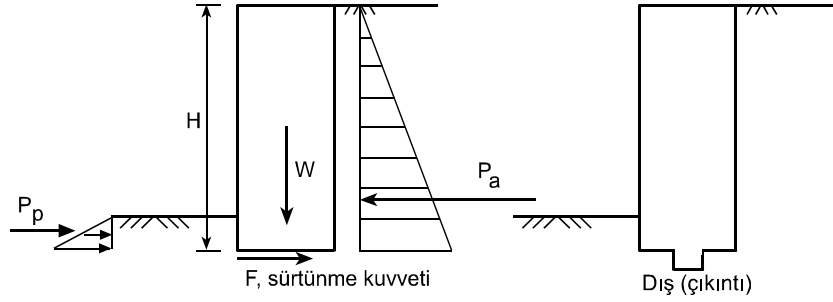
Dayanma duvarı, Şekil 27’den de anlaşılacağı gibi yanal basınçların etkisi ile öne doğru

kaymamalı ve kaymaya karşı belli bir güvenlik içinde olmalıdır.



Şekil 27. Dayanma duvarında taban üzerinde kayma

Kaymaya karşı güvenlik sayısı; kaymaya karşı koyan kuvvetlerin, kaydırıcı kuvvetlere oranı olarak tanımlanır (Bağıntı 42) ve bu değer 1.5'tan büyük olmalıdır.



Şekil 28. Dayanma duvarında (taban üzerinde) kayma tahkiki (Uzuner, 2005).

$$G_s(\text{kayma}) = \frac{\Sigma F(\text{kaymaya karşı koyan})}{\Sigma F(\text{kaydırıcı})} \quad (42)$$

Şekil 28'den de görüldüğü gibi; duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetler, duvara yanal olarak etkiyen kuvvetlerdir. Kaymaya karşı koyan kuvvetler ise; zeminle taban arasındaki adezyon kuvveti, zeminle taban arasındaki sürtünme kuvveti ile pasif toprak basıncıdır. Pasif toprak basıncı, duvar ömrü boyunca daima duracaksa hesaplara dahil edilir. Kısa bir zaman sonra kaldırılıp atılacak veya devamlı oyulmaya maruz kalacaksa hesaba katılması tehlikeli olur.

$$\Sigma F_{(\text{kaymaya karşı koyan})} = F_s + P_p \quad (43)$$

$$F_s = \Sigma W \cdot \mu = \Sigma W \cdot \tan \delta \quad (44)$$

Burada;

F_s : sürtünme kuvvetidir. Duvar tabanına etkiyen tüm düşey kuvvetlerin sürtünme katsayısı ile çarpımına eşittir.

μ : taban sürtünme katsayısı

δ : taban sürtünme açısıdır. Dayanma duvarı tabanının pürüzlülüğüne ve zemin cinsine göre $(\phi/3 - \phi)$ arasında değerler alır. Değeri bilinmediği hallerde $\delta = \phi$ alınabilir.

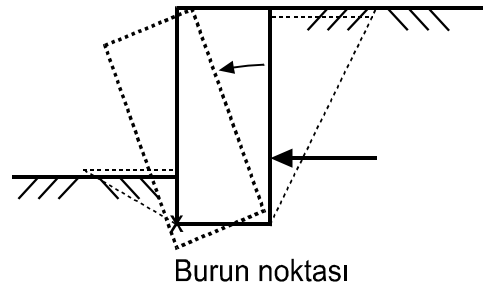
Bağıntı 44'te verilen taban sürtünme katsayısı (μ) için, Craig (1983) tarafından, granüler zeminler için Tablo 4 önerilmiştir.

Tablo 4. Granüler zeminler için μ değerleri (Craig, 1983).

Zemin cinsi	μ
kaba daneli zemin (siltsiz)	0.55
kaba daneli zemin (siltli)	0.45
silt	0.35
sağlam kaya (pürüzlü yüzey)	0.60

Eğer kaymaya karşı güvenlik sayısı, G_s (kayma), istenilen değerden daha az çıkarsa, Şekil 28'den de görüldüğü gibi duvar temelinde düşey bir diş yapılarak kayma direnci artırılmalı veya temel genişliği büyütülmelidir.

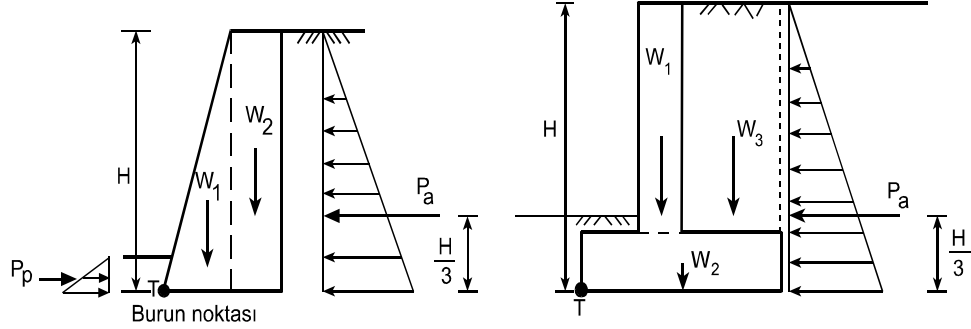
1.9.2. Devrilme Tahkiki



Şekil 29. Dayanma duvarında devrilme

Dayanma duvarı, Şekil 29’da görüldüğü gibi, yanal basınçların etkisiyle devrilmemeli ve devrilmeye karşı belli bir güvenlik içinde olmalıdır.

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı; devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin burun noktasına göre momentlerinin toplamının, deviren kuvvetlerin burun noktasına göre momentleri toplamına oranı olarak tanımlanır (Bağıntı 45) ve bu değer 1.5’tan büyük olmalıdır.



Şekil 30. Dayanma duvarında devrilme tahkiki (Uzuner, 2005).

$$G_s(\text{devrilme}) = \frac{\Sigma M_T(\text{karşı koyan})}{\Sigma M_T(\text{deviren})} > 1.5 \quad (45)$$

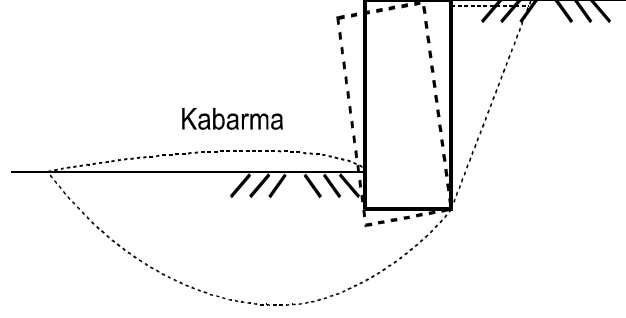
Şekil 30’da görüldüğü gibi; duvarı devirmeye çalışan kuvvetler, aktif toprak basınçlarıdır. Devrilmeye engel olacak kuvvetler ise W_1 , W_2 , W_3 ’tür. Emniyetli tarafta kalabilmek amacıyla; ön kısımdaki pasif itki ve W_4 zemin ağırlığı, sığ ön derinliklerde ihmal edilebilir.

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı, $G_s(\text{devrilme})$; istenilen değerden daha fazla çıkarsa, dayanma duvarının boyutlarının büyük seçildiği sonucuna varılabilir.

Ayrıca, Bağıntı 45’ten de görüldüğü gibi; devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momenti dayanma duvarının genişliğine (B), devirmeye çalışan kuvvetlerin momenti ise dayanma duvarının yüksekliğine (H) bağlıdır. Dolayısıyla, dayanma duvarlarının stabilitesinde en önemli parametreler duvar genişliği ile yüksekliği olmaktadır.

1.9.3. Taşıma Gücü Tahkiki

Dayanma duvarının tabanında taşıma gücü koşulu sağlanmalı ve Şekil 33’te görüldüğü gibi, dayanma duvarında göçme meydana gelmemelidir.



Şekil 31. Dayanma duvarında taşıma gücü göçmesi

Temel zemini, eksantrik yüklü duvarı güvenle taşımalıdır. Bunun sağlanması için; Geleneksel Yöntem, Azaltılmış Genişlik (Meyerhof) Yöntemi, Azaltma Katsayıları Yöntemi gibi yöntemlerle temel taban basınç değerleri belirlenmelidir. İleride Geleneksel Yöntem ve Azaltılmış Genişlik (Meyerhof) Yöntemi açıklanacaktır.

Zeminlerin taşıma gücünü belirlemek için, yaygın olarak Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi kullanılmaktadır.

Terzaghi Taşıma Gücü Formülü'nün genel biçimi şöyledir:

$$q_{\text{SİMİR}} = k_1 c N_c + P_0' N_q + k_2 \gamma B N_\gamma \quad (46)$$

Dayanma duvarının temeli, şerit temeldir ve eksantrik olarak yüklenir.

Şerit temel için $k_1 = 1$ ve $k_2 = 0.5$ değerleri Bağntı 46'da yerine yazılırsa, Bağntı 47'deki şerit temel için Terzaghi Taşıma Gücü Formülü elde edilir.

$$q_{\text{SİMİR}} = c N_c + P_0' N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma \quad (47)$$

Burada;

$q_{\text{SİMİR}}$: sınır taşıma gücü (kN/m^2)

c : temel zemininin kohezyonu (kN/m^2)

P_0' : temel taban düzeyindeki efektif gerilme (kN/m^2)

γ : temel zemininin birim hacim ağırlığı (kN/m^3)

B : temel genişliği (kısa kenar veya çap, m)

k_1, k_2 : temel şekil katsayıları

N_c, N_q, N_γ : temel zemininin, ϕ içsel sürtünme açısına bağlı taşıma gücü katsayıları'dır.

Tablo 5'te, Terzaghi Taşıma Gücü katsayıları verilmektedir.

Tablo 5. Terzaghi Taşıma Gücü katsayıları (Uzuner, 2005).

ϕ (derece)	N_c	N_q	N_γ	ϕ (derece)	N_c	N_q	N_γ
0	5.7	1.0	0.0	26	27.09	14.21	9.84
1	6.0	1.1	0.01	27	29.24	15.90	11.62
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.20	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2.0	0.27	33	48.09	32.33	31.94
8	8.60	2.21	0.35	34	52.64	36.50	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.50	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.60	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.70	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.80	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.25	10.23	6.0	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.40	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Emin taşıma gücü; zeminde kırılma meydana gelmeden ve yapıya zarar verebilecek oturmalar oluşmadan, temel zemininin güvenli olarak taşıyabileceği gerilme değeridir.

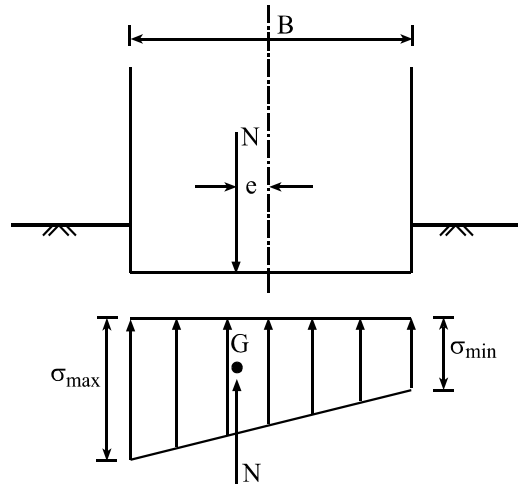
Zemine ait taşıma gücünün belirlenmesinden sonra elde edilen sınır taşıma gücü ($q_{sınır}$), güvenlik sayısına (G_s) bölünerek zeminin emin taşıma gücü elde edilir.

$$q_{em} = \frac{q_{sınır}}{G_s} \quad (48)$$

1.9.3.1. Geleneksel Yöntem

Dayanma duvarlarının temelleri, şerit temel olarak inşa edilir. Bir yönde eksantrikliğe maruz şerit temellerin altında meydana gelen taban basınç dağılışı, eksantrisitenin büyüklüğüne göre 3 durumda incelenmektedir.

a) Yük çekirdek içinde ($e < B/6$) :



Şekil 32. Yükün çekirdek içinde olması hali

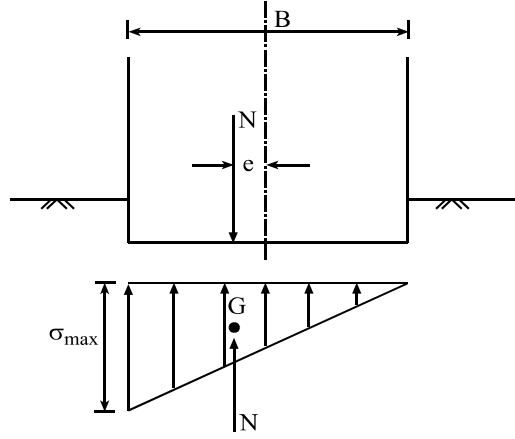
$$\sigma_{\max/\min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} = \frac{N}{BL} \pm \frac{Ne_x}{\frac{B^2L}{6}} = \frac{N}{BL} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (49)$$

Şerit temelin birim uzunluğu için ($L = 1$);

$$\sigma_{\max} = \frac{N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (50)$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{B} \left(1 - \frac{6e}{B} \right) \quad (51)$$

b) Yük çekirdek sınırı üzerinde ($e = B/6$) :

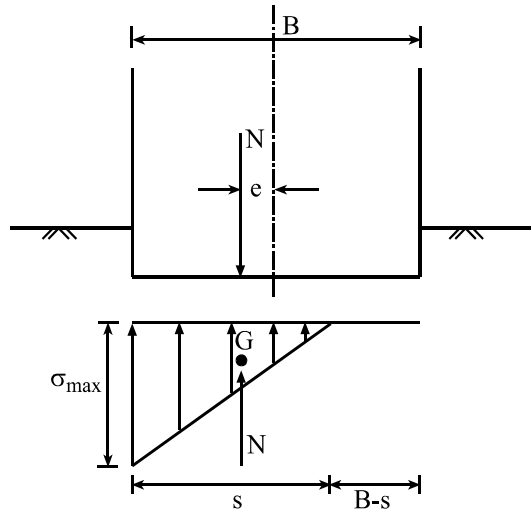


Şekil 33. Yükün çekirdek sınırında olması halı

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{B} \quad (52)$$

$$\sigma_{\min} = 0 \quad (53)$$

c) Yük çekirdek dışında ($e > B/6$) :

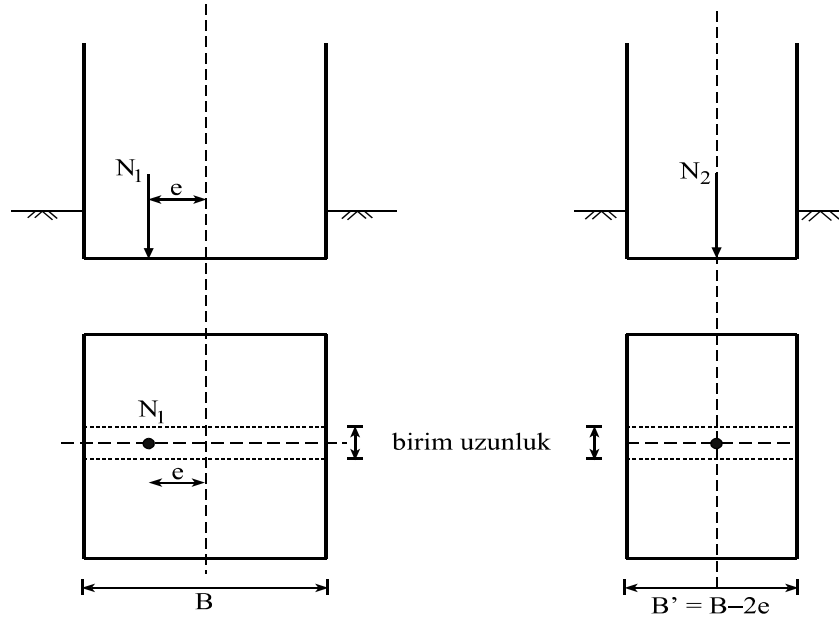


Şekil 34. Yükün çekirdek dışında olması halı

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{s} = \frac{2N}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)} \quad (54)$$

1.9.3.2 Azaltılmış Genişlik (Meyerhof) Yöntemi

Meyerhof (1953); Şekil 35'ten görüldüğü gibi, eksantrik yüklü bir temelin taşıyabileceği yükün, eksantrisitenin üzerinde yer aldığı boyutunun $2e$ kadar azaltılmasıyla elde edilen azaltılmış boyutlu temelin, merkezi yüklü olarak taşıyabileceği yüke eşit olduğunu ortaya atmıştır.



Şekil 35. Meyerhof Azaltılmış Genişlik Yöntemi

$$N_1 = N_2 \quad (55)$$

$$q_{em}B = q'_{em}B'$$

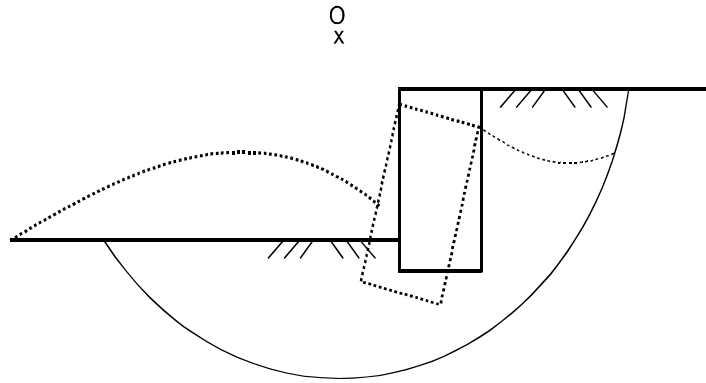
$$q'_{sınır} = 1cN_c + P'_0N_q + 0.5B'\gamma N_\gamma$$

$$q'_{em} = q'_{sınır} / GS$$

$N_2 = q'_{em}B$ olarak bulunur.

1.9.4. Toptan Göçme Tahkiki

Zeminin zayıf olduğu durumda, dayanma duvarı ile beraber zemin kütlelerinin kaymasıyla ortaya çıkan göçmedir. Bu yüzden Şekil 36'da görüldüğü gibi; dayanma duvarının içinde bulunduğu şevde, dayanma duvarını da içine alacak şekilde kayma meydana gelmemelidir.

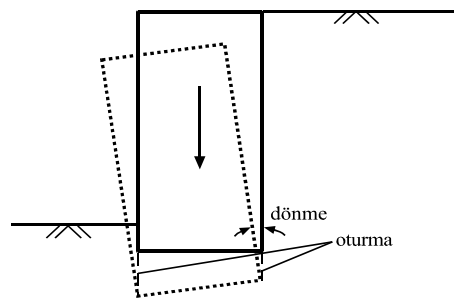


Şekil 36. Dayanma duvarında toptan göçme

Dayanma duvarının içinde bulunduğu şevin belli bir güvenlik içinde olmasını sağlamak için, çeşitli yöntemlerle şevin stabilite analizi yapılır.

Bunun için genellikle, İsveç Dilim Yöntemi veya Bishop Dilim Yöntemi kullanılmaktadır.

1.9.5. Oturma Tahkiki



Şekil 37. Dayanma duvarının farklı oturması

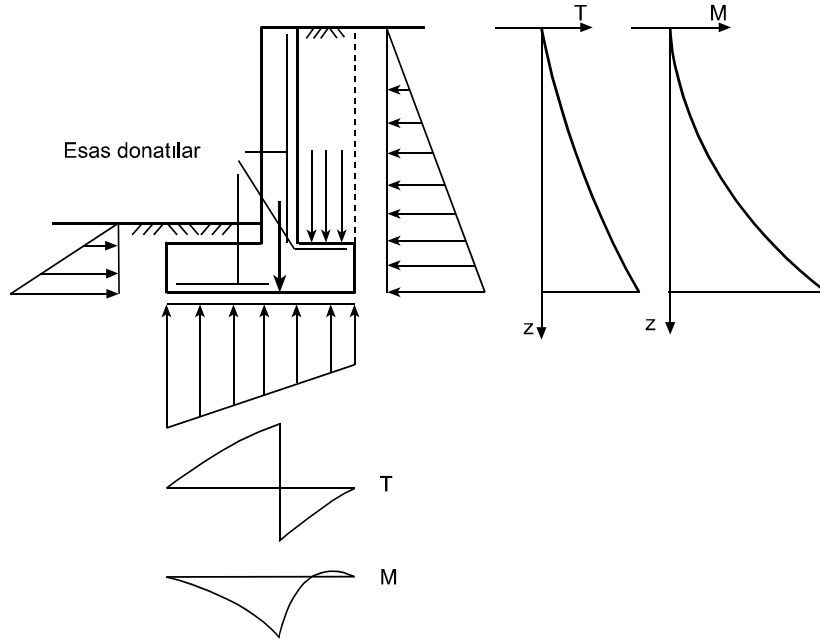
Şekil 37’de görüldüğü gibi; temel zemininde meydana gelecek oturma veya farklı oturmalar, izin verilebilir oturma değerlerini aşmamalıdır. İzin verilebilir oturmalar aşıldığında; yapılarda çatlaklar, ağır hasarlar hatta kırılmalar meydana gelebilir.

1.9.6. Diğer Tahkikler

Ağırlık dayanma duvarlarında duvar, yatay yönde kesmeye karşı güvenli olmalıdır. Özellikle; temeli beton, gövdesi taştan yapılan duvarlarda gövde-temel birleşim yeri, kesme için kritiktir.

Ağırlık dayanma duvarlarının gövdesine yanal basınç etkidiği için, dayanma duvarlarında eğilme momentleri meydana gelir. Bu eğilme momentleri, duvarın arkasında çekme gerilmeleri oluşturabilir ve bu çekme gerilmeleri de, duvar arkasında çekme çatlakları meydana getirebilir.

Şekil 38’de görüldüğü gibi; betonarme dayanma duvarları, yanal zemin basınçları ile taban dağılışı belirlendikten sonra, betonarmenin bilinen kurallarına göre boyutlandırılıp, donatılırlar (Uzuner, 2005).



Şekil 38. Betonarme dayanma duvarları (Uzuner, 2005).

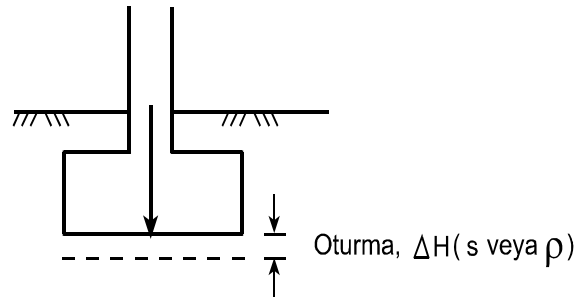
2. DAYANMA DUVARLARININ KONSOLİDASYON OTURMALARININ BİLGİSAYAR PROGRAMI İLE HESAPLANMASI

2.1. Giriş

Uygulanan yüklerden veya etkilerden dolayı, taneler arası boşlukların azalması [taneler ve su sıkışmaz olduğundan; taneler arası boşlukların azalması, tanelerin daha sıkı dizilişi ve varsa bu sırada suyun çıkışı sayesinde olur. Bu sırada boşluk oranı (e) ve porozite (n) azalır, taneli zeminlerde rölatif sıkılık (D_r) artar] sonucu, kısa veya uzun sürede olabilen hacim azalmasına oturma denir.

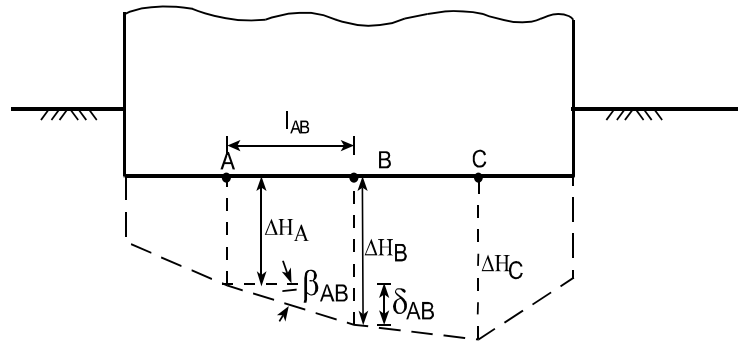
Yük sabit olduğu halde temel zemininde zamana bağlı olarak meydana gelen oturmalara konsolidasyon oturması denir.

Şekil 39'da bir temelin oturması gösterilmektedir.



Şekil 39. Oturma

2.2. Oturma Terimleri



Şekil 40. Oturma ile ilgili terimler

Burland ve Wroth (1974), Burland, Bromsue De Mello (1977), oturma konusunda literatürde çok değişik sembol ve terimlerin (aynı anlama gelen farklı terimler, farklı anlamlarda kullanılan aynı terimler gibi) kullanıldığını belirterek, üst yapı ve temel sistemini bilinçli olarak belirtmeden, çeşitli terim ve semboller önermişlerdir.

Bu semboller Şekil 40'ta verilmektedir.

Oturma ile ilgili terimlerin en önemlileri şunlardır:

2.2.1. Mutlak (toplam) Oturma

Temel sisteminde herhangi bir noktanın düşey yer değiştirmesi miktarına, mutlak oturma denir. Şekil 40'ta A noktasının mutlak oturması, ΔH_A ; B noktasının mutlak oturması, ΔH_B olarak gösterilmiştir.

2.2.2. Farklı Oturma

Birbirine komşu iki noktanın mutlak oturmaları arasındaki farka, oturma farkı veya farklı oturma denir. Şekil 40'ta A ve B noktaları arasında farklı oturma aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\delta_{AB} = \Delta H_B - \Delta H_A \quad (56)$$

2.2.3. Açısal Distorsiyon

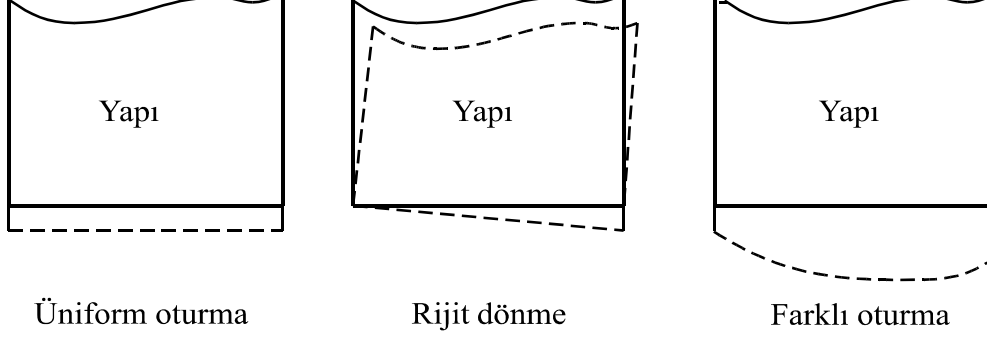
İki nokta arasındaki farklı oturmanın, aradaki uzaklığa oranına, açısal distorsiyon (çarpılma) denir. Şekil 40'ta A ve B noktaları arasındaki açısal distorsiyon aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\beta_{AB} = \frac{\delta_{AB}}{\ell_{AB}} = \frac{\Delta H_B - \Delta H_A}{\ell_{AB}} \quad (57)$$

2.3. Oturma Tipleri

Genel olarak bir yapının oturması, Şekil 41'de verildiği gibi üniform oturma, rijit dönme

ve farklı oturma olmak üzere 3 temel biçimde veya bunların karması biçiminde olabilir (Lambe ve Whitman, 1969).



Şekil 41. Yapılarda üç tip oturma şematik gösterimi

Üniform oturmada; planda, yapının her noktası eşit miktarda oturur. Rijit oturmada; yapı, rijit bir dönme yapar. Farklı (üniform olmayan) oturmada; oturma miktarları, yapı tabanında noktadan noktaya farklılık gösterir.

2.4. Oturma Nedenleri

Oturma olayına çeşitli nedenler yol açar. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibi belirtilebilir (Osterberg, 1973; Simons ve Menzies, 1975) :

- Zeminin yüklenmesi
- Yeraltı su düzeyinin alçalması (kuraklık, drenaj, su çekilmesi)
- Taneli zeminlerde meydana gelen titreşimler (depremler, kazık çakma işlemleri, patlatma, titreşimli makineler)
- Temel elemanlarının tahrip olması (sülfatlı suların betonu ayrıştırması, çelik kazıkların paslanması, ahşap kazıkların çürümesi veya kurt, solucan tarafından kemirilmesi)
- Bitişik kazılar nedeniyle mevcut temel veya temellerin altındaki zemin durumunun bozulması
- Yer altı su akımlarının yol açtığı iç erozyon
- Yer altındaki boşluk, mağara, tünel, galeri vb'nin çökmesi
- Yer kaymaları
- Don olayı (kabarma)
- Şişen zeminler (kaolin, illit, montmorillonit)

- Zeminin ısınması
- Zeminde meydana gelen kimyasal olaylar
- Killi zeminlerde, çabuk büyüyen ağaçlar
- Zeminden geniş çapta su ve petrol gibi sıvıların çekilmesi

2.5. Farklı Oturmanın Nedenleri

Yapıya asıl zarar veren, farklı oturmalar olup; aşağıdaki nedenlerden meydana gelebilir (Özmen, 1996) :

- Temel zemininin sıkışma özelliklerinin planda değişmesi
- Sıkışan tabaka kalınlığının değişken olması
- Temellerin karşılıklı etkileşimi sonucu gerilmelerin birbiri üzerine binmesi
- Temel büyüklüklerinin, derinliklerinin ve taban basınçlarının farklı olması
- Oturmaların meydana geldiği zemin tabakası içinde, yerel sert veya yumuşak bölgelerin (zonların)varlığı

2.6. Oturmaların Yol Açtığı Hasarlar

Yapı temellerinin oturmaları, temellerin taşıma gücüne varılmadan öyle değerlere ulaşabilir ki, izin verilebilir oturmalar aşılabılır. İzin verilebilir oturmalar aşıldığı zaman, yapıda meydana gelen hasarlar, birçok araştırmacı tarafından sınıflandırılmıştır (Skempton ve Mac Donald,1956; Moorhouse, 1972).

Bunlar özetle;

- Mimari hasarlar : İç bölme duvarlarının çatlaması, iç dekorasyonun zarar görmesi, vb hasarlardır. Bunlar; estetik, psikolojik nedenlerle istenmezler.
- Fonksiyonel (işlevsel) hasarlar : Binalarda kapı ve pencerelerin açılıp kapanmasında güçlükler, makine ve cihazların işletilmesinde zorluklar, krenlerin raylarında doğrultu sorunları gibi olayları oluşturan hasarlardır.
- Yapısal hasarlar : Taşıyıcı duvar, kolon, kiriş, perde, döşeme gibi elemanlarda çatlaklar oluşturan hasarlardır. Miktarlarına göre, yapının kısmen veya tamamen hasar görmesine neden olabilirler.

Hasarlar, çoğunlukla çatlak varlığı veya aralığı ile ölçülür. Çatlak varlığı veya aralığı, esnek anlamlara sahiptir. Bir yapı için önemli olan çatlak, başka bir yapı için önemli olmayabilir.

2.7. Üniform Oturmanın Zararları

Üniform oturmalar, yapıya doğrudan zarar vermezse de, aşağıdaki sorunları doğurur (Moorhouse, 1972) :

- Drenaj sistemi bozulabilir.
- Yapıya giren-çıkan sistem boruları zarar görebilir.
- Oturmaların tamamlandığı eski yapı ile yeni yapı arasında seviye sorunları ortaya çıkabilir.
- Yapıya eğik rampa ile girilmesi gerekebilir.

2.8. Oturmaların Önlenmesi veya Azaltılması

Temellerin, oturmaların önlenmesi veya azaltılabilmesi için aşağıdaki önlemler alınabilir (Köhler ve Scheiding,1960) :

- Sıkışabilir zemin tabakalarının uzaklaştırılması

Yumuşak tabakaların sıkışması sonucunda oluşan oturmalar, temeldeki yumuşak tabakanın kazılarak kaldırılması sonucunda önlenilmektedir. Ancak maliyetin fazla olması nedeniyle her zaman uygulanan bir yöntem değildir.

- Kazıklı temeller

Kazıklar, yumuşak tabakaları geçerek sıkı bir zemin tabakasına oturuyorsa ve bu sıkı tabakanın altında tekrar bir yumuşak tabakaya rastlanmıyorsa oturmaların oluşmasını önlerler.

- Göçmeye karşı emniyete almak

Yapının altında bulunan yumuşak tabakaların yanlara kaçması nedeniyle oluşan oturmalar yapıyı tehlikeye sokar. Bu duruma karşı bir emniyet olarak temeli çepeçevre bir palplanş ile çevirmek yararlı olur.

- Taban basıncının küçük seçilmesi

Yapının altındaki taban basıncını küçük tutmak, oturmalara karşı alınabilecek etkili bir önlemdir. Bu nedenle yapıyı hafif seçmek ve mümkün olduğunca ağır projelerden kaçınmak gerekir.

- Sıkışabilir zemin tabakalarının sıkıştırılması
- Yükü temele erken koymak ve yapının inşaatı bitmeden önce uzun süre etki ettirmek
- Temel zeminini, ileride etkiyecek olan yükten daha fazla bir yüke maruz bırakmak
- Yapıyı yavaş inşa etmek

2.9. Temelerde Farklı Oturmaların Azaltılması

Farklı oturmalardan azaltılabilmesi için şu önlemler alınabilir (Angın, 2003) :

- Bodrum katlar inşa edilerek net taban basıncı azaltılabilir.
- Hafif yüklenmiş olanlara dolgu yapılabilir.
- Radye temel inşa edilebilir.

2.10. İzin Verilebilir (Müsaade Edilebilir) Oturmalar

Yapı temellerinin oturmaları (mutlak oturma, farklı oturma veya açısız distorsiyon değerleri) belli miktarları aşarsa, yapıda çeşitli hasarlar, zararlar meydana gelir. İşte, yapı tipi (yığma, çerçeve), temel türü, yapının malzemesi (ahşap, çelik, beton vb.), yapının kullanım amacı, zemin cinsi vb. birçok etmene bağlı olarak belirlenen ve aşıldıklarında yapıda hasar meydana getiren oturma değerlerine, izin verilebilir oturmalardan denir.

Bir yapı, ne kadar doğru projelendirilirse projelendirilsin, yapının inşaatı öngörülenlere ne kadar uygun gerçekleşirse gerçekleşsin; temel oturmaları dikkate alınmazsa, diğer bir deyişle temel oturmaları belli değerleri (izin verilebilir oturma değerleri) aşarsa yapılarda çatlaklar, ağır hasarlar, hatta yıkılmalar meydana gelmektedir. Mevcut yapılardaki hasarlar veya göçme nedenlerinin başında, oturmalardan, özellikle farklı oturmalardan gelmektedir (Uzuner, 1984; Uzuner, 1985). Bu bakımdan, temel zemininin iyi incelenmesi (etüdü) ve yapının muhtemel oturmalarının dikkate alınması gerekir.

Çeşitli araştırmacılar, hasarlı ve hasarsız mevcut yapılar üzerinde yaptıkları hasar, çatlak ve oturma gözlemlerinden, izin verilebilir oturma değerleri önermişlerdir. Bu

konuda ilk ve önemli çalışma; Skempton ve Mac Donald (1956) tarafından yapılmıştır. Skempton ve Mac Donald, betonarme yapılarda, izin verilebilir oturmalar için $\beta = 1 / 300$ 'ün aşılmamasını, bu değerin izin verilebilir oturma değerleri için esas alınmasını önermişlerdir. Ayrıca, izin verilebilir farklı oturmaları, kile oturan temelerde 40 mm, kuma oturan temelerde 25 mm olarak önermişlerdir. Gene, izin verilebilir mutlak oturmaları kilde, tekil temeller için 65 mm, radye temeller için 65-100 mm; kumda, tekil temeller için 40 mm, radye temeller için 40-65 mm önermişlerdir. Terzaghi ve Peck (1967), kuma oturan temelerde, farklı oturmaların, maksimum oturmaların % 75'ini aşması olasılığının çok zayıf olduğunu, birçok yapının 20 mm'lik farklı oturmaya hasar görmeden dayanabileceğini belirterek, izin verilebilir maksimum mutlak oturmanın, tekil temeller için 25 mm, radye temeller için 50 mm olmasını önermişlerdir. Betonarme yapılan yapılar için, izin verilebilir ortalama oturma değerleri Tablo 6'da verilmektedir (Skempton ve Mac Donald, 1956).

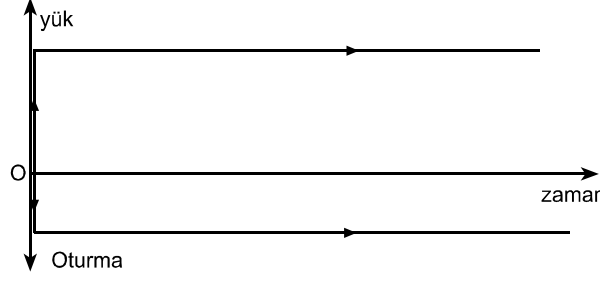
Tablo 6. İzin verilebilir maksimum oturma değerleri (Skempton ve Mac Donald, 1956)

Zemin cinsi	Temel sistemi	Toplam oturma	Farklı oturma	β
Kil	Tekil ve şerit temel	65 mm	40 mm	1/300
	Radye temel	(65-100) mm	40 mm	1/300
Kum	Tekil ve şerit temel	40 mm	25 mm	1/300
	Radye temel	(40-65) mm	25 mm	1/300

2.11. Kohezyonsuz ve Kohezyonlu Zeminlerde Oturma

Kohezyonsuz zeminlerde oturma, kısa sürelidir. Şekil 42'de görüldüğü gibi, yük uygulanır uygulanmaz, oturma kısa sürede meydana gelir. Böyle zeminlerde, tanelerin yeniden yerleşmesi veya doymuş zeminlerde, yüksek geçirimsizlikten dolayı boşluklardaki suyun bir kısmının dışarı akarak, boşluk hacminin azalması, kısa sürede olur.

Kohezyonsuz zeminlerde, oturmanın hesaplanması daha çok Standart Penetrasyon Deneyi (SPT), Koni Penetrasyon Deneyi (CPT), Presiyometre Deneyi (PMT) ve Plaka Yükleme Deneyi (PLT) gibi arazi deneylerine dayanır.



Şekil 42. Kohezyonsuz zeminlerde oturma-zaman ilişkisi

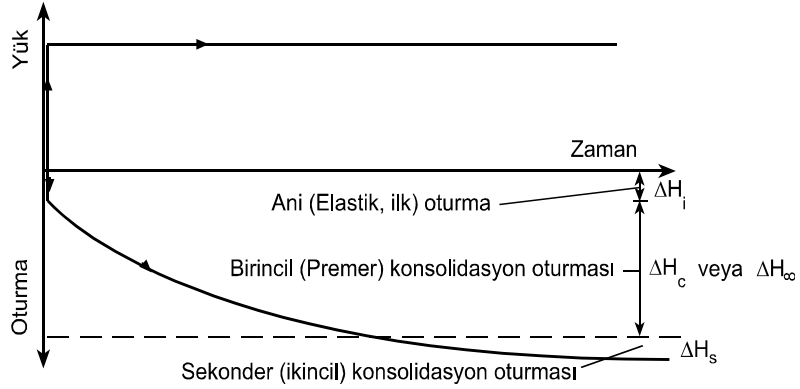
Suya doymun kohezyonlu zeminlerde oturma olayı ise, düşük geçirimsizlikten dolayı , boşluklardaki suyun bir kısmının dışarı çıkması nedeniyle, uzun zamanda meydana gelir.

Şekil 43'ten de görüldüğü gibi, kohezyonlu zeminlerde toplam oturma, 3 bileşenden oluşur.

1) Ani (ilk, elastik) oturma (ΔH_i): Yük uygulanır uygulanmaz, zeminin düşük geçirimsizliğinden dolayı, hacim değişikliği olmaksızın ($\Delta V=0$, $v=0.5$) meydana gelen oturmadır.

2) Birincil (Primer) Konsolidasyon oturması (ΔH_c): Suya doymun kil tabakasına aktarılan ek düşey gerilmelerden dolayı zeminin boşluksuyu basıncı artar. Boşluksuyunun bir kısmı, zeminin düşük geçirimsizliğinden dolayı, uzun sürede (bir kaç aydan, bir kaç yıla kadar) tabaka dışına çıkar. Sabit gerilme altında uzun sürede meydana gelen oturmaya, birincil (primer) konsolidasyon oturması denir. Suya doymun killerde dikkate alınan oturma budur. Bu konsolidasyon oturmasının değeri birkaç mm'den, bir kaç m'ye kadar olabilir.

3) İkincil (sekonder) konsolidasyon oturması (ΔH_s): Ek boşluksuyu basıncının sönmesinden sonra, oturmanın sona ermesi gerekir. Ancak araştırmalar, oturmanın bazı durumlarda çok az da olsa devam ettiğini göstermiştir. Buna ikincil (sekonder) konsolidasyon oturması denir. İkincil konsolidasyon oturmasının, zemin dane iskeletinin plastik deformasyonu ile kil tanelerini saran yüksek viskoziteli adsorbe suyun bir kısmının yavaşça dışarı çıkmasından kaynaklandığı sanılmaktadır. Genellikle ihmal edilebilen ikincil konsolidasyon oturması, bazı çok yüksek plastik killerde önemli olabilir (Uzuner, 2005).

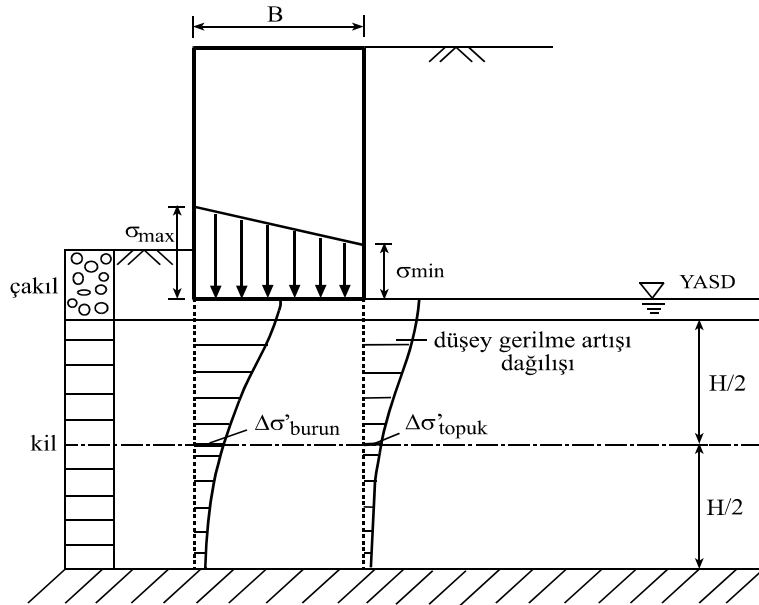


Şekil 43. Suyu doymun kohezyonlu zeminlerde oturma-zaman ilişkisi (Uzuner, 2005)

2.12. Dayanma Duvarlarında Konsolidasyon (Birincil) Oturmalarının Hesaplanması

Şekil 44'te bir dayanma duvarının burun ve topuk noktasında meydana gelen düşey gerilme artışları gösterilmektedir. Bu gerilme artışları bulunarak, H kalınlığında, suya doymun bir kil tabakası altındaki nihai (son) konsolidasyon oturmaları iki şekilde hesaplanabilir :

1. Hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile
2. Sıkışma indisi (C_c) ile



Şekil 44. Tabaka ortasında meydana gelen düşey gerilme artışları

1. Hacimsel sıkışma katsayısı ile;

$$\Delta H_{\infty} = m_v H \Delta \sigma' \quad (58)$$

Burada;

ΔH_{∞} : tabakanın toplam son oturması

$\Delta \sigma'$: yüklemeden dolayı, tabakanın ortasındaki düşey efektif gerilme artışı

m_v : hacimsel sıkışma indisi

H : tabakanın kalınlığı'dır.

2. Sıkışma indisi ile;

$$\Delta H_{\infty} = \frac{H}{1 + e_0} C_c \log \frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} = \frac{H}{1 + e_0} C_c \log \frac{\sigma_1' + \Delta \sigma'}{\sigma_1'} \quad (59)$$

Burada;

e_0 : tabakanın yüklenmeden önceki durumuna ait boşluk oranı

σ_1' : tabaka ortasında, yüklenmeden önceki düşey efektif gerilme

σ_2' : tabaka ortasında, yüklenmeden sonraki düşey efektif gerilme

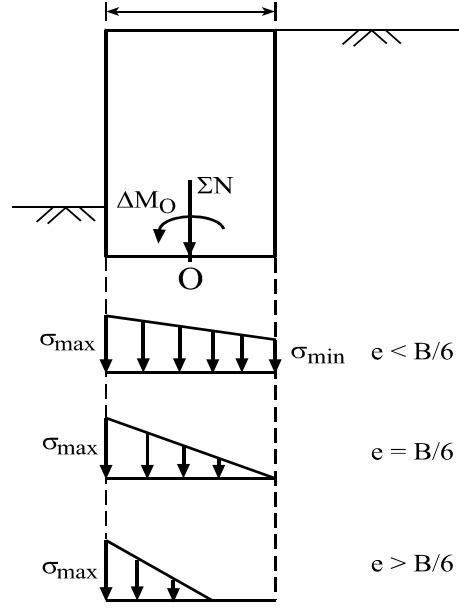
C_c : sıkışma indisi'dir.

Bağıntı 58 ve Bağıntı 59'dan açıkça görüldüğü gibi; H kalınlığında suya doymuş bir kil tabakasının toplam son oturmasının hesaplanabilmesi için, dayanma duvarının inşasından sonra tabaka ortasında meydana gelen efektif gerilme artışlarının bilinmesi gerekir.

Çeşitli yüzey yüklerinden dolayı, zemin ortamında oluşan düşey ek gerilme artışlarının hesabı için Boussinesq (1885), dayanma duvarının tabanında oluşan basınç dağılışına göre çeşitli yöntemler ortaya koymuştur.

Şekil 45'te bir dayanma duvarının tabanında yüklenmeden dolayı, eksantrisenin büyüklüğüne göre üç değişik taban basınç dağılışı görülmektedir. Bunlar;

- Yamuk basınç dağılışı
- Üçgen basınç dağılışı
- Kopmuş üçgen basınç dağılışı'dır.

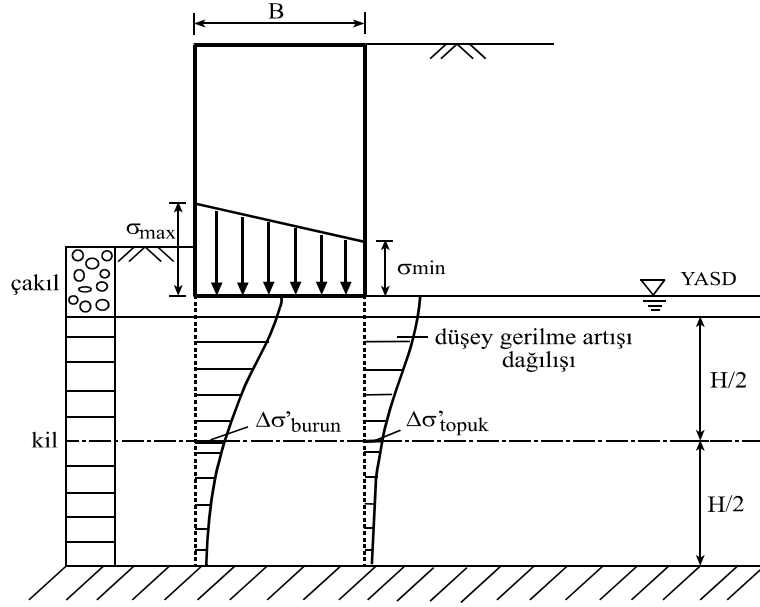


Şekil 45. Dayanma duvarının tabanında yüklemeye bağlı olarak oluşan taban basınç dağılımları

Bu basınç dağılımları, Boussinesq yöntemlerinden uygun olanlarına uyarlanarak, kil tabakasının ortasındaki gerilme artışları hesaplanabilir.

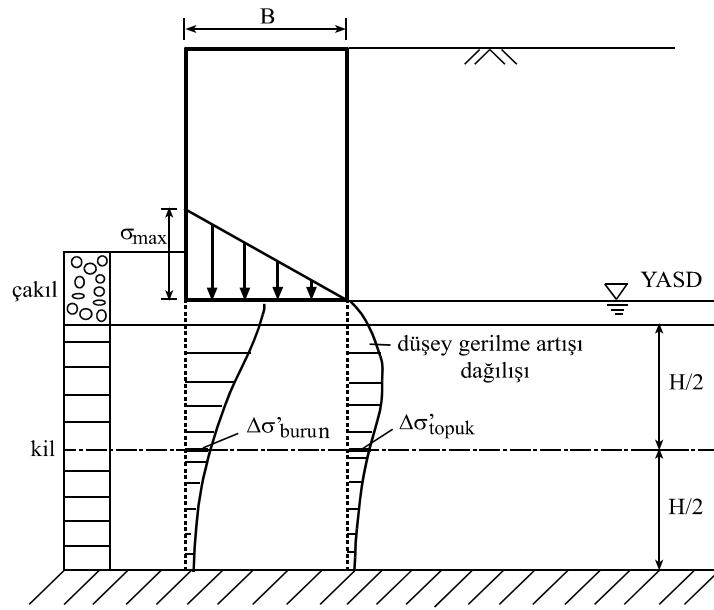
2.13. Yüklemeye Bağlı Bir Kil Tabakasının Ortasındaki Gerilme Artışlarının Hesaplanması

Şekil 46'dan da görüldüğü gibi; H kalınlığındaki bir kil tabakasında, yamuk taban basınç dağılımından dolayı oluşan gerilme artışları; yamuk şerit yükün, üniform şerit yük ve üçgen şerit yüke dönüştürülmesiyle hesaplanabilir. Üniform şerit yük ve üçgen şerit yükten dolayı, tabaka ortasında meydana gelen gerilme artışlarının toplamı; yamuk şerit yükten dolayı meydana gelen gerilme artışlarına eşittir.



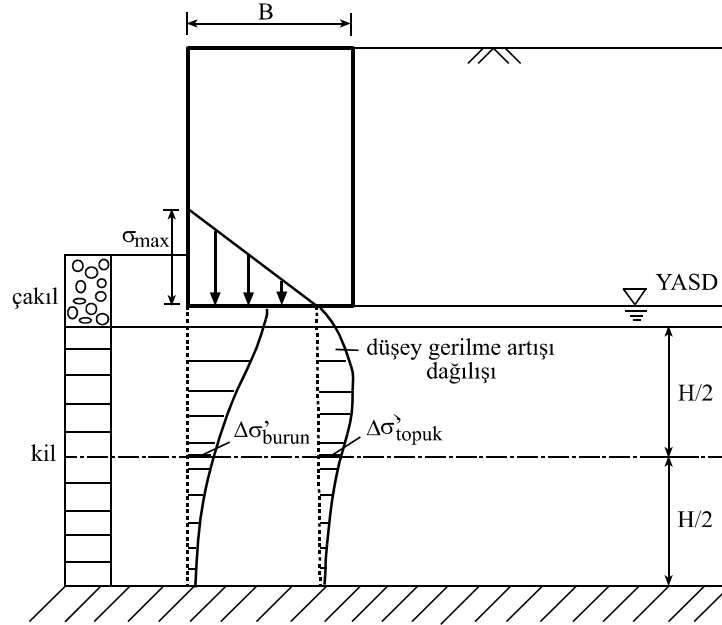
Şekil 46. Dayanma duvarının tabanında oluşan yamuk basınç dağılışı nedeniyle, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları

Şekil 47'den de görüldüğü gibi; H kalınlığındaki bir kil tabakasında, üçgen basınç dağılışı nedeniyle oluşan gerilme artışları, üçgen şerit yük yöntemiyle hesaplanabilir.



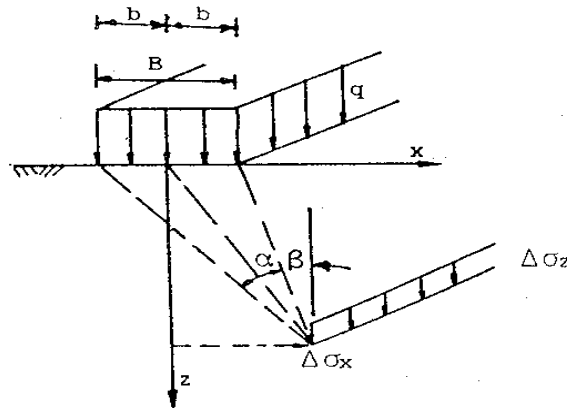
Şekil 47. Dayanma duvarının tabanında oluşan üçgen basınç dağılışı nedeniyle, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları

Şekil 48'den de görüldüğü gibi; H kalınlığındaki bir kil tabakasında, kopmuş üçgen basınç dağılışı nedeniyle oluşan gerilme artışları, üçgen şerit yük yöntemiyle hesaplanabilir.



Şekil 48. Dayanma duvarının tabanında oluşan kopmuş üçgen basınç dağılışı nedeniyle, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları

2.13.1. Üniform Şerit Yük



Şekil 49. Üniform şerit yük

Şekil 49'da verilen bir şerit yükten dolayı oluşan düşey gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} (\alpha + \sin \alpha \cos(\alpha + 2\beta)) \quad (60)$$

veya

$$\Delta\sigma_z = I_s \cdot q \quad (61)$$

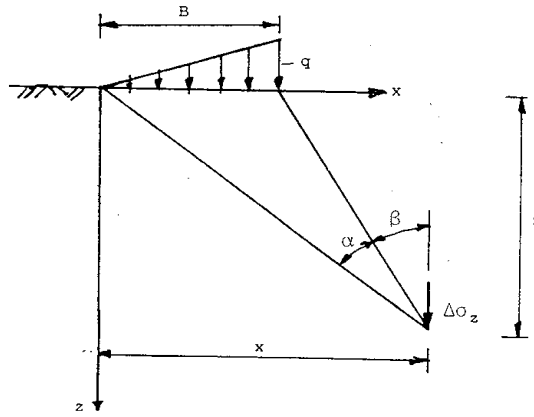
ile hesaplanabilir.

Burada;

I_s : üniform şerit yük etki faktörü'dür.

Bağıntılarda, ilk parantezden hemen sonra gelen α , radyan cinsindedir.

2.13.2. Üçgen Şerit Yük



Şekil 50. Üçgen şerit yük

Şekil 50'de verilen böyle bir yükten dolayı meydana gelen düşey gerilme artışı;

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) \quad (62)$$

veya

$$\Delta\sigma_z = I_T \cdot q \quad (63)$$

ile hesaplanabilir.

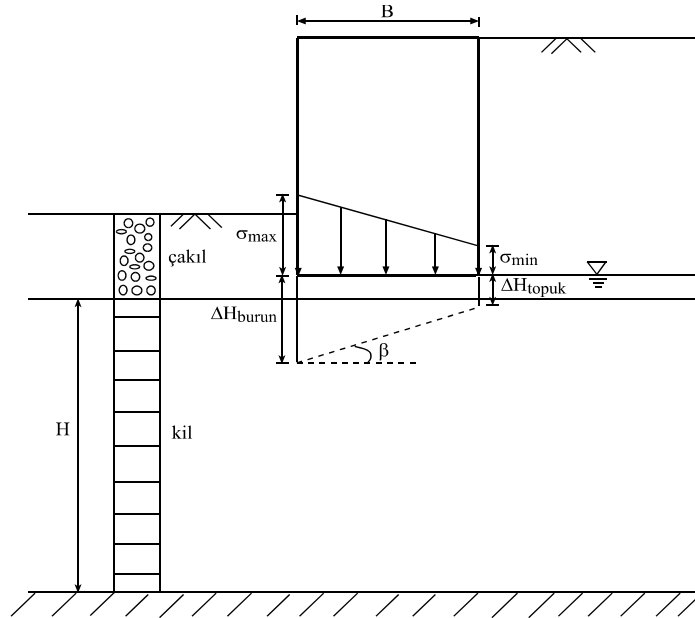
Burada;

I_T : üçgen şerit yük etki faktörü'dür.

Bağıntılarda, ilk parantezden hemen sonra gelen α , radyan cinsindedir.

2.14. Bir Dayanma Duvarı Temeli Altındaki Kil Tabakasında Meydana Gelen İzin Verilebilir Oturma Değerleri

Oturmalar yavaş geliştikçe, yapının zarar görmeksizin karşı karşıya kalabileceği oturma büyüklüğü de artmış olacağından, kohezyonlu zeminlerde daha fazla oturmaya izin verilebilir. Ayrıca, radye temeller üniform olmayan zemin koşullarının üzerine oluşturulmuş bir köprü niteliğinde olduğundan ve aynı zemin türünde daha az farklı oturma yapmaları beklendiğinden, bu temellerde izin verilebilir mutlak ve farklı oturmalar tekil temellere göre daha fazla olabilmektedir (Yıldırım, 2002).



Şekil 51. Dayanma duvarının burun ve topuk noktasında meydana gelen oturmalar

Bu açıklama göz önüne alınarak; dayanma yapılarının diğer yapılara oranla daha kaba ve ağır yapılar oldukları bilinmektedir. Radye temellerin, diğer temellerden daha fazla oturma yapması beklendiği gibi; kil zemine inşa edilen dayanma yapılarının da, kil zemine inşa edilen diğer yapılara oranla daha fazla oturma yapması beklenebilir. Bu yüzden, Bağıntı 66, Bağıntı 67, Bağıntı 68'de de belirtildiği gibi, kil zemine inşa edilen şerit temellerin mutlak ve farklı oturma değerleri, aynı zemine inşa edilen dayanma duvarlarının şerit temelleri için yaklaşık 2 kat fazla alınabilir (Şekil 51).

Aşağıdaki bağıntılarda, dayanma duvarının burun ve topuk noktalarındaki izin verilebilir oturma değerleri verilmektedir.

$$\Delta H_{\infty (\text{burun})} = m_v H \Delta \sigma_b \quad (64)$$

$$\Delta H_{\infty (\text{topuk})} = m_v H \Delta \sigma_t \quad (65)$$

$$\Delta H_{\infty (\text{burun})} \leq 130 \text{ mm} \quad (66)$$

$$\Delta H_{\infty (\text{topuk})} \leq 130 \text{ mm} \quad (67)$$

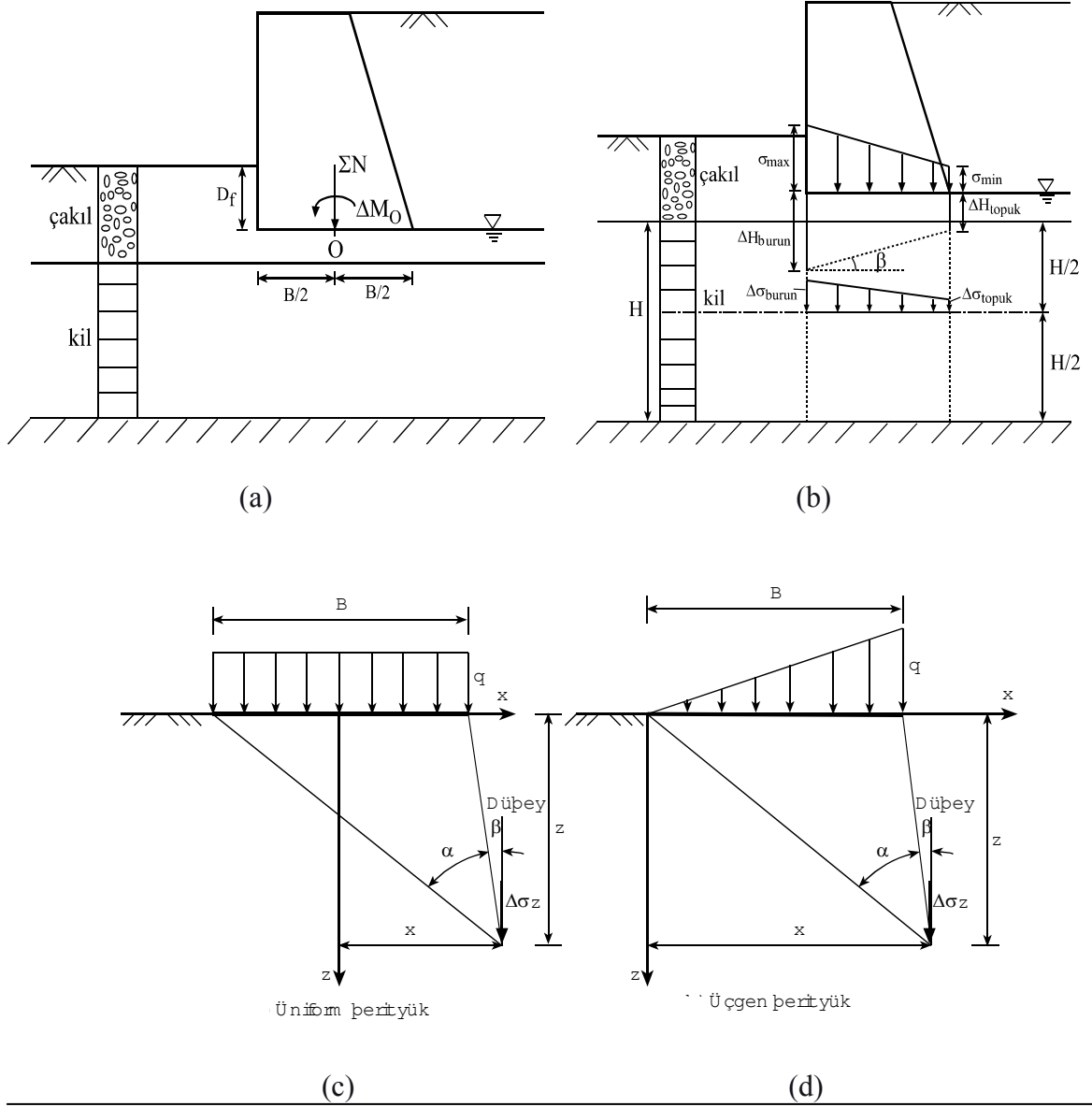
$$\Delta H_{\infty (\text{burun})} - \Delta H_{\infty (\text{topuk})} \leq 80 \text{ mm (farklı oturma)} \quad (68)$$

$$\beta (\text{açısal distorsiyon}) = \frac{\Delta H_{(\text{burun})} - \Delta H_{(\text{topuk})}}{B} \leq 1/300 \quad (69)$$

2.15. Fortran Bilgisayar Programının Akış Mantığı ve Akış Şemasında Kullanılan Semboller

Fortran bilgisayar programının akış mantığı ve şemasında kullanılan semboller Şekil 52 a, b, c ve d üzerinde gösterilmiştir.



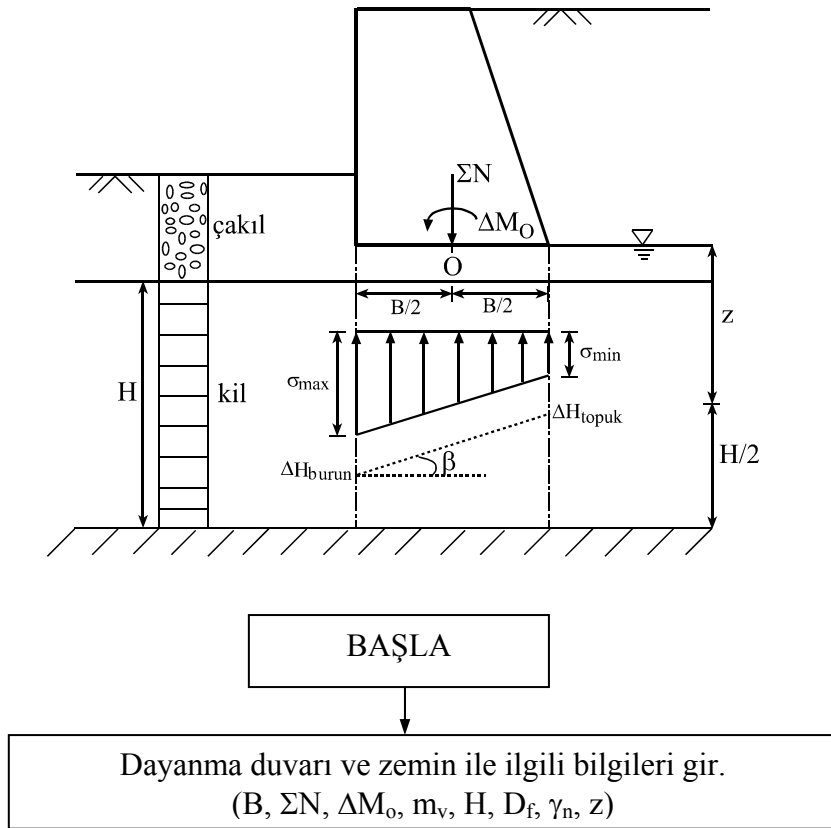


Şekil 52. Fortran bilgisayar programında kullanılan semboller

- B (B) : duvar genişliği (m)
- TOPN (ΣN) : duvar tabanına etkiyen toplam düşey yük (kN)
- TOPMOM (ΔM_0) : duvar tabanına etkiyen toplam moment (kNm)
- Mv (m_v) : zeminin hacimsel sıkışma katsayısı (m^2/kN)
- H (H) : sıkışan tabaka kalınlığı (m)
- Df (D_f) : duvarın gömme derinliği (m)
- GAMA (γ_n) : zeminin doğal birim hacim ağırlığı (kN/m^3)
- z (z) : duvar tabanından tabaka ortasına olan uzaklık (m)

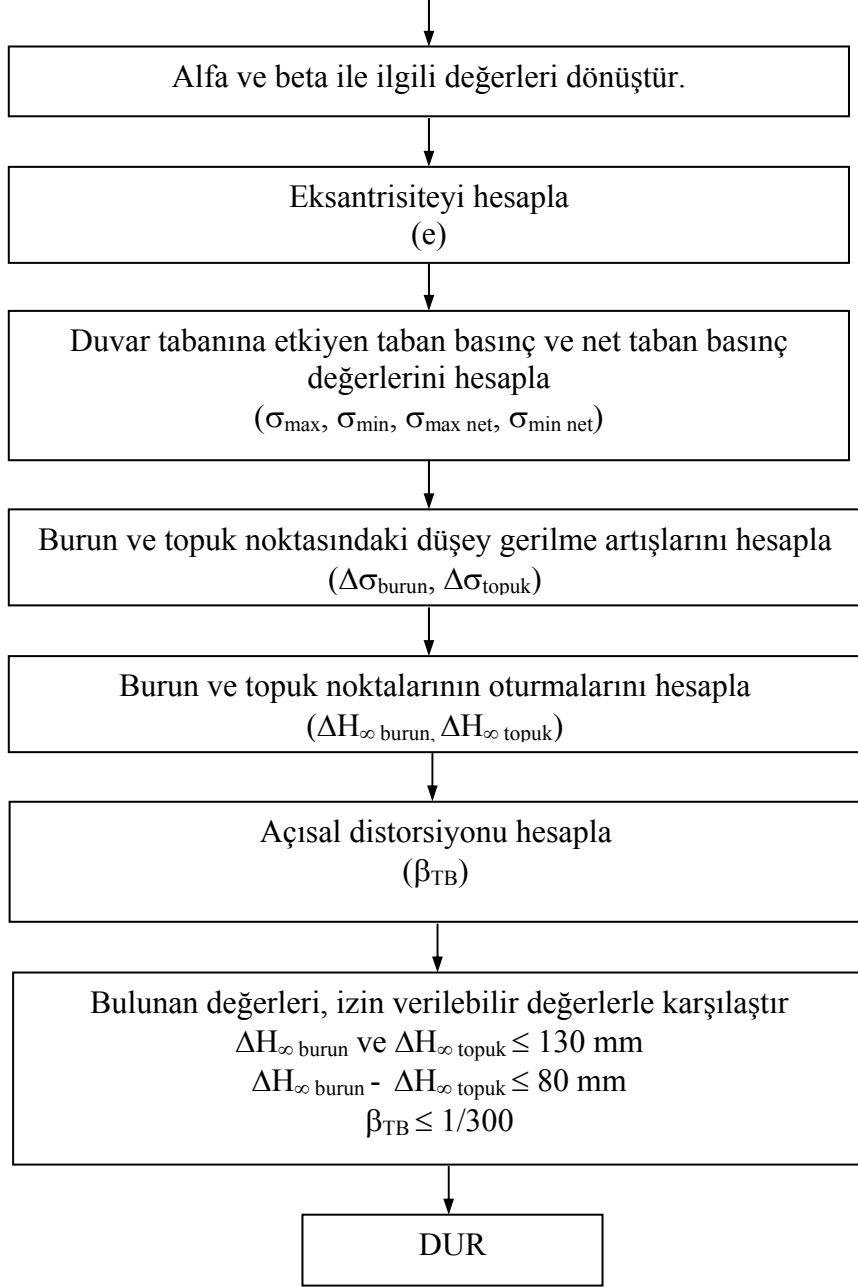
- e (e) : eksantrisite (m)
- S_{MAX} (σ_{\max}) : maksimum taban basıncı (kN/m²)
- S_{MAX N}($\sigma_{\max \text{ net}}$) : maksimum net taban basıncı (kN/m²)
- S_{MIN} (σ_{\min}) : minimum taban basıncı (kN/m²)
- S_{MIN N}($\sigma_{\min \text{ net}}$) : minimum net taban basıncı (kN/m²)
- Q ($\sigma_{\max \text{ net}} - \sigma_{\min \text{ net}}$) : maksimum ve minimum net taban basınçları farkı (kN/m²)
- DSB ($\Delta\sigma_{\text{burun}}$) : burun noktasındaki düşey gerilme artışı (kN/m²)
- DST ($\Delta\sigma_{\text{topuk}}$) : topuk noktasındaki düşey gerilme artışı (kN/m²)
- DSs ($\Delta\sigma_s$) : s noktasındaki düşey gerilme artışı (kN/m²)
- DHB ($\Delta H_{\infty \text{ burun}}$) : burun noktasının oturması (m)
- DHT ($\Delta H_{\infty \text{ topuk}}$) : topuk noktasının oturması (m)
- DHT ($\Delta H_{\infty (s)}$) : s noktasının oturması (m)
- AD (β) : açısal distorsiyon

2.16. Fortran Bilgisayar Programının Akış Mantığı

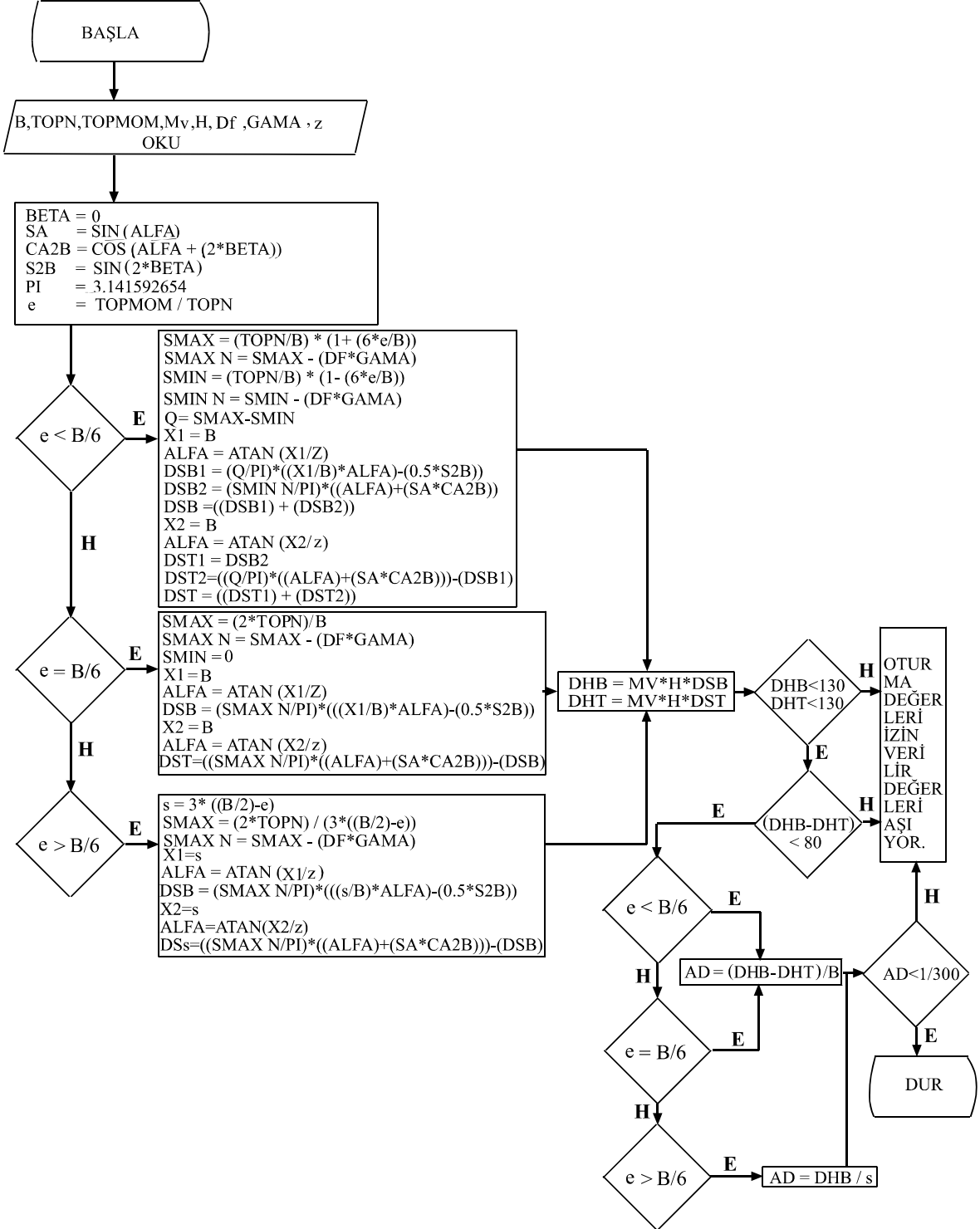


Şekil. 53 Fortran Bilgisayar Programının Akış Mantığı

Şekil 53'ün devamı



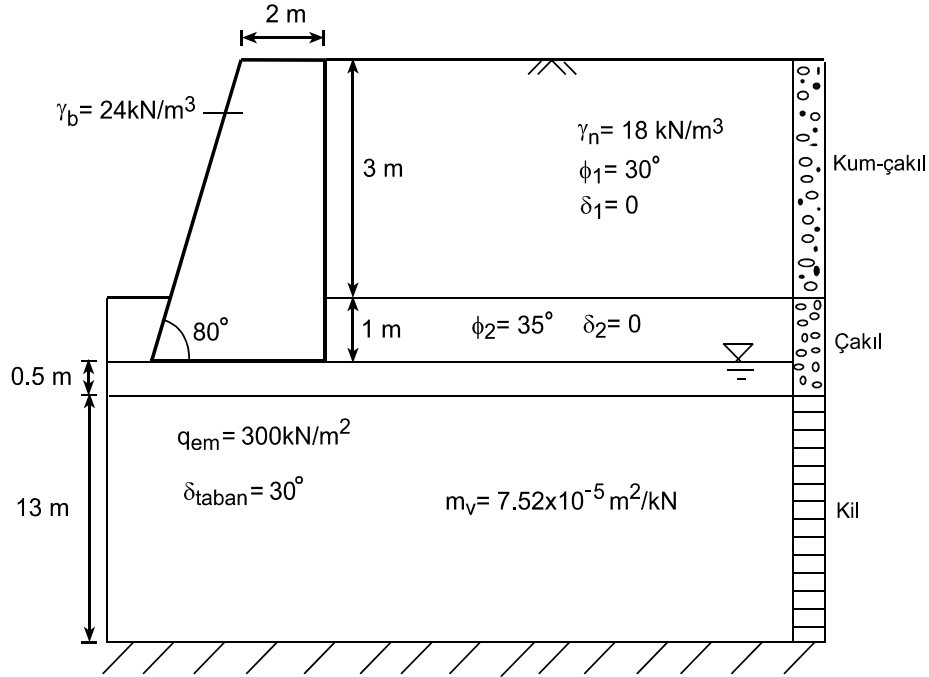
2.17. Fortran Bilgisayar Programının Akış Şeması



Şekil 54. Fortran bilgisayar programının akış şeması

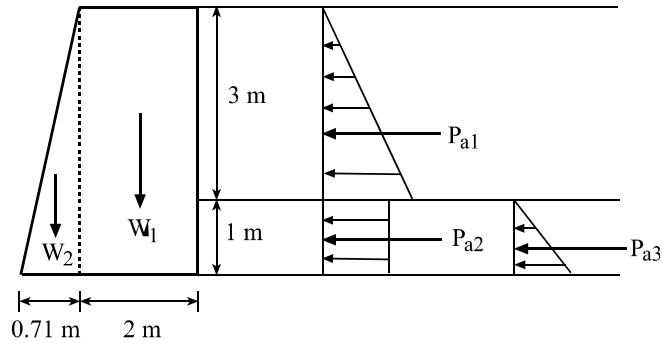
2.18. Kohezyonlu Zeminde Dayanma Duvarının Konsolidasyon Oturmasının Hesaplanması Üzerine Sayısal Örnekler

2.18. 1. Örnek



Şekil 55. Dayanma duvarı ve zemine ait bilgiler

Bütün bilgilerin Şekil 55'te verildiği örnekte, dayanma duvarının ağırlığı ve dayanma duvarına etkiyen yanal zemin basınçları Şekil 56'da verilmiştir. Öndeki pasif direnç, sığ derinlikten dolayı ihmal edilmiştir.



Şekil 56. Dayanma duvarına etkiyen yanal zemin basınçları

$$K_{a1} = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 30/2) = 0.333$$

$$K_{a2} = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 35/2) = 0.271$$

$$W_1 = \gamma_b A = 24 \times 2 \times 4 = 192 \text{ kN/m}$$

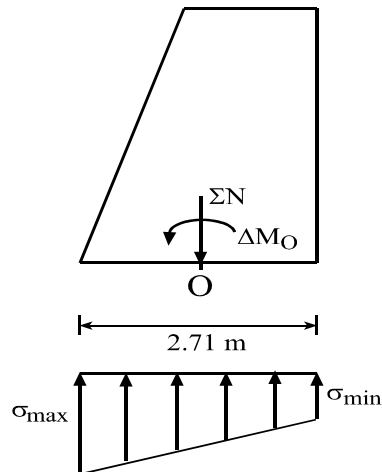
$$W_2 = \gamma_b A = 24 \times \frac{1}{2} \times 0.71 \times 4 = 34.08 \text{ kN/m}$$

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \times 18 \times 3^2 \times 0.333 = 26.973 \text{ kN/m}$$

$$P_{a2} = 18 \times 3 \times 0.271 \times 1 = 14.634 \text{ kN/m}$$

$$P_{a3} = \frac{1}{2} \times 18 \times 1^2 \times 0.271 = 2.439 \text{ kN/m}$$

Dayanma duvarının tabanında meydana gelen taban basınç değerleri Şekil 57'de verilmektedir.



Şekil 57. Dayanma duvarında meydana gelen taban basınçları

$$\begin{aligned}\Delta M_o &= (26.973 \times 2) + \left(14.634 \times \frac{1}{2}\right) + \left(2.439 \times \frac{1}{3}\right) + (34.08 \times 0.882) - (192 \times 0.355) \\ &= 23.975 \text{ kNm/m}\end{aligned}$$

$$\Sigma N = W_1 + W_2 = 192 + 34.08 = 226.08 \text{ kN/m}$$

$$e = \frac{\Delta M_o}{\Sigma N} = \frac{23.975}{226.08} = 0.106 \text{ m} < \frac{B}{6} = \frac{2.71}{6} = 0.452 \text{ m} \quad \checkmark \text{İ}$$

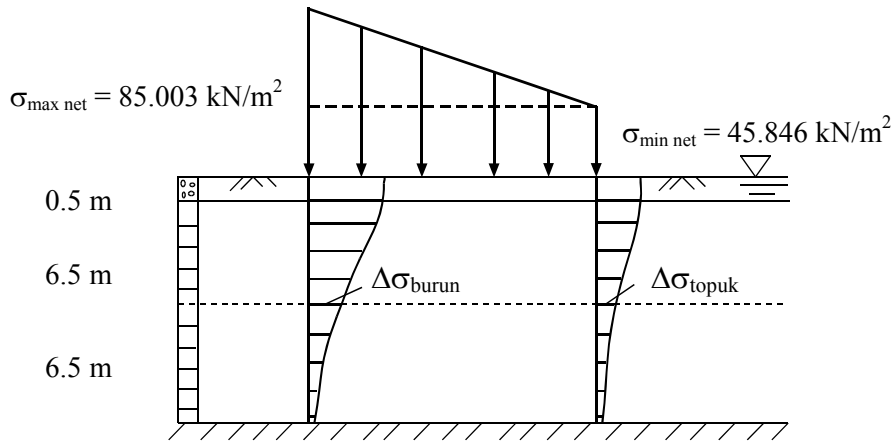
$$\sigma_{\max} = \frac{N}{B} \left(1 + \frac{6e}{B}\right) = \frac{226.08}{2.71} \left(1 + \frac{6 \times 0.106}{2.71}\right) = 103.003 \text{ kN/m}^2 < q_{em} = 300 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{N}{B} \left(1 - \frac{6e}{B}\right) = \frac{226.08}{2.71} \left(1 - \frac{6 \times 0.106}{2.71}\right) = 63.846 \text{ kN/m}^2 > 0$$

$$\sigma_{\max \text{ net}} = \sigma_{\max} - \gamma_n D_f = 103.003 - 18 \times 1 = 85.003 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\min \text{ net}} = \sigma_{\min} - \gamma_n D_f = 63.846 - 18 \times 1 = 45.846 \text{ kN/m}^2$$

Dayanma duvarının tabanında oluşan taban basınçlarından dolayı, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları Şekil 58’de gösterilmektedir.



Şekil 58. Kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları

Üniform şerit yükten dolayı burun ve topuk noktasında meydana gelen gerilme artışları:

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{burun1}} &= \frac{q_{\text{min net}}}{\pi} (\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)) = \frac{45.846}{\pi} (0.3694 + \sin 21.16 \cos(21.16 + 0)) \\ &= 10.303 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{\text{topuk1}} = \Delta\sigma_{\text{burun1}} = 10.303 \text{ kN/m}^2$$

Üçgen şerit yükten dolayı burun noktasında meydana gelen gerilme artışı :

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{burun2}} &= \frac{q_{\text{max net}} - q_{\text{min net}}}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) = \frac{85.003 - 45.846}{\pi} \left(\frac{2.71}{2.71} 0.3694 - 0 \right) \\ &= 4.604 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{\text{burun}} = \Delta\sigma_{\text{burun1}} + \Delta\sigma_{\text{burun2}} = 10.303 + 4.604 = 14.907 \text{ kN/m}^2$$

Üçgen şerit yükten dolayı topuk noktasında meydana gelen gerilme artışı; B uzunluğu boyunca üniform şerit yükten dolayı oluşan gerilme artışından, üniform şerit yükten dolayı oluşan gerilme artışının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{topuk2}} &= \frac{q_{\text{max net}} - q_{\text{min net}}}{\pi} (\alpha + \sin\alpha \cos(\alpha + 2\beta)) - \frac{q_{\text{max net}} - q_{\text{min net}}}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) \\ &= 8.800 - 4.604 = 4.196 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$\Delta\sigma_{\text{topuk}} = \Delta\sigma_{\text{topuk1}} + \Delta\sigma_{\text{topuk2}} = 10.303 + 4.196 = 14.499 \text{ kN/m}^2$$

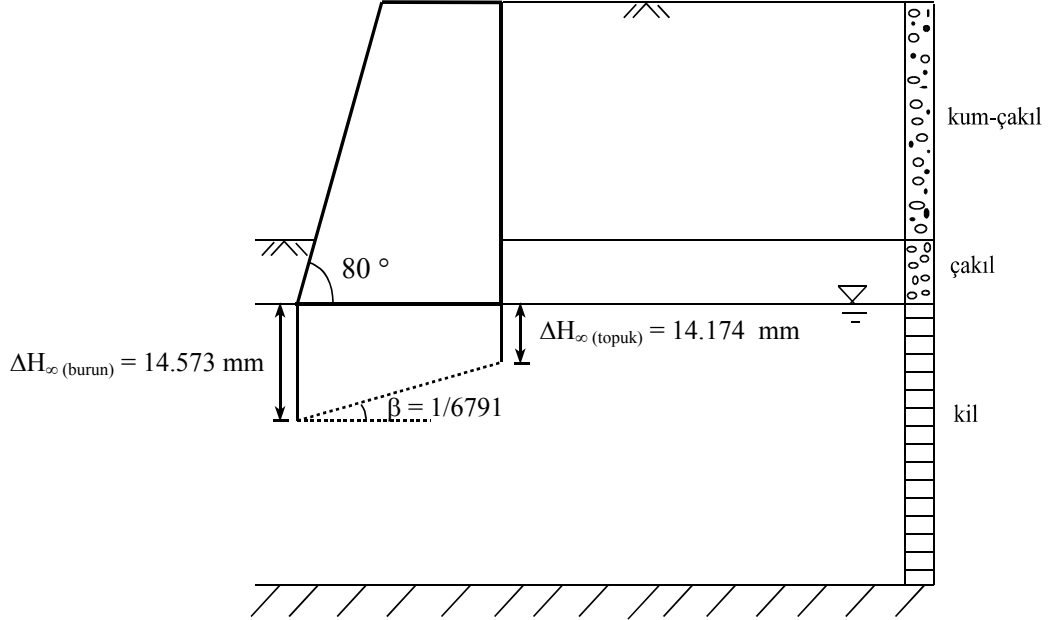
Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri Şekil 59'da verilmiştir.

$$\begin{aligned}\Delta H_{\infty} (\text{burun}) &= m_v \Delta\sigma_b H = 7.52 \times 10^{-5} \times 14.907 \times 13 \\ &= 0.014573 \text{ m} = 14.573 \text{ mm} < 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\infty} (\text{topuk}) &= m_v \Delta\sigma_t H = 7.52 \times 10^{-5} \times 14.499 \times 13 \\ &= 0.014174 \text{ m} = 14.174 \text{ mm} < 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

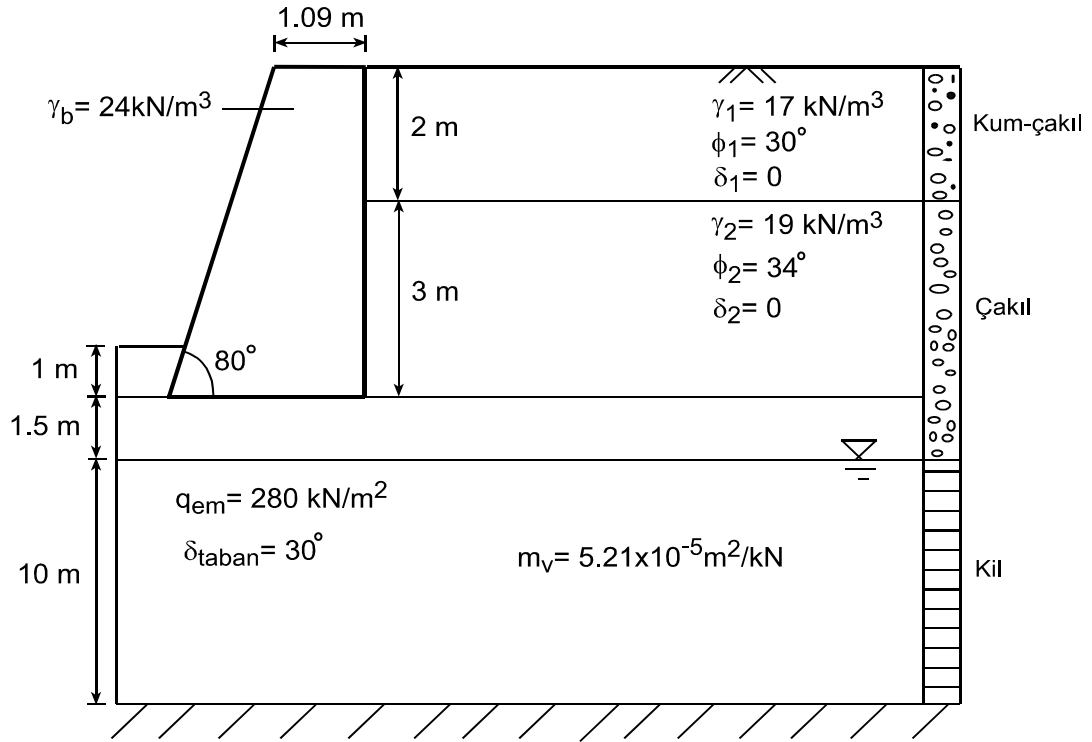
$$\Delta H_{\infty}(\text{burun}) - \Delta H_{\infty}(\text{topuk}) = 14.573 - 14.174 = 0.399 \text{ mm} < 80 \text{ mm}$$

$$\beta = (\Delta H_{\infty}(\text{burun}) - \Delta H_{\infty}(\text{topuk})) / B = (0.014573 - 0.014174) / 2.71 = 1/6791 < 1/300$$



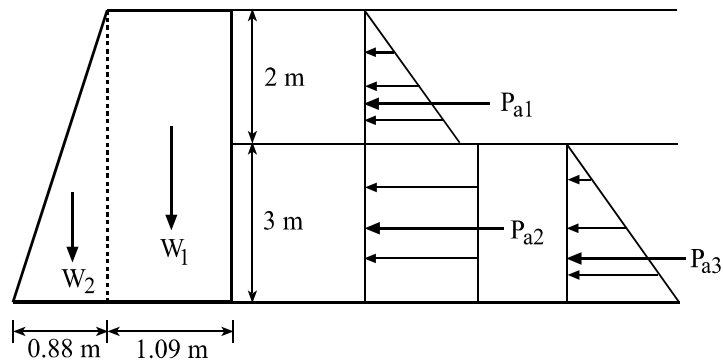
Şekil 59. Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri

2.18. 2. Örnek



Şekil 60. Dayanma duvarı ve zemine ait bilgiler

Bütün bilgilerin Şekil 60'ta verildiği örnekte, dayanma duvarının ağırlığı ve dayanma duvarına etkiyen yanıl zemin basınçları Şekil 61'de verilmiştir. Öndeki pasif direnç, sığ derinlikten dolayı ihmal edilmiştir.



Şekil 61. Dayanma duvarına etkiyen yanıl zemin basınçları

$$K_{a1} = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 30/2) = 0.333$$

$$K_{a2} = \tan^2 (45 - \phi/2) = \tan^2 (45 - 34/2) = 0.283$$

$$W_1 = \gamma_b A = 24 \times 1.09 \times 5 = 130.8 \text{ kN/m}$$

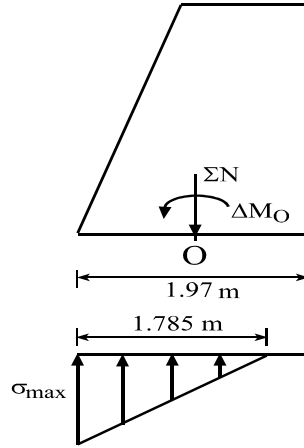
$$W_2 = \gamma_b A = 24 \times \frac{1}{2} \times 0.88 \times 5 = 52.8 \text{ kN/m}$$

$$P_{a1} = \frac{1}{2} \times 17 \times 2^2 \times 0.333 = 11.322 \text{ kN/m}$$

$$P_{a2} = 17 \times 2 \times 0.283 \times 3 = 28.866 \text{ kN/m}$$

$$P_{a3} = \frac{1}{2} \times 19 \times 3^2 \times 0.283 = 24.197 \text{ kN/m}$$

Dayanma duvarının tabanında meydana gelen taban basınç değerleri Şekil 62'de verilmektedir.



Şekil 62. Dayanma duvarında meydana gelen taban basınçları

$$\begin{aligned} \Delta M_O &= \left[11.322 \times \left(3 + \frac{2}{3} \right) \right] + \left(28.866 \times \frac{3}{2} \right) + \left(24.197 \times \frac{3}{3} \right) + (52.8 \times 0.398) - (130.8 \times 0.44) \\ &= 72.472 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

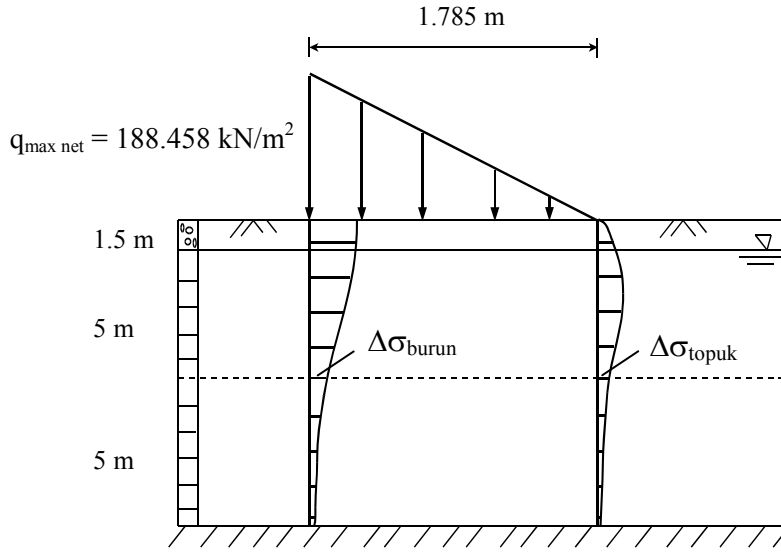
$$\Sigma N = W_1 + W_2 = 130.8 + 52.8 = 183.6 \text{ kN/m}$$

$$e = \frac{\Delta M_o}{\Sigma N} = \frac{72.472}{183.6} = 0.395 \text{ m} > \frac{B}{6} = \frac{1.97}{6} = 0.328 \text{ m} \quad \text{Ç.D.}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{2N}{s} = \frac{2N}{3\left(\frac{B}{2} - e\right)} = 207.458 \text{ kN/m}^2 < q_{\text{em}} = 280 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\max \text{ net}} = \sigma_{\max} - \gamma_n D_f = 208.163 - 19 \times 1 = 188.458 \text{ kN/m}^2$$

Dayanma duvarının tabanında oluşan taban basınçlarından dolayı, kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları Şekil 63'te gösterilmektedir.



Şekil 63. Kil tabakasının ortasında meydana gelen gerilme artışları

Üçgen şerit yükten dolayı burun noktasında meydana gelen gerilme artışı :

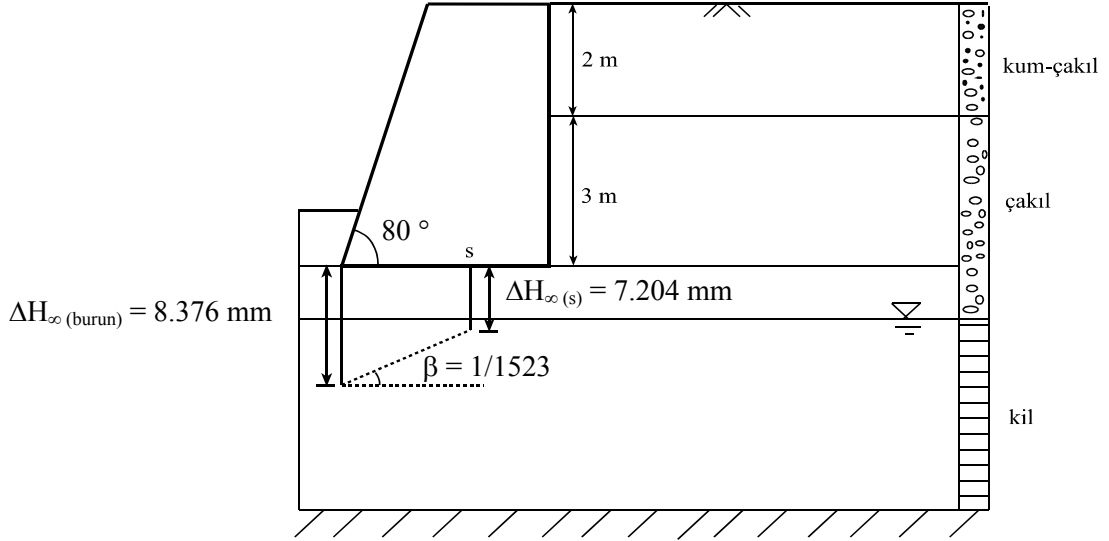
$$\Delta\sigma_{\text{burun}} = \frac{q_{\max \text{ net}}}{\pi} \left(\frac{x}{B} \alpha - \frac{1}{2} \sin 2\beta \right) = \frac{188.458}{\pi} \left(\frac{1.785}{1.785} 0.268 - 0 \right)$$

$$= 16.076 \text{ kN/m}^2$$

Üçgen şerit yükten dolayı s noktasında meydana gelen gerilme artışı; s uzunluğu boyunca üniform şerit yükten dolayı oluşan gerilme artışından, üniform şerit yükten dolayı oluşan gerilme artışının çıkarılmasıyla elde edilir.

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{topuk}} &= \frac{q_{\text{maxnet}}}{\pi}(\alpha + \sin\alpha\cos(\alpha + 2\beta)) - \frac{q_{\text{max.net}}}{\pi}\left(\frac{x}{B}\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\beta\right) \\ &= 31.395 - 16.076 = 15.319 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri Şekil 64'te verilmiştir.



Şekil 64. Kil tabakasında meydana gelen oturma değerleri

$$\begin{aligned}\Delta H_{\infty(\text{burun})} &= m_v \Delta \sigma_b H = 5.21 \times 10^{-5} \times 16.076 \times 10 \\ &= 0.008376 \text{ m} = 8.376 \text{ mm} < 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\infty(s)} &= m_v \Delta \sigma_b H = 5.21 \times 10^{-5} \times 15.319 \times 10 \\ &= 0.007204 \text{ m} = 7.204 \text{ mm} < 130 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\beta = (\Delta H_{(\text{burun})} - \Delta H_{\infty(s)}) / s = (0.008376 - 0.007204) / 1.785 = 1/1523 < 1/300$$

2.19. 1. Sayısal Örneğin Analiz Sonucu

VERİLEN DEGERLER

DUVAR GENISLIGINI GIRIN (B - metre) =
2.71

DUVARA ETKİYEN TOPLAM DUSEY YUKU GIRIN (TOPN - kN) =
226.08

DUVARA ETKİYEN TOPLAM MOMENTI GIRIN (TOPMOM - kNm) =
23.975

ZEMİNİN HACİMSEL SIKISMA KATSAYISINI GIRIN ($M_v - m^{**2}/kN$) =
0.0000752

SIKISAN TABAKA KALINLIGINI GIRIN (H - metre) =
14

DUVARIN GOMME DERINLIGINI GIRIN ($D_f - metre$) =
1

ZEMİNİN DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIGINI GIRIN ($GAMA - kN/m^{**3}$) =
18

DUVAR TABANINDAN TABAKA ORTASINA OLAN UZAKLIGI GIRIN (Z -metre)=
7

HESAPLANAN DEGERLER

EKSANTRISITE (e – metre) = 0.106046535

EKSANTRISITE CEKIRDEK ICINDEDIR

MAXIMUM TABAN BASINCI (SMAX- kN/m^{**2}) = 103.011505

MAXIMUM NET TABAN BASINCI (SMAX N - kN/m^{**2}) = 85.0115051

MINIMUM TABAN BASINCI (SMIN - kN/m^{**2}) = 63.8372002

MINIMUM NET TABAN BASINCI (SMIN N - kN/m^{**2}) = 45.8372002

BURUN NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSB- kN/m^{**2})=14.907579

TOPUK NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DST- kN/m^{**2})= 14.499918

BURUN NOKTASININ OTURMASI (DHB - metre) = 0.0145736495

TOPUK NOKTASININ OTURMASI (DHT - metre) = 0.0141751198

ACISAL DISTORSİYON(AD) = 0.00014705892

2.20. 2. Sayısal Örneğin Analiz Sonucu

VERİLEN DEGERLER

DUVAR GENISLIGINI GIRIN (B - metre) =

1.97

DUVARA ETKİYEN TOPLAM DUSEY YUKU GIRIN (TOPN - kN) =

183.6

DUVARA ETKİYEN TOPLAM MOMENTI GIRIN (TOPMOM - kNm) =

72.472

ZEMİNİN HACİMSEL SIKISMA KATSAYISINI GIRIN ($M_v - m^{**2}/kN$) =

0.0000521

SIKISAN TABAKA KALINLIGINI GIRIN (H - metre) =

10

DUVARIN GOMME DERINLIGINI GIRIN ($D_f - metre$) =

1

ZEMİNİN DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIGINI GIRIN ($GAMA - kN/m^{**3}$) =

19

DUVAR TABANINDAN TABAKA ORTASINA OLAN UZAKLIGI GIRIN (Z -metre)=

6.5

HESAPLANAN DEGERLER

EKSANTRISITE (e - metre) = 0.394727647

EKSANTRISITE CEKIRDEK DISINDADIR

MAXIMUM TABAN BASINCI (SMAX- kN/m^{**2}) = 207.361908

MAXIMUM NET TABAN BASINCI (SMAX N - kN/m^{**2}) = 188.361908

BURUN NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSB- kN/m^{**2})=15.947393

s NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSs- kN/m^{**2})=15.205836

BURUN NOKTASININ OTURMASI (DHB - metre) = 0.00830859225

s NOKTASININ OTURMASI (DHs - metre) = 0.00792224053

ACISAL DISTORSIYON(AD) = 0.00059358263

2.21. 1. Örneğin Elle Çözümünün ve Bilgisayar Sonuçlarının Karşılaştırılması

2.18’de sayısal örneğin elle çözümünden sonra dayanma duvarına ait taban basıncı, düşey gerilme artışları, oturma ve açılmal distorsiyon değerleri elde edilmiştir. 2.19’da ise aynı sayısal örneğin bilgileri kullanılarak fortran programı koşturulmuştur. 2.18 ve 2.19’daki sonuçların karşılaştırılması Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7. 1. Örneğin sonuçlarının karşılaştırılması

	Elle çözüm	Bilgisayar çözümü
Eksantrisite	0.106 m	0.106046535 m
Max. taban basıncı	103.003 kN/m ²	103.011505 kN/m ²
Min. taban tasıncı	63.846 kN/m ²	63.8372002 kN/m ²
Max. net taban basıncı	85.003 kN/m ²	85.0115051 kN/m ²
Min. net taban basıncı	45.846 kN/m ²	45.8372002 kN/m ²
Burun noktasındaki düşey gerilme artışı	14.907 kN/m ²	14.907579 kN/m ²
Topuk noktasındaki düşey gerilme artışı	14.499 kN/m ²	14.499918 kN/m ²
Burun noktasının oturması	0.014573 m	0.0145736495 m
Topuk noktasının oturması	0.014174 m	0.0141751198 m
Açılmal distorsiyon	1/6791	1/6800

Tablo 7’den görüldüğü gibi elle ve bilgisayar çözümü karşılaştırıldığında, sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Elle yapılan hesapların duyarlılığı daha az, bilgisayarla yapılan hesapların duyarlılığı daha fazladır. Sonuçlardaki uyum, fortran bilgisayar programının doğru çalıştığını göstermektedir.

2.22. 2. Örneğin Elle Çözümünün ve Bilgisayar Sonuçlarının Karşılaştırılması

2.18’de sayısal örneğin elle çözümünden sonra dayanma duvarına ait taban basıncı, düşey gerilme artışları, oturma ve açılma distorsiyon değerleri elde edilmiştir. 2.20’de ise aynı sayısal örneğin bilgileri kullanılarak fortran programı koşturulmuştur. 2.18 ve 2.20’deki sonuçların karşılaştırılması Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8. 2. Örneğin sonuçlarının karşılaştırılması

	Elle çözüm	Bilgisayar çözümü
Eksantrisite	0.395 m	0.394727647 m
Max. taban basıncı	207.458 kN/m ²	207.361908 kN/m ²
Max. net taban basıncı	188.458 kN/m ²	188.361908 kN/m ²
Burun noktasındaki düşey gerilme artışı	16.076 kN/m ²	15.947393 kN/m ²
s noktasındaki düşey gerilme artışı	15.319 kN/m ²	15.205836 kN/m ²
Burun noktasının oturması	0.008376 m	0.00830859225 m
s noktasının oturması	0.007204 m	0.00792224053 m
Açılma distorsiyon	1/1523	1/1684

Tablo 8’den görüldüğü gibi elle ve bilgisayar çözümü karşılaştırıldığında, sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Elle yapılan hesapların duyarlılığı daha az, bilgisayarla yapılan hesapların duyarlılığı daha fazladır. Sonuçlardaki uyum, fortran bilgisayar programının doğru çalıştığını göstermektedir.

3. SONUÇLAR

Dayanma duvarlarının projelendirilmesi için, onlara etkiyen yanal zemin basınçlarının bilinmesi gerekir. Bu basınçlar hesaplanarak, dayanma duvarlarının stabilitesi için bazı denetimler (tahkikler, kontroller) yapılmaktadır. Bunlar kayma, devrilme, taşıma gücü, toptan göçme ve oturma denetimleridir. Uygulamada çoğu kez oturma denetimi dışındaki denetimler ışığında projelendirme yapılmaktadır. Oysa, dayanma yapısı da bir yapıdır ve onun da diğer denetimler yanında (taşıma gücü vb.) oturma koşulunu sağlaması gerekir. Oturma denetimi yapılmadan projelendirilen dayanma yapılarında oturmalarından, özellikle de farklı oturmalarından dolayı zamanla çatlaklar, ağır hasarlar, hatta kırılmalar oluşabilmektedir. Oturmaların büyük değerlere ulaşmasıyla dayanma duvarları işlev dışı kalabilmektedir. İşte bu oturmaların, denetim yapılarak hesaplanması ve bunun doğrultusunda dayanma duvarlarının projelendirilmesi yapılmalıdır. Böylelikle ileride oluşabilecek ve telafisi zor hasarlarla karşılaşılmamış olunur. Oturma denetiminin yapılması, dayanma duvarının hizmet ömründen önce işlev dışı kalmaması açısından önemlidir.

Bu çalışmada, suya doygun kohezyonlu zeminler üzerine oturan dayanma duvarlarının oturmalarının (konsolidasyon oturmaları) hesabı için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Elle yapılan hesaplar uzun zaman almakta ve insan hataları içermektedir. Oysa bilgisayarla yapılan hesaplar hızlıdır, ayrıca dört işlem hataları da içermemektedir.

Bu tezde sunulan bilgisayar programının, özellikle pratikte, dayanma duvarı tasarlayanlara yararlı olması dlenir.

4. KAYNAKLAR

- Angın, Z., 2003. Sığ Temeller, Yüksek Lisans Ders Notları (Yayınlanmamış), K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 624 s.
- Boussinesq, M.J., 1885. Application Des Potentials, A I Etude de l'Equilibre et du Movement Des Solides Elastiques, Gauthier-Villars, Paris.
- Burland, J. B. ve Wroth, C. D., 1974. Settlements of Buildings and Associated Damage, State of Art Review, Proc. Conf. on Settlements of Structures, London, 611-654.
- Burland, J. B., Broms, B. B. ve De Mello, V. F. B., 1977. The Behaviour of Foundations and Structures, Proc. 9 th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering (SMFE), 2, Japan, 495-646.
- Coduto, D. P., 2001. Foundation Design Principles and Practices, Second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 883 s.
- Craig, R. F., 1983. Soil Mechanics, Von Nostrand Reinhold, England, 318 s.
- Çağlarer, B., 1986. Yol Yapım Tekniği, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 2, Ankara.
- Epsiseli, S. E., 1996. İstinat Duvarlarının Bilgisayar Yardımı ile Projelendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 123 s.
- Köhler, F. ve Scheiding, A., Çeviren, Acun, N., 1960. Temel Zemini ve Yapı, 2. Baskı, İstanbul, 460 s.
- Lambe, T. W. ve Whitman, R. V., 1969. Soil Mechanics, John Wiley, New York.
- Mayne, P. W. ve Kulhawy, F. H., 1982. K_0 – OCR Relationships in Soil, ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 108, GT6, 851-852.
- Meyerhof, G. G., 1953. Some Recent Foundation Research and Its Application to Design Structural Engineering, 31, 151-167.
- Moorhouse, D. C., 1972. Shallow Foundations, State of Art Paper, Proc. Special Conf. on Performance of Earth-Supported Structures, Purdue, 2, 71-109.
- Osterberg, J. O., 1973. Settlements of Structures Due to External Causes, Saminar on Settlements of Structures, ASCE, 1-17.

- Önalp, A., 1992. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 2, Trabzon, 730-778.
- Özmen, F., 1996. Esnek Bir Radyenin Oturmalarının Presiyometre Deneyinden Hesaplanan Yatak Katsayıları Kullanılarak Sonlu Farklar Yöntemi ile Hesaplanması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 143 s.
- Seed, H. B. ve Whitman, R. V., 1970. Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads, Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, 103-147.
- Simons, N. E., ve Menzies, B. K., 1975. A Short Course in Foundation Engineering, IPC Science and Tech. Press..
- Skempton, A. W. ve Mac Donald, D. C., 1956. Allowable Settlement of Buildings, Proc. Institue for Civil Engineers, 3, 5, 727-768.
- Terzaghi, K. ve Peck, R. B., 1967. Soil Mechanics in Foundation Engineering Practice, Wiley, New York.
- Tunç, A., 2002. Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 912 s.
- Uzuner, B. A., 1984. Yapılarda Zemin İncelemesinin (Etüdünün) Önemi, Türkiye'de İnşaat Mühendisliği Alanındaki Gelişmeler Kongresi, İ.T.Ü., İstanbul, 71-74.
- Uzuner, B. A., 1985. Yapılarda Oturma, III. Mühendislik Haftası, Isparta, 11-23.
- Uzuner, B. A., 2005. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Altıncı Basım, Derya Kitabevi, Trabzon, 484 s.
- Yıldırım, S., 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 466 s.

EKLER

Ek-1 : Kohezyonlu zeminlerde dayanma duvarlarının konsolidasyon oturmasının hesabına ait programın listesi

C DAYANMA DUVARI VE ZEMIN ILE ILGILI BILGILER

```

REAL B, TOPN, TOPMOM, Mv, H, Df, GAMA, z, e, SMAX, SMAX N, SMIN, SMIN N, Q, X1, DSB1
DSB2, DSB, DST1, DST2, DST, DSs, s, DHB, DHT, DHs, AD
10 WRITE(*,*)'VERILEN DEGERLER'
WRITE(*,20)
20 FORMAT('DUVAR GENISLIGINI GIRIN (B - metre) = ')
READ(*,*) B
WRITE(*,30)
30 FORMAT('DUVAR TABANINA ETKIYEN TOPLAM DUSEY YUKU GIRIN (TOPN - kN) = ')
READ(*,*) TOPN
WRITE(*,40)
40 FORMAT('DUVAR TABANINA ETKIYEN TOPLAM MOMENTI GIRIN (TOPMOM- kNm) =')
READ(*,*) TOPMOM
WRITE(*,50)
50 FORMAT('ZEMININ HACIMSEL SIKISMA KATSAYISINI GIRIN (Mv - m**2/kN) = ')
READ(*,*) Mv
WRITE(*,60)
60 FORMAT('SIKIŞAN TABAKA KALINLIGINI GIRIN (H - metre) = ')
READ(*,*) H
WRITE(*,65)
65 FORMAT('DUVARIN GOMME DERINLIGINI GIRIN (Df - metre) = ')
READ(*,*) Df
WRITE(*,70)
70 FORMAT('ZEMININ DOĞAL BİRİM HACİM AGIRLIGINI GIRIN (GAMA - kN/m**3) = ')
READ(*,*) GAMA
WRITE(*,75)
75 FORMAT('DUVAR TABANINDAN TABAKA ORTASINA OLAN UZAKLIGI GIRIN (Z)
(Z - metre) = ')
READ(*,*) Z
BETA=0
PI= 3.141592654
WRITE(*,*)'HESAPLANAN DEGERLER'

```

C EKSANTRISITENİN HESAPLANMASI

```

e=TOPMOM/TOPN
WRITE(*,*) 'EKSANTRISITE (e - metre) = ',e

```

C EKSANTRISITENİN CEKİRDEK İCİNDE OLMASI DURUMUNDA MAXIMUM, C MINIMUM TABAN BASINCLARI, NET TABAN BASINCLARI VE GERİLME C ARTISLARININ HESAPLANMASI

```

IF (e.LT.B/6) GO TO 80
GO TO 90
80 WRITE(*,*)'EKSANTRISITE CEKİRDEK İCİNDEDİR'
SMAX=(TOPN/B)*(1+(6*e/B))
WRITE(*,*)'MAXIMUM TABAN BASINCI (SMAX - kN/m**2) = ',SMAX
SMAX N=((SMAX)-(DF*GAMA))
WRITE(*,*)'MAXIMUM NET TABAN BASINCI (SMAX N - kN/m**2) = ',SMAX N

```

Ek – 1'in devamı

```

SMIN=(TOPN/B)*(1-(6*e/B))
WRITE(*,*)'MINIMUM TABAN BASINCI (SMIN - kN/m**2) = ',SMIN
SMIN N=((SMIN)-(DF*GAMA))
WRITE(*,*)'MINIMUM NET TABAN BASINCI (SMIN N – kN/m**2) = ',SMIN N
Q=((SMAX N)-(SMIN N))
X1 =B
ALFA=ATAN(X1/z)
SA=SIN(ALFA)
CA2B=COS(ALFA+(2*BETA))
S2B=SIN(2*BETA)
DSB1=(Q/PI)*(((X1/B)*ALFA)-(0.5*S2B))
DSB2=(SMIN N/PI)*((ALFA)+(SA*CA2B))
DSB=((DSB1)+(DSB2))
WRITE(*,*)'BURUN NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSB–kN/m**2)= ',DSB
Q=((SMAX N)-(SMIN N))
X2=B
ALFA=ATAN(X2/z)
SA=SIN(ALFA)
CA2B=COS(ALFA+(2*BETA))
DST1=DSB2
DST2=(Q/PI)*((ALFA)+(SA*CA2B))-(DSB1)
DST=((DST1)+(DST2))
WRITE(*,*)'TOPUK NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DST – kN/m**2)= ',DST
GO TO 130

```

**C EKSANTRISITENİN CEKIRDEK SINIRINDA OLMASI DURUMUNDA MAXIMUM,
C MINIMUM TABAN BASINCLARI, NET TABAN BASINCLARI VE GERİLME
C ARTISLARININ HESAPLANMASI**

```

90 IF (e.EQ.B/6) GO TO 100
GO TO 110
100 WRITE(*,*)'EKSANTRISITE CEKIRDEK SINIRINDADIR'
SMAX=(2*TOPN)/B
WRITE(*,*)'MAXIMUM TABAN BASINCI (SMAX – kN/m**2) = ',SMAX
SMAX N=((SMAX)-(DF*GAMA))
WRITE(*,*)'MAXIMUM NET TABAN BASINCI (SMAX N – kN/m**2) = ',SMAX N
WRITE(*,*)'SMIN=0'
WRITE(*,*)'MINIMUM TABAN BASINCI (SMIN – kN/m**2) = ',SMIN
X1=B
ALFA=ATAN(X1/z)
S2B=SIN(2*BETA)
DSB=(SMAX N/PI)*(((X1/B)*ALFA)-(0.5*S2B))
WRITE(*,*)'BURUN NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSB–kN/m**2)= ',DSB
X2=B
ALFA=ATAN(X2/z)
SA=SIN(ALFA)
CA2B=COS(ALFA+(2*BETA))
DST=((SMAX N N/PI)*((ALFA)+(SA*CA2B)))-(DSB)
WRITE(*,*)'TOPUK NOKTASINDAKI DUSEY GERILME ARTISI (DST – kN/m**2) = ',DST
GO TO 130

```

**C EKSANTRISITENİN CEKIRDEK DISINDA OLMASI DURUMUNDA MAXIMUM,
C MINIMUM TABAN BASINCLARI, NET TABAN BASINCLARI VE GERİLME
C ARTISLARININ HESAPLANMASI**

```

110 IF (e.GT.B/6) GO TO 120
120 WRITE(*,*)'EKSANTRISITE CEKIRDEK DISINDADIR'

```

Ek – 1'in devamı

```

s=3*((B/2)-e)
SMAX=(2*TOPN)/s
WRITE(*,*)'MAXIMUM TABAN BASINCI (SMAX - kN/m**2 ) = ',SMAX
SMAX N=((SMAX)-(DF*GAMA))
WRITE(*,*)'MAXIMUM NET TABAN BASINCI (SMAX N – kN/m**2) = ',SMAX N
X1=s
ALFA=ATAN(X1/z)
S2B=SIN(2*BETA)
DSB=(SMAX N/PI)*(((X1/B)*ALFA)-(0.5*S2RB))
WRITE(*,*)'BURUN NOKTASI ALTINDA DUSEY GERILME ARTISI (DSB -kN/m**2) =',DSB
X2=s
ALFA=ATAN(X2/z)
SA=SIN(ALFA)
CA2B=COS(ALFA+(2*BETA))
DSs=((SMAX N N/PI)*((ALFA)+(SA*CA2B)))-(DSB)
WRITE(*,*)'s NOKTASINDAKI DUSEY GERILME ARTISI (DST – kN/m**2) =',DSs

```

C OTURMALARIN HESAPLANMASI

```

130 DHB=MV*H*DSB
WRITE(*,*)'BURUN NOKTASININ OTURMASI (DHB - metre) = ',DHB
IF(e.GT.B/6) GO TO 135
DHT=MV*H*DST
WRITE(*,*)'TOPUK NOKTASININ OTURMASI (DHT - metre) = ',DHT
135 DHs=MV*H*DSs
WRITE(*,*)'s NOKTASININ OTURMASI (DHT - metre) = ',DHT

```

C BULUNAN DEGERLERIN IZIN VERILEBILIR DEGERLER ILE KARSILASTIRILMASI

```

IF(DHB.LE.(0.13) GO TO 140
GO TO 190
140 IF((DHB-DHT).LE.(0.08)) GO TO 150
GO TO 190
150 IF(e.LT.B/6) GO TO 160
IF(e.EQ.B/6) GO TO 160
GO TO 170
160 AD=(DHB-DHT)/B
WRITE(*,*)'ACISAL DISTORSIYON (AD) =',AD
GO TO 180
170 AD=(DHB-DHs)/s
WRITE(*,*)'ACISAL DISTORSIYON(AD)=' ,AD
180 IF (AD.LE.1./300.) GO TO 200
190 WRITE(*,*)'OTURMA DEGERLERI IZIN VERILEBILIR DEGERLERI ASIYOR'
200 STOP
END

```

ÖZGEÇMİŞ

1978 'de Trabzon'da doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Trabzon'da okudu. 1997 yılında Trabzon Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 1998 'de Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2002 yılında mezun oldu. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.

Yüksek Lisans eğitiminin ilk yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Yabancı Diller Bölümü'nün İngilizce muafiyet sınavını vererek, İngilizce hazırlık programından muaf oldu. 2006 yılında inşaat mühendisliği bölümüne araştırma görevlisi olarak atandı. Yüksek lisans derslerini takiben “ Kohezyonlu Zeminlerde Dayanma Duvarlarının Konsolidasyon Oturmalarının Hesaplanması” konulu tez çalışmasını yürütmüştür. İngilizce bilmektedir.