

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK VE STATİK YÜKLER ALTINDAKİ
DAVRANIŞLARI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş.Müh. Halil BİLGİN

**AGUSTOS 2006
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**İSTİNAT DUVARLARININ DİNAMİK VE STATİK YÜKLER ALTINDAKİ
DAVRANIŞININ ANALİZİ**

İnş.Müh. Halil BİLGİN

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

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.07.2006
Tezin Savunma Tarihi : 21.08.2006**

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Vefa AKPINAR

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Fikri BULUT

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

İstinat duvarlarının dinamik ve statik yükler altındaki davranışlarını inceleyen bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmayı bana önererek yoğun iş temposuna rağmen tezimin her aşamasında ilgisini esirgemeyen, bana her konuda yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım yönetici hocam, değerli büyüğüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Zekai ANGIN' a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Lisans ve Yüksek Lisans öğrenimim boyunca üzerimde emeği olan, Geoteknik Anabilim Dalındaki hocalarım başta olmak diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmalarım sırasında bana her zaman yardımcı olan başta Arş. Gör. Gökhan DEMİR, Arş. Gör. Erol ŞADOĞLU' na, Arş. Gör. Barış YILDIZ ve Abım Sinan BİLGİN' e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven ve sevgi veren, maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiren, bütün zorluklara katlanarak yetişmemede emeği geçen başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme şükranlarımı sunarım.

Halil BİLGİN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. İstinat Duvarı Türleri.....	2
1.2.1.1. Kargir İstinat Duvarı.....	3
1.2.1.2. Ağırlık İstinat Duvarı.....	4
1.2.1.2.1. Yarı Ağırlık İstinat Duvarı.....	4
1.2.1.3. Konsol İstinat Duvarı.....	5
1.2.1.4. Payandalı İstinat Duvarı.....	6
1.2.1.5. Kafes İstinat Duvarı.....	6
1.2.1.6. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları ve Köprü Yaklaşım Duvarlar.....	7
1.3. İstinat Duvarına Etkiyen Kuvvetler.....	8
1.3.1. Sismik Toprak Basıncı.....	8
1.3.2. Aktif Toprak Basıncı.....	9
1.3.3. Pasif Toprak Basıncı.....	11
1.3.4. Coulomb Toprak Basıncı Teorisi.....	12
1.3.5. Rankine Zemin Basıncı.....	16
1.3.6. Yatay Basıncıların Hesabında Grafik Yöntemler.....	18
1.3.6.1. Culmann Yöntemi.....	18
1.3.6.2. Kayma Yüzeyinin Logaritmik Spiral Olması Hali.....	22
1.4. İstinat Duvarlarının Stabilitesi.....	23
1.4.1. Devrilme Tahkiki.....	25

1.4.2.	Kayma Tahkiki.....	26
1.4.3.	Temel Tabanı Altındaki Zemin Gerilmelerinin Tahkiki.....	27
1.4.4.	Duvarların Ön Tasarımı.....	29
1.4.5.	Ağırlık Duvarının Projelendirilmesi.....	31
1.4.6.	Konsol Duvarın Projelendirilmesi.....	34
1.4.7.	Payandalı İstinat Duvarlarının Projelendirilmesi.....	35
1.4.8.	İstinat Duvarlarının Drenaj ve Arka Dolgusu.....	36
1.5.	İstinat Duvarlarına Etkiyen Statik Ve Dinamik Toplam Zemin Basınçlarının Hesabı.....	38
1.5.1.	Mononobe-Okabe Yöntemi.....	39
1.5.1.1.	Mononobe-Okabe Yöntemi ile Toplam Aktif Zemin Basıncının Bulunması	40
1.5.1.2.	Zemin Üst Yüzeyinde Düzgün Yayılı Yük Olması Durumunda Mononobe-Okabe Yöntemi İle Toplam Aktif Zemin Basıncının Bulunması	45
1.5.2.	Steedman – Zeng yöntemi.....	46
1.5.3.	Deprem Yönetmeliği.....	49
1.5.4.	Richards – Elms Yöntemi.....	53
1.5.5.	Seed ve Whitman Yöntemi.....	55
1.5.6.	Wood Yöntemi.....	56
1.5.7.	Whitman – Liao Yöntemi.....	58
1.5.8.	Nadım – Whitman Yöntemi.....	59
15.9.	Eurocode-2004 yöntemi.....	60
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	64
2.1.	Çalışmalarda Kullanılan Programın Tanıtılması.....	64
2.2.	Yapılan Sayısal Analizler.....	65
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	77
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	79
5.	KAYNAKLAR.....	82
6.	EKLER.....	85
7.	ÖZGEÇMİŞ.....	90

ÖZET

İstinat duvarları, özellikle dolgu ve şev eteklerinin tutulması, yarma şevlerinde erozyon ve kayma sonucu meydana gelebilecek oyulma, çökme ve dökülmelerin önlenmesi amacıyla yol inşaatında sık kullanılan çok önemli bir yapı türüdür. Bundan dolayı istinat duvarlarında yapılan analizlerin güvenilir ve hızlı bir şekilde yapılarak, yapılacak yapının güvenli olup olmadığının tespit edilmesi gerekir.

Bu tez çalışmasında, ilk olarak İstinat duvarlarının arkasındaki zeminden kaynaklanan statik ve dinamik toplam zemin basınçları ile su etkisinden kaynaklanan hidrodinamik basınç etkilerinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler anlatılmıştır.

Daha sonra, depremsiz ve depremlı durumlarda ayrı ayrı olmak üzere, istinat duvarının kayma, devrilme, taban basıncı ve göçmeye karşı güvenliklerini sağlayacak şekilde tasarımı gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirmeye çalışılmıştır. Program yardımı ile çok kısa bir zaman dilimi içerisinde İstinat Duvarları'nın tasarımı gerçekleştirebilmek mümkün olabilmektedir.

Betonarme istinat duvarlarının el ile hesabı zor olmamakla birlikte hesabın değişik boyutlar için tekrarlanması oldukça zaman alıcı olabilir. Bundan dolayı el ile hesaplarda maksimum oranda ekonomikliği yakalamak büyük oranda tecrübeye dayanmaktadır. İstinat duvarının tasarımı esnasında amacımız emniyetli tarafta kalmak koşuluyla en ekonomik çözümü elde etmek olmalıdır. Kazı, dolgu ve duvar malzemesi açısından en ekonomik çözümü değişik verilerden elde edilen bulguların karşılaştırmasıyla bulabiliriz.

Hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla her çeşit istinat duvarının deprem etkileri göz önüne alınarak veya deprem etkileri göz önüne alınmadan tasarımı gerçekleştirilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler :İstinat duvarı, Devrilme, Göçme, Hidrodinamik Basınç, Kayma, Taban Basıncı

SUMMARY

Behaviour of Retaining Walls Under Static and Dynamic Loads

Retaining walls that are used especially to hold the earth fillings and slopes and to prevent carving, collapsing and falling stones resulting from the landslide of excavated cuts; are very important structures which are very often used in highway constructions. Because of this the analyses of retaining walls should be made quickly and reliably to determine whether the wall under construction is safe enough.

In this thesis, initially, methods used for calculating static and dynamic total earth pressures and water induced hydrodynamic pressure effects were given.

Then, study a computer program is developed to carry out the safety checks against sliding, overturning, bottom pressure and overall stability with and without earthquake. With the aid of pressure program the design of retaining walls can be achieved within a short period of time.

The manual design procedure of reinforced concrete retaining walls may not be very difficult but the repetition of the procedure with different dimensions may be difficult and time consuming. Therefore, the most economical manual design of retaining walls depends on experience. In the design of retaining walls the main purpose is to obtain the most economical solution which at the same time satisfies the safety criterions. From the view point of excavation, filling and wall materials the most economical solution can be obtained by comparing the results of different computations.

Using the present computer the design of everything retaining walls can be carried out by including the earthquake action.

Key Words :Retaining walls, Overturning, Sliding, Hydrodynamic Pressure, Overall, Bottom Pressure

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Kütle olmayan istinat duvarları.....	2
Şekil 2. Ağırlık tipi dayanma duvarları.....	4
Şekil 3. Yarı ağırlık tipi dayanma duvarı.....	5
Şekil 4. Konsol istinat duvarları ve ana donatıların yerleştirilmesi.....	5
Şekil 5. Payandalı istinat duvarları.....	6
Şekil 6. Kafes istinat duvarları.....	7
Şekil 7. Köprü yaklaşım duvarı:(şematik görünüm).....	7
Şekil 8. Elastik ve plastik denge durumunun gösterimi.....	10
Şekil 9. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif basınç değerleri....	12
Şekil 10. Göçme için tahmin edilen durumlar.....	14
Şekil 11. Pasif basınçtaki göçme kaması ve etkiyen kuvvetler	16
Şekil 12. Rankine çözümünde dikkate alınan durum.....	17
Şekil 13. Culmann çizimiyle aktif kuvvet hesabı.....	19
Şekil 14. Aktif kuvvetin etkime noktasının bulunması.....	19
Şekil 15. Kohezyonlu zemin aktif basıncının deneme kamasıyla bulunması.....	21
Şekil 16. Logaritmik spiral kayma yüzeyli deneme kaması.....	23
Şekil 17. İstinat duvarına etki eden yükler.....	24
Şekil 18. Devrilmeye karşı stabilite.....	25
Şekil 19. Duvarın kaymaya karşı stabilitesi.....	27
Şekil 20. İstinat duvarının temel tabanı altında meydana gelen zemin gerilmeleri.....	28
Şekil 21. Ağırlık İstinat duvarında ön boyutları.....	30
Şekil 22. Konsol duvarda ön boyutlar.....	30
Şekil 23. Payandalı duvarın ön boyutları.....	31
Şekil 24. Ağırlık duvarında kuvvetler.....	34
Şekil 25. Konsol duvarda kuvvetler.....	35
Şekil 26. Payandalı duvarda kuvvetler.....	36
Şekil 27. Yer altı su seviyesinin temel üzerinde olması durumuna ilişkin drenaj örneği	37
Şekil 28. İstinat duvarlarında çeşitli drenaj uygulamaları.....	38
Şekil 29. Aktif durum için Mononobe-Okabe yönteminde zemin kamasına etkiyen kuvvetler.....	41

Şekil 30. Aktif durum için Mononobe-Okabe yönteminde kuvvet poligonu.....	42
Şekil 31. Zemin üst yüzeyinde düzgün yayılı yük olması durumunda Mononobe-Okabe yönteminde zemin kamasına etkiyen kuvvetler.....	46
Şekil 32. Steedman – Zeng yöntemi için duvar geometrisi ve notasyon.....	46
Şekil 33. $k_h=0,2$ ve $H/\lambda=0,3$ kabul ederek, M-O ve Steedman –Zeng yöntemleri için normalize edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması.....	48
Şekil 34. $k_h=0,2$ için maksimum dönme momenti anında dinamik itkinin yeri.....	49
Şekil 35. Yerçekimi ivmesi ve psödo – statik ivmeler etkisi altındaki ağırlık duvarı...	54
Şekil 36. Kritik yenilme düzleminin belirlenmesinde kullanılan amprik yaklaşım.....	56
Şekil 37. Wood’ un (1973) rijit istinat duvarı modeli.....	57
Şekil 38. Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz itki faktörü	58
Şekil 39. Toprak basıncı katsayılarının hesabında kullanılan açılar için kurallar.....	63
Şekil 40. “1” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	65
Şekil 41. “2” No’lu analize ait ağırlık istinat duvarı tasarımı.....	66
Şekil 42. “3” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	67
Şekil 43. “4” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	68
Şekil 44. “4” No’lu analiz sonucunda statik durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye ki değişim.....	68
Şekil 45. “4” No’lu analiz sonucunda dinamik durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye ki değişim.....	69
Şekil 46. “4” No’lu analiz sonucunda eurocode - 2004 durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye ki değişim.....	69
Şekil 47. “5” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	70
Şekil 48. “6” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	74
Şekil 49. “6” No’lu analiz sonucunda içsel sürtünme açısı ile yatay gerilmenin değişimi	75
Şekil 50. “7” No’lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı.....	75
Şekil 51. “10” No’lu analiz sonucunda duvar yüksekliği ile yatay gerilmenin değişimi	76

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Aktif durumu olan duvar hareketi.....	8
Tablo 2. Taban zemini için sürtünme katsayıları.....	27
Tablo 3. Taban zeminin kohezif mukavemetleri.....	27
Tablo 4. Etkin yer ivmesi katsayısı.....	52
Tablo 5. Bina önem katsayısı.....	52
Tablo 6. yatay sismik katsayı k_h hesabında kullanılacak r değerleri.....	60
Tablo 7. “2” No’ lu analiz sonuçları	66
Tablo 8. “3” No’ lu analiz sonuçları	67
Tablo 9. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.40, I : 1.0 için).....	70
Tablo 10. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.30, I : 1.0 için).....	71
Tablo 11. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.20, I : 1.0 için).....	71
Tablo 12. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.10, I : 1.0 için).....	72
Tablo 13. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.40, I : 1.2 için).....	72
Tablo 14. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.30, I : 1.2 için).....	73
Tablo 15. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.20, I : 1.2 için).....	73
Tablo 16. “5” No’ lu analiz sonuçları (A_0 : 0.10, I : 1.2 için).....	74

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0	: Etkin yer ivmesi Katsayısı
a_{\max}	: Pik yer ivmesi
a_h	: Maksimum yatay zemin ivmesi
a_v	: Maksimum düşey zemin ivmesi
a_y	: Duvar arka dolgu sisteminin yenilme ivmesi
c	: Zeminin kohezif direnci
Ch	: Yatay zemin ivmesi katsayısı
C_s	: Kayma yüzeyindeki yapışma kuvveti
C_v	: Düşey zemin ivmesi katsayısı
C_w	: Kamaların duvara yapışma kuvveti
$C_{h.W}$: Yatay yöndeki zemin atalet kuvveti
$C_{v.W}$: Düşey yöndeki zemin atalet kuvveti
E_{AE}	: Maksimum dinamik aktif toprak basıncı
e	: Yük eksantrikliği
E_{wd}	: Hidro-dinamik su kuvveti
E_{ws}	: Static su kuvveti
F_K	: Sürtünme katsayısı
F_M	Boyutsuz moment faktörü
F_p	: Boyutsuz itki faktörü
g	Yerçekimi ivmesi
G_D	: Devrilme için güvenlik katsayısı
G_K	: Kayma için güvenlik katsayısı
H	: İstinat duvarının yüksekliği
I	: Yapı önem katsayısı
\dot{I}	: Zeminin üst yüzeyinin yatay ile yaptığı açısı
K	: Toprak basıncı katsayısı (statik + dinamik)
K_a	: Statik aktif toprak basıncı katsayısı
K_p	: Statik pasif toprak basıncı katsayısı
K_{at}	: Dinamik aktif toprak basıncı katsayısı
k_h	: Yatay sismik katsayı

k_v	: Düşey sismik katsayı
L_b	: Duvarın temel genişliği
M_{DA}	: A noktasına göre devirici kuvvetlerin momenti
M_{KA}	: A noktasına göre devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momenti
N_{G1}	: Duvar gövdesinin ağırlığı
N_{G2}	: Duvar temelinin ağırlığı
N_z	: Duvar tabanı üzerindeki zemin ağırlığı
P_a	: Toplam statik aktif zemin basıncı
P_h	: Aktif Duvar Basıncının yatay bileşkesi
P_v	: Aktif Duvar Basıncının düşey bileşkesi
P_p	Toplam statik pasif zemin basıncı
P_{at}	: Toplam aktif zemin basıncının
P_{ad}	: Toplam deprem yükü
q	: Duvar arkasında bulunan sürsaj yükü
r	: Spiralın yarıçapı
r_o	: Spiralın başlangıç yarıçapı
R_{at}	: Göçme düzlemi boyunca yüzey sürtünme ve normal kuvvetlerinin bileşkesi
v_{max}	: Pik yer hızı
W	: Zemin kamasının ağırlığı
ΣF_z	: Duvara etkiyen düşey kuvvetler toplamı
ΣF_R	: Kaymaya karşı koyan toplam kuvvet
ΣM_{devir}	: Devirici moment toplamı
ΣM_o	: Duvara tesir eden yüklerin O noktasına göre toplam momenti
ΣN	Duvara tesir eden düşey yüklerin toplamı
ΔM_{eq}	: Taban etrafında oluşan maksimum sismik moment
ΔP_{eq}	: Ek dinamik itki
γ'	Zeminin batık birim hacim ağırlığı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
β	: Duvar arkası zemin yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açı
ϕ	: Zeminin içsel sürtünme açısı
θ	: Duvar yüzünün yatayla yapmış olduğu açı
μ	: Taban zemini için sürtünme katsayısı

- α : Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı
 δ : Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı
 σ : Zeminden kaynaklanan ve istinat duvarı üzerine etkileyen zemin basıncı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yapıların çevresinin güvenliğinin sağlanması, düşey kazıların güvenliğinin sürekli ya da geçici sağlanması, toprak basıncının karşılanması amacıyla oluşturulan dayanma yapıları binaların mühendisliği ile başlamıştır. Basit dayanma yapılarından çok amaçlı elemanlara geçmişte tarih öncesine gider. Köprü ayakları gibi derin kazıları gerektiren çalışmalarda zemine iki sıra bambu kazıklar çakıp su sızıntısını durdurmak için arayı kille doldurmak yönteminin Çin'de Han sülalesi zamanında uygulanmış bir destek sistemi olduğu bilinmektedir.

Orta çağdan başlayarak derin siperlerin dayanma yapılarıyla desteklenmesi askeri mühendislerinin sürekli uğraştıkları bir konu olmuştur. Sonradan, binalar yanında, su yapılarında yükseklikleri 10m yi geçen dayanma duvarlarının yapılması zemin mühendisliğinde standart uygulama haline gelmiştir. Bu yapılarda beliren büyük toprak basınçları problemlerin bilimsel yöntemlerle çözümlenmesini kaçınılmaz hale getirdiğinden XVIII. Yüzyıldan başlayarak toprak basıncı teorilerinin geliştiği izlenmektedir. Bu gün de geniş uygulaması süren Coulomb ve Rankine teorileri uzun bir geçmişe dayanmaktadır.

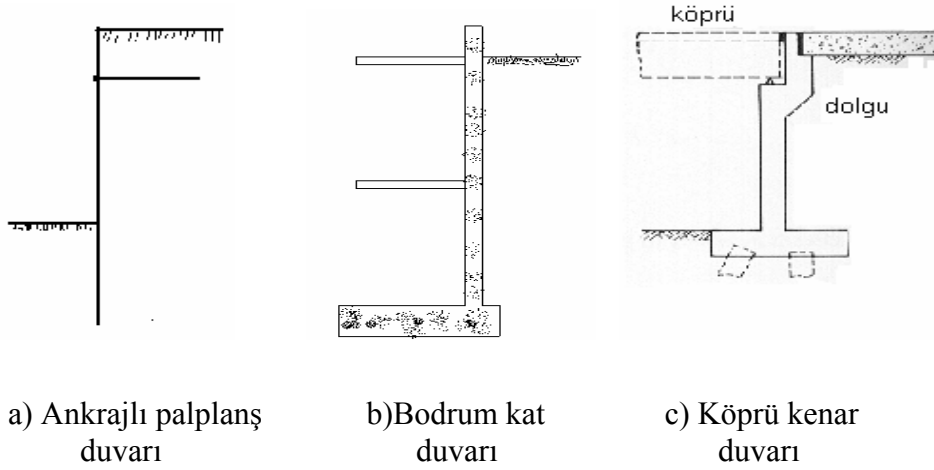
Genel tarifıyla dayanma duvarı, zeminin seviye farklarının korunması için kullanılan bir yapıdır. Diğer tarifıyla zemin, cevher, su gibi malzemelerin uzun sürede doğal eğimlerini almamaları için zeminin önüne ağır blokların basınca karşı koyacak miktarda yerleştirilmesi düşünülmüş ve uygulama yüzyıllar boyunca sürdürülmüştür. Çimentonun endüstriye sunulmasıyla harçlı örme duvarlar, sonra da beton ve betonarme duvarların yapımına geçilmiştir.

Esnek dayanma yapıları su yapılarında oluşturulması gerekli duvarda kazı zorluğundan doğmuştur. Zemine çakılan elemanın istenen yanlarının kazısı ya da doldurulmasıyla yukarıda açıklanan seviye farkı sağlanabilmiştir. Perde duvar (palplanş) olarak adlandırılan bu elemanlar çok hafif, ekonomik ve birçok kez kullanılabilir olmaları nedeniyle bugün kuru inşaatta da çokça kullanılır duruma gelmiştir.

İstinat duvarlarını kütle istinat duvarları ve kütle olmayan istinat duvarları olarak iki kategoride inceleyebiliriz.

Kütle istinat duvarları kendi ağırlıkları ile stabiliteyi sağlarlar. Duvar gövdesi değişik şekil ve kombinasyonlar da inşa edilebilir. Yapının gövdesi, beton kütle, betonla birlikte zemin veya sadece zemin şeklinde oluşturulabilir. Bu duvarlar rijit veya bükülebilir olarak sınıflandırılabilir. Bu tip duvarların hepsi üstten serbest olup deplasmana müsaittir, bu nedenle de aktif toprak basıncı kolayca oluşur.

Kütle olmayan duvarlarda ise harekete izin verilemez. Bodrum duvarları, köprü girişi ayakları ve ankrajlı duvarlar bu tipi oluştururlar. Şekil 5’de görüldüğü gibi ankrajlı beton perde duvarlar henüz inşaat aşamasında iken toprak tutacak şekilde inşa edilirler.



Şekil 1. Kütle olmayan istinat duvarları

1.2. İstinat Duvarı Türleri

- a.Kargir İstinat Duvarı
- b.Ağırlık İstinat Duvarı
- c.Konsol İstinat Duvarı
- d.Payandalı İstinat Duvarı
- e.Kafes İstinat Duvarı
- f.Yarı Ağırlık İstinat Duvarları ve Köprü Yaklaşım Duvarlarıdır.

1.2.1.1. Kargir İstinat Duvarı

Kargir istinat duvarları taştan yapılan duvarlardır. Taşların arasında harç kullanılırsa “Harçlı İstinat Duvarları”, harç kullanılmazsa “Kuru Kargir İstinat Duvarları” ya da “Kuru Duvar” adı verilir.

Kargir istinat duvarlarında kullanılacak taşın fiziksel ve geometrik nitelikleri şartnamelerde belirtilmiştir. Bu taşlar genellikle homojen sağlam, sık kristalli, sert, aşınma ve donmaya ya da başka hava etkilerine de dayanıklı olmalıdır. Bünyesinde çürük damarlar ve çatlaklar içermemelidir. Yapraklı olmamalıdır. Taşların anormal hafif olmaması gerekli. Duvar ağırlık kitlesi olduğuna göre yoğun taşlar kullanılmalıdır. Yollar fenni şartnamesine göre taşların yoğunluğu 2 ton/m³ den az olmamalıdır. Taşların kalınlığı 15 cm’ den genişliği kalınlığının 1.5 katından , uzunluğu ise genişliğinin 1.5 katından az olmamalıdır. Taşların yüzeyleri yuvarlak konveks yüzeyler halinde olmalıdır. Taş kenar çizgilerinde yüzeylerin birleşmeleri keskin köşeler meydana getirmemelidir.

Harçlı adi kargir istinat duvarları;

Moloz taş duvar ve çaplanmış moloz taş duvar olarak ikiye ayrılır.

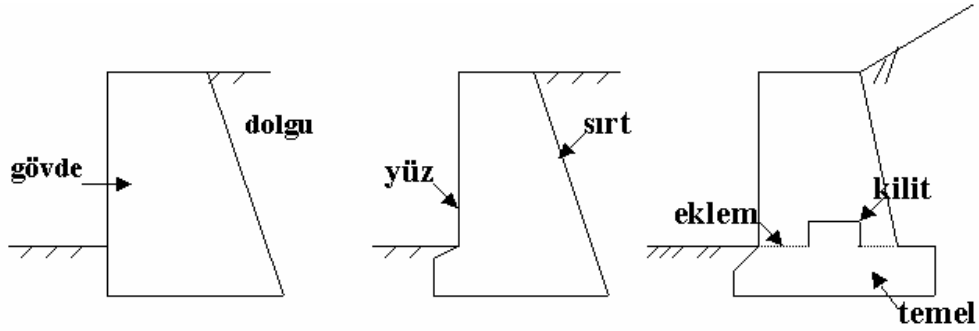
Duvarda taşların derzleri uzun düzey hatlar oluşturmamalıdır. Bunun için taşlar arasındaki derzler aşağıdan yukarıya şaşırtılmalıdır. Görünene yüzeydeki taşlar gerideki taşlara en az 25- 30 cm. girerek kenetlenmelidir. Bu geriye kenetlenme metrede en az iki kez yapılmalıdır. Bağlantı ve kenetlenme taşların yüzeyi yapının toplam yüzeyinin beşte birinden az olmamalı ve bunlar yapı yüzeyinde uniform biçimde dağıtılmalıdır.

Duvar yapımına başlamadan önce duvar enine kesitinin şekil, boyut, ölçü ve kotunda tahta kalıplar yapılır. Bunlara uygulamada “şablon” denir. Bu kalıplar ano başı olacak yerlerde ya da başka ara yerlerde duvar doğrultusuna dik, duvar enine kesiti doğrultusunda olmak üzere yerlerine dikkatle yerleştirilir. Bu kalıpların ön yüzeyleri arasına duvar yapımı sırasında ip çekilir. İp doğrultusu yataydır. Bu iplere “çırpı” denilir. Duvar yüzleri bu iplere teğet yapılır. Taşların ön yüzü bu iplere değer. Duvar yükseldikçe ipler kalıplara değmekte olarak yukarı çekilir. Duvar temelinde basamaklanmaların ya da taşıma gücü değişme noktalarının duvar yüksekliği ve genişliği değişme yerlerinin bulunduğu kesitlerde de şablonlar konarak duvar yapısında dilatasyon derzi oluşturulur. Bu derzler arasındaki duvar bölümlerine “ANO” denir. Anolar belirttiğimiz gerekçeler olmasa bile en çok on metre boyunda olmalıdır.

Duvar yüzlerinde taşlar arasındaki birleşimlerde derzler yapılır. Bu derz yerlerinde taş kenarlarının pürüzleri, küçük çıkıntı ve girintileri “keski ve murç” larla giderilir. Belirli derinliğe dek açılır. Böylece açılan yuvalara “fuga” denilir. Sonra fugalar harç ile doldurulur. Sonunda bu dolgunun yüzü çevresindeki taş yüzlerinden birkaç santimetre derinde bırakılır. Oyuğun kenarlarındaki çevre taşları kenarlarından yüzlerine dek sürdürülüp taş yüzlerinde çizgisine paralel birkaç santimetrelilik bir şerit oluşturulur. Derzlerin taş yüzlerinden çukurda yapılmış taş yüzlerinden ileri doğru çıkıntı olanlarına “kabarız derz” denir.

1.2.1.2. Ağırlık İstinat Duvarı

Yatay zemin basınçlarına karşı kendi ağırlıkları ile karşı koyarak dengeyi sağlayan ve genelde taş veya kütle beton ile inşa edilen duvarlardır.



Şekil 2. Ağırlık tipi dayanma duvarları

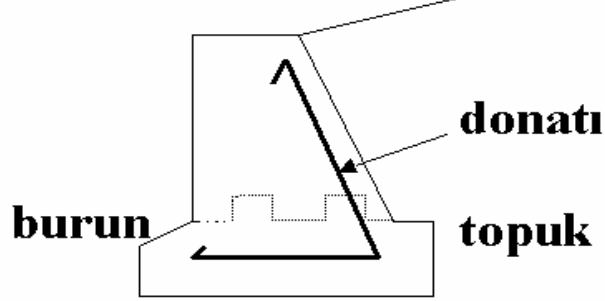
Toprak basıncına öz ağırlığıyla direnirler. Bu nedenle belirli yükseklikleri aşmamalıdır.

(4~5 m.) Yapıldığı malzemelerin özelliğine uygun olarak çekme gerilmesi almaması amaçlanır. Ağırlık duvarlarının diğer tiplere göre olumlu yanı kütlesi nedeniyle aşınma, paslanma hatta kısmi kırılmadan daha az etkilenmesidir.

1.2.1.2.1. Yarı Ağırlık İstinat Duvarı

Bunlarda da masif istinat duvarlarıdır. Genelde beton malzeme miktarını azaltmak için çekme gerilmelerinin meydana geldiği kısımlara az miktarda çelik donatı yerleştirilir.

Özellikle gövde belirgin oranda küçüldüğünden temel boyutu stabilitenin sağlanması için büyür.



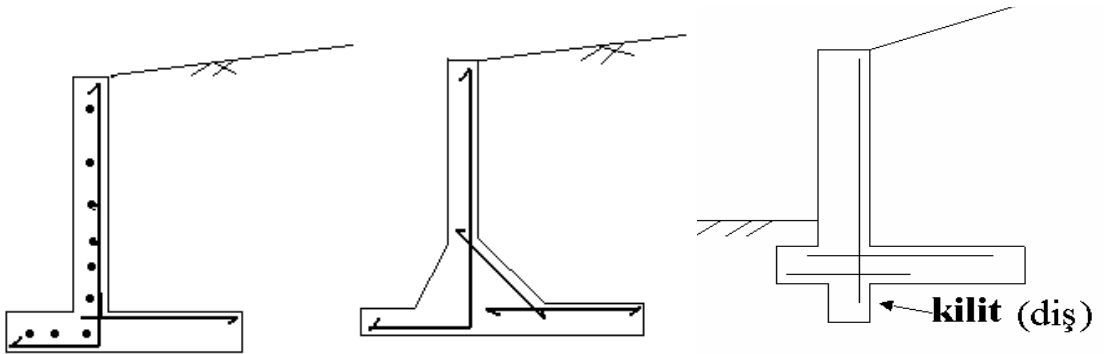
Şekil 3. Yarı ağırlık tipi dayanma duvarı

Ağırlık tipi duvarların olumsuz yanlarından biri dolguda beliren yer altı suyunun gereğince kurutulmamasıdır.

1.2.1.3. Konsol İstinat Duvarı

Genelde betonarme olarak yapılan ve yatay basınçlarda dengeyi bir konsol gibi çalışarak sağlarlar. Bu tip duvarlarla denge sağlanmaya çalışılırken dolgunun kendi ağırlığından da faydalanılır.

Konsol duvarın çok yüksek olacağı yerlerde yada yatay basınçların çok yüksek olduğu durumlarda payandalı duvarlar daha uygun olduğundan tercih edilmektedir. Bu tip istinat duvarlarında payandalar ve duvar bazı kesitlerinde çekme gerilmesi ile zorlanmaktadır.

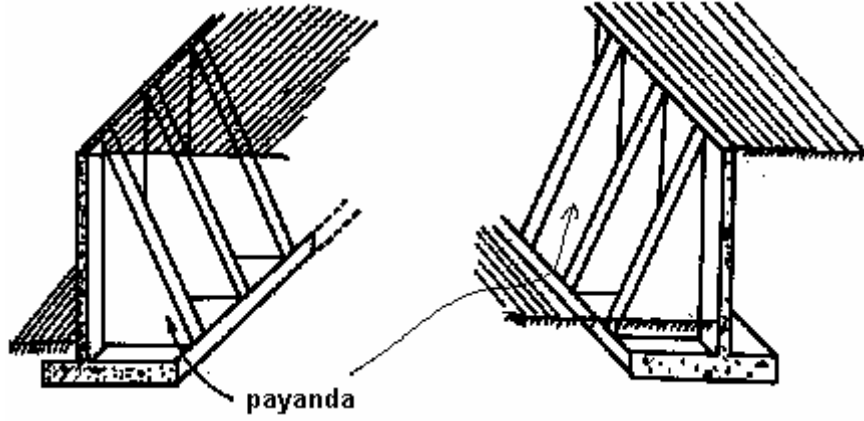


Şekil 4. Konsol istinat duvarları ve ana donatıların yerleştirilmesi

1.2.1.4. Payandalı İstinat Duvarı

Yüklerin artması ya da yüksekliğin konsol duvarlar için fazla olması durumunda payandalı tipine geçilebilir.

Şekil 5 'de görüldüğü gibi payandalarla güçlendirilmiş, yükseklikleri 8m'den 12m'ye kadar değişen konsol duvarlardır. Boyutlandırmaları konsol duvarlara benzer ve payanda aralıkları duvar yüksekliğine bağlı olarak $(1/3)$ ile $(1/2)H$ arasında değişir. Yüksekliğin 10m. Olduğu duvarlarda aralık bırakılma $(1/2)H$ seviyelerindedir. Bu duvarlarda devrilmeye ve kaymaya karşı direnç tabana ankraj yapılarak elde edilebilir.



Şekil 5. Payandalı istinat duvarları

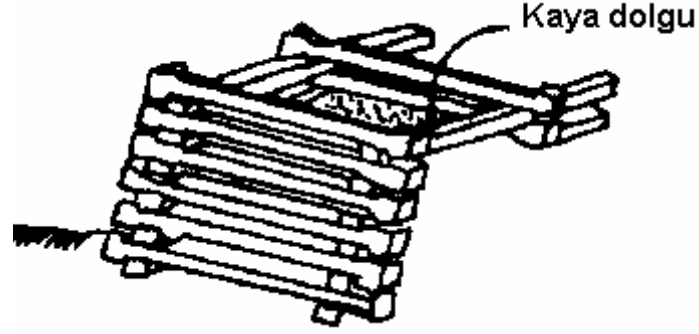
1.2.1.5. Kafes İstinat Duvarı

Prefabrike betonarme kiriş elemanların, istiflenerek yanları kapalı üstü açık sandık şeklindeki bölmeler, içi taş veya toprakla doldurularak teşkil edilirler.

Bu elemanlara bağlanan ankrajlar zemin kitlesi içine yerleştirilerek yatay basınçlara karşı denge sağlanır. Yarı-ağırlık istinat duvarları özellikleri ve fonksiyonları bakımından ağırlık istinat duvarları ile konsol istinat duvarları arasında olan yapılardır.

Kafes istinat duvarlarının stabilite hesapları öbür duvarlar gibidir. Bunların acele duvar yapmak ve destek sağlamak istenen bir yere yerleştirmek olanaklıdır. Özellikle aktif bir heyelan önüne duvar gerektiğinde heyelan eteği kısa anolar halinde temizlenir ve bu anolara hemen kafes konur böylece heyelan temizleme ekipleri başka anolara geçmek için uzun süre beklemek zorunda kalmazlar. Kendi bünyeleri içinde drenajı temin etmeleri, sökülüp takılabilir olmaları, tamamlanır tamamlanmaz yük taşıyabilir olmaları, küçük

oturmaldan etkilenmemeleri ve bakımlarının kolay olması gibi tercih edilebilecek üstünlükleri vardır.



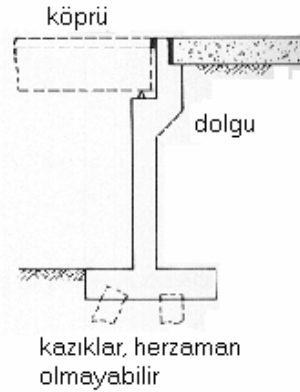
Şekil 6. Kafes istinat duvarları

1.2.1.6. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları ve Köprü Yaklaşım Duvarlar

Köprü yaklaşım duvarları; kanatları sayesinde köprüye yaklaşırken oluşturulmuş dolgunun erozyona uğramamasını sağlayan istinat duvarlarıdır. Bu tip duvarlar istinat duvarlarından iki bakımdan farklılık gösterirler.

- Tepe noktalarında köprüye mesnet teşkil ederler,
- Tepe noktasının mesnet olması nedeniyle yatay hareket etmelerine izin verilmez. Bunun için de yatay aktif basınçlar meydana gelmez.

Binaların bodrumlarının oluşturulmasında yapılan duvarlarda bir çeşit istinat duvarı gibi çalışırlar.



Şekil 7. Köprü yaklaşım duvarı: (şematik görünüm)

1.3. İstinat Duvarına Etkiyen Kuvvetler

Sismik basıncın istinat yapıları üzerindeki etkisi relatif sıklığa ve zemin ile beraber çalışmasına bağlıdır. Zemin – yapı etkileşimi iki kategoride tanımlanır.

1. Esnek yapılar zemin basıncını minimize etmeye kadar hareket etme eğilimindedirler, örneğin serbest duran istinat yapıları dibi.
2. Bodrum duvarları ve sabitleştirilmiş istinat duvarları gibi rijit yapılar.

Birinci durumda, aktif basınçlar meydana gelir ve hareket Tablo 1’ deki gibi oluşur. Duvar hareketinin miktarı temel sağlamlığına ve duvar esnekliğine bağlıdır. Kesin analizler yapılmalı ve aşağıdaki basınçlar kullanılmalıdır.

- Esneklik: Kaya olmayan malzemeye temellenmiş duvarlar veya 5m’den yüksek destek duvarları.

Tablo 1. Aktif durumu olan duvar hareketi (Dowrick, 1987)

ZEMİN	DUVAR HAREKETİ / YÜKSEKLİK
Kohezyonsuz, sıkı	0.001
Kohezyonsuz, gevşek	0.001- 0.002
Katı kil	0.01- 0.02
Gevşek kil	0.02- 0.05

- Orta durum: Kayaya temellenmiş 5m ‘den az yükseklikteki destek duvarlar.
- Rijit durum: Kayaya temellenmiş ağırlık duvarları ya da kazıkları (Dowrick, 1987).

1.3.1. Sismik Toprak Basınçları

Genel olarak, sismik kuvvetleri elde etmede tavsiye edilen ve ekivalan-statik katsayıları benimseyen metot kullanılmaktadır. Sadece çok nadir yapılarda sonlu elemanların kullanan dinamik analizler mevcuttur.

Ekivalan-statik metot’da, zemin kamasının ağırlığına eşit yanal deprem kuvveti sismik bir katsayı ile çarpılmakta ve bunun zemin ağırlık merkezine etkidiği farz edilmektedir. Bu deprem kuvveti duvar üzerindeki statik kuvvetlere ilave bir kuvvet oluşturur.

Genelde, bir deprem süresince duvar üzerine gelen toplam basınç aşağıdaki üç olası parçanın toplamıdır.

1. Ağırlık yüklerinden gelmesi beklenen statik basınç,
2. Depremden gelmesi beklenen dinamik basınç,
3. Dolguya bir dış kuvvetten gelebilecek basınç, örneğin: Monolitik bir köprü ayağında yatay sarsıntıdan oluşabilir.

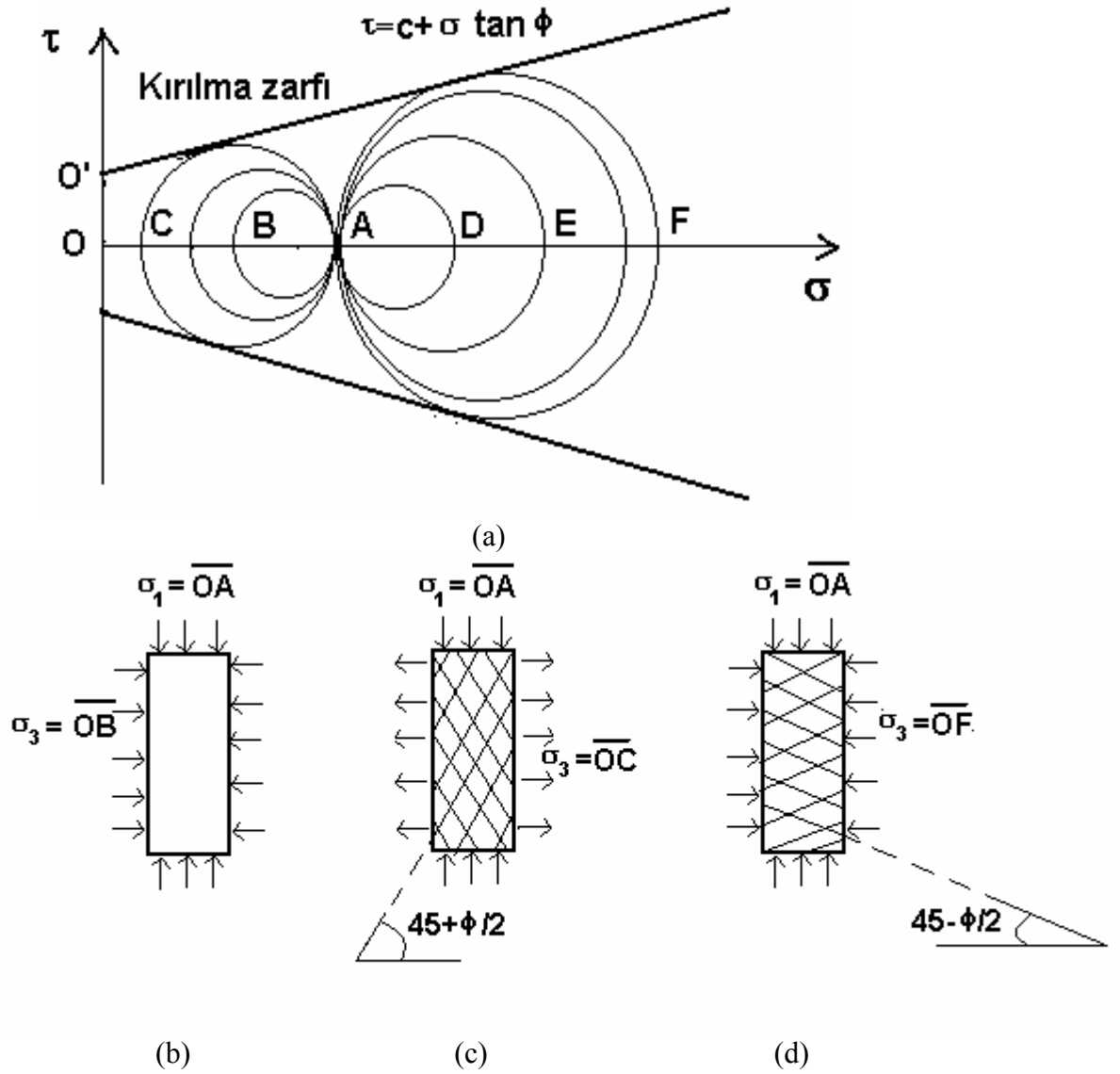
Zemin basınçları aşağıdaki metotlarla tahmin edilebilir:

1. Elastik teori,
2. Yaklaşık plastik teori, Coulomb ve Mononobe – Okabe.
3. Nümerik metotlar, zemini sonlu elemanlar olarak modelleyen metotlar.

Mononobe – Okabe metodunu kullanmak için efektif zemin ivmesi, yaklaşık olarak 0.3g kadar olmalıdır. Bu da kohezyonsuz zeminlerde statik basınca eşit bir deprem kuvveti meydana getirecek değerdedir. Bunun için makul depremlerde sağlam kalabilecek ve sismik olmayan duvar tasarımında 2.0 gibi bir güvenlik faktörü kullanılmaktadır.

1.3.2. Aktif Toprak Basıncı

Aktif toprak basıncı Şekil 8 a' da AC göçme dairesi ile verilen plastik denge durumunu gösterir. Şekil 8 b ve c' de gösterilen denge durumu aşağıdaki gibidir. Öncelikle OA ve OE gerilmeleri uygulanarak K_0 durumu elde edilir. Daha sonra OE (minimum) gerilmeleri Mohr dairesini oluşturmakta kullanılabilir. OA (maksimum) ve arasındaki fark ise daire çapı ve aynı zamanda deviatör gerilmesi olup laboratuarda üç eksenli gerilme deneyinden elde edilebilir. Şekil 8 b' deki zemin elemanını tanımlayan düşey ve yatay düzlemler K_0 durumundaki ana düzlemler olduğu için kayma çizgileri aşağıdaki gibi oluşur.



Şekil 8. Elastik ve plastik denge durumunun gösterimi

- Göçmeden önceki (elastik) ve göçme durumundaki (plastik) gerilme,
- OA sabit yüzey gerilmesinin başlangıç durumu
- Aktif toprak basıncı teorisi için kesme göçme yüzeyleri,
- Pasif toprak basıncı teorisi için kesme göçme yüzeyleri, c ve d' deki kayma çizgileri idealize edilmiştir (Bowles, 1982)

Minimum gerilme $OC = \sigma_3$ aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_3 = \sigma_1 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) - 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (1)$$

Bell tarafından verilen bu denklem 1776'da Coulomb tarafından belirgin bir şekilde değiştirilmiştir. Denklem Avrupa literatüründe tanjant fonksiyonu için aşağıdaki trigonometrik bağıntıyla verilmektedir.

$$\tan^2 \frac{\phi}{2} \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{\cos \phi} \quad (2)$$

$45 + \phi/2$ için işaretler ters olarak alınmalıdır.

Gerilmeyi her zaman deformasyon takip ettiği için Şekil 8'de b ve c' de görüldüğü gibi gerilme OB' den OC' e düştüğü zaman zemin yanal olarak genişler. Bu yanal genişleme kazılarda OB' nin OC' e değil de sıfıra eşit olduğu zamanlarda da görülür ve bu durum aynı zamanda K_o ' ın ölçülme zorluğunun da sebebidir.

Duvar arkasındaki basınç aktif duruma gelirse (minimum) duvar yanal olarak döner. Duvar beklenen değerlerde dönmezse bunun sonucunda daha fazla yanal basınç oluşacaktır. Herhangi ilave bir dönme aktif toprak basıncında düşmeye sebep olacaktır. Bu sebeple çoğu durumda aktif toprak basıncı duvar tasarımı için kritik bir değerdir.

1.3.3. Pasif Toprak Basıncı

Eğer Şekil 8 b' den (K_o durumu) başlarsak, OA' yı sabit tutarak yanal gerilme OB' i göçme gerilmesi OF' e getirirsek Şekil 8 a' daki OF dairesini oluşturmak için gerekli verileri elde ederiz. Bu ikinci göçme dairesi ile tanımlanan pasif toprak basıncı durumudur. Bu durumda AF uzunluğu deviatör gerilmeyi vermektedir. Kayma düzlemleri yatayla ϕ açısını yapmaktadır ki bu açı malzemenin sadece mekaniğiyle ilgilidir.

Ana gerilme $OF = \sigma_1$, aktif basınçtaki gibi Mohr dairesinden, aşağıdaki denklemle elde edilir.

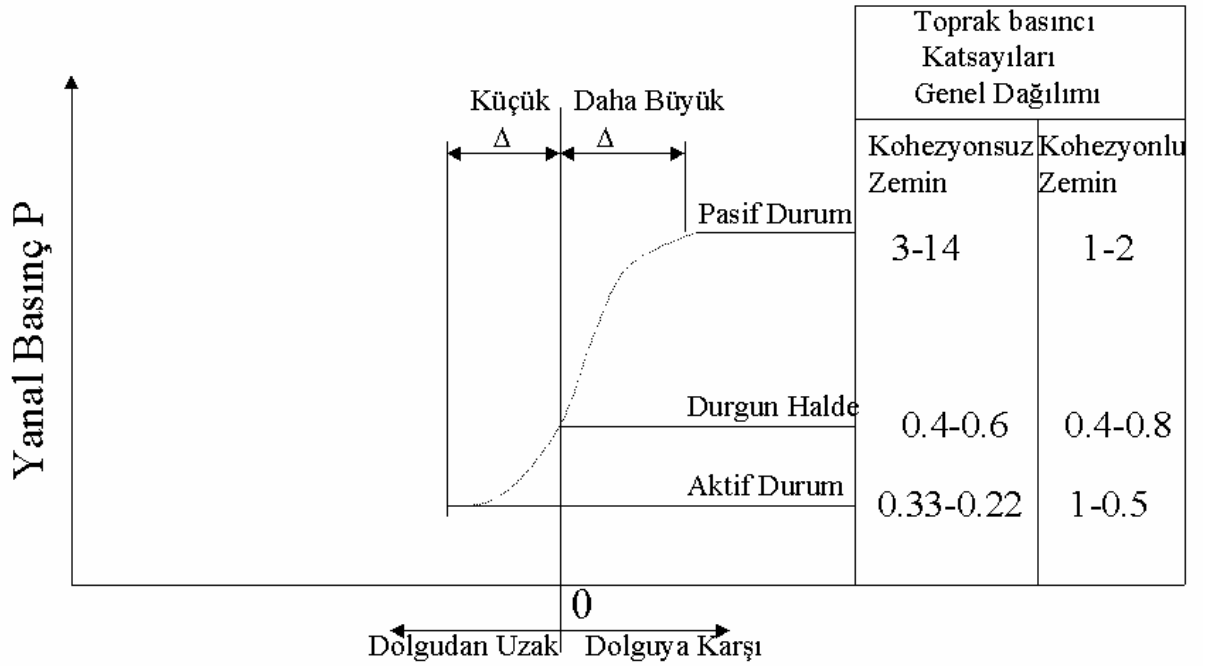
$$\sigma_1 = \sigma_3 \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) + 2c \tan \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (3)$$

pasif toprak basıncı, Şekil 8 b ve c' de görüldüğü gibi yanal basıncı OB' den OF' e arttırmak elde edilir. Bu duvarı yatay şekilde zemine itmeye hemen hemen aynıdır. Duvarlar nadiren pasif toprak basıncına göre tasarlanırlar (Bowles, 1982).

1.3.4. Coulomb Toprak Basıncı Teorisi

OA, Coulomb tarafından 1776' da sürülen toprak basıncı kabulleri (Coulomb toprak basıncı teorisi) şöyledir;

1. Zemin izotropik ve homojendir. Ayrıca içsel sürtünme ve kohezyonu da içermektedir.
2. Göçme yüzeyi düzlemseldir. Coulomb bunun böyle olmadığını fark etmiştir fakat hesapları kolaylaştırmak için kullanmıştır. Arka dolgu yüzeyi düzlemseldir.



Şekil 9. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif basınç değerleri (Bowles, 1982).

3. Sürtünme kuvvetleri göçme yüzeyine uniform bir şekilde dağılmıştır ve $\phi = \tan\phi$ (sürtünme katsayısı $=\phi$)
4. Göçme kaması rijid bir küttedir.
5. Duvar sürtünmesi vardır; göçme kaması duvar arkası boyunca hareket eder ve duvar sınırı boyunca sürtünme oluşturur.
6. Göçme düzlemsel bir eğilmedir, sonsuz uzun küttelin birim uzunluğu göz önüne alınacaktır.

Coulomb teorisindeki ana kusurlar ideal zemin kabulü ve göçme yüzeyinin düzlem tarif edilmesidir. Coulomb teorisine dayanan kohezyonsuz zemin için denklem Şekil 10' dan elde edilebilir. ABE zemin kamasının ağırlığı;

$$W = \gamma A(1) = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \quad (4)$$

Aktif kuvvet P_a , Şekil 10 c' de gösterilen ağırlık vektörünün bileşenidir. Sinüs kuralı uygulanırsa;

$$\frac{P_a}{\sin(\rho - \phi)} = \frac{W}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)}$$

Ve ya

$$P_a = \frac{W \sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)} \quad (5)$$

elde edilir.

(a) ve (b) denklemlerini birleştirirsek,

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2 \sin^2 \alpha} \left[\sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \right] \frac{\sin(\rho - \phi)}{\sin(180 - \alpha - \rho - \phi + \delta)} \quad (6)$$

ilk değişkeni sıfıra eşitlersek,

$$\frac{dP_a}{d\rho} = 0$$

P_a aktif kuvvetinin maksimum değeri

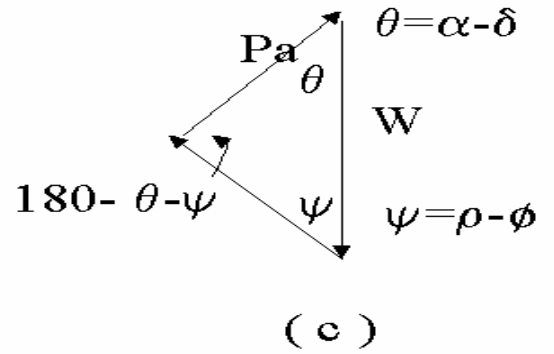
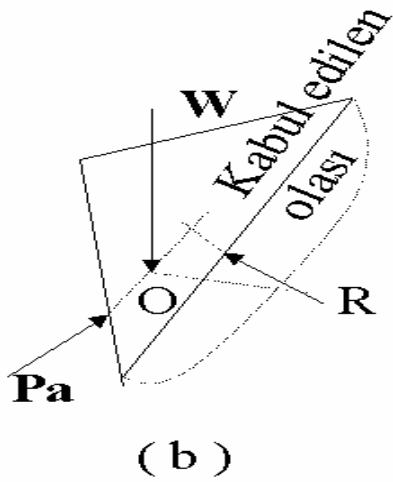
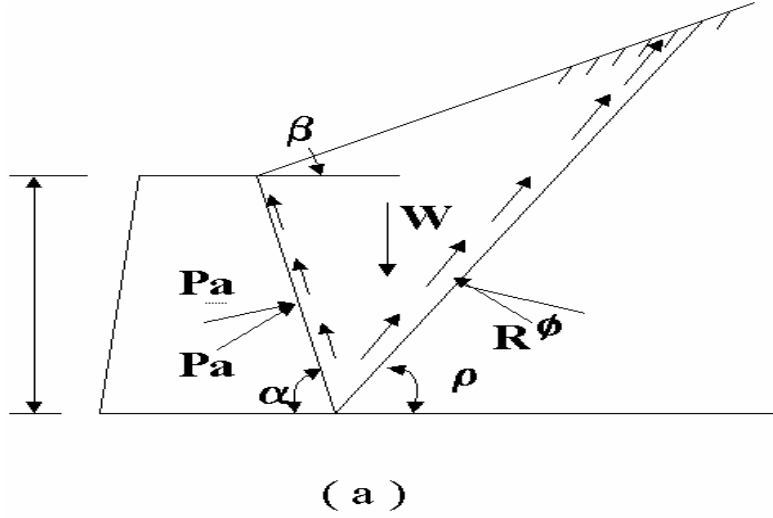
$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{\sin^2(\alpha + \beta)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (7)$$

bulunur.

Eğer $\beta = \delta = 0$ ve $\alpha = 90^\circ$ (düzgün düşey bir duvar ve yatay dolgu) olursa, denklem daha da basitleşerek,

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{(1 - \sin\phi)}{(1 + \sin\phi)} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (8)$$

haline gelir.



- Şekil 10. a) Göçme için tahmin edilen durumlar;
 b) Bileşik kuvvet denge sağlanmadığından O noktasından geçmez;
 c) P_a ' yi bulmak için kuvvet üçgeni oluşturulur (Bowles, 1982)

Denklem aktif toprak basıncı için Rankine' in de kabul genel hale getirilirse,

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

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (9)$$

olur. Pasif toprak basıncı da Şekil 10' da gösterilen duvarın eğimi ve kuvvet üçgeni dışında benzer şekilde elde edilir.

Şekil 10' dan tahmini göçme kütlesi ;

$$W = \frac{\gamma h^2}{2} \sin(\alpha + \rho) \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \quad (10)$$

ve kuvvet üçgeninden sinüs kuralı uygulanarak,

$$P_p = W \frac{\sin(\rho + \phi)}{\sin(180 - \rho - \phi - \delta - \alpha)} \quad (11)$$

bulunur.

$\frac{dP_p}{dP} = 0$ türevi P_p ' nin minimum değerini verir.

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

düzgün düşey bir yük ve yatay dolgu için ($\delta=0$ ve $\alpha=90^\circ$) denklem basitleşerek;

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{\gamma H^2}{2} \tan^2 (45 + \phi/2) \quad (13)$$

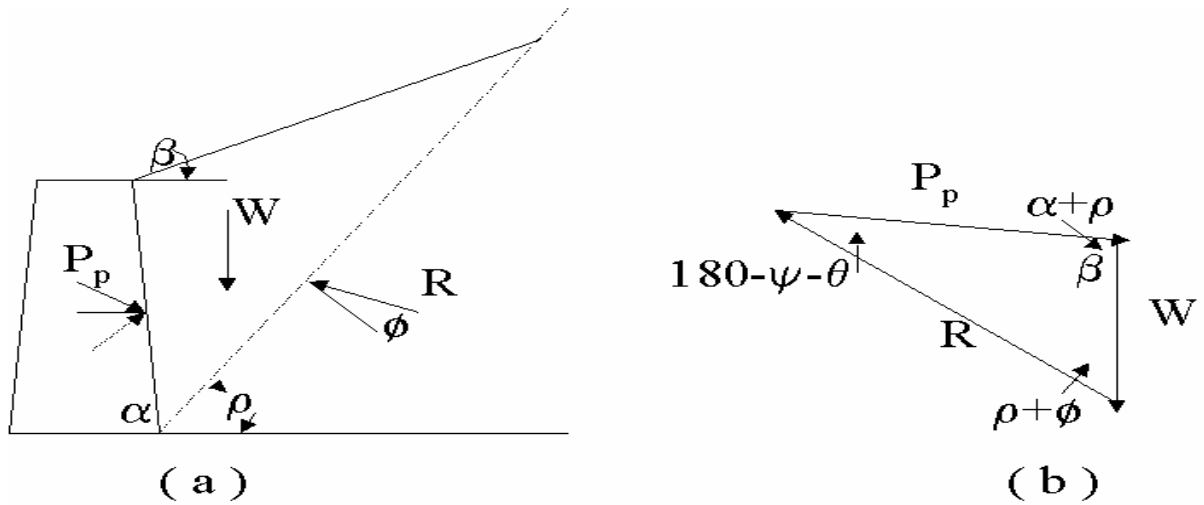
şeklini alır.

11 denklemi şu şekilde de yazılabilir.

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

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\phi + \beta)}} \right]^2} \quad (14)$$

Şekil 11 zemin basıncının toplam basınca değil, efektif gerilmeye bağlı olduğunu göstermektedir. Su tablasının altındaki duvar basıncı hidrostatik basıncın ve zeminin efektif birim ağırlığından (γ') oluşan yanal kuvvetlerin toplamıdır.



Şekil 11. a) Pasif basınçtaki göçme kaması ve etkiyen kuvvetler;
b) Pasif basıncı oluşturan kuvvet poligonu (Bowles, 1982)

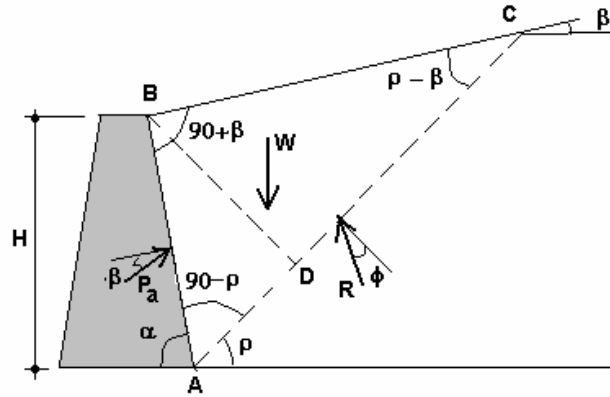
1.3.5. Rankine Zemin Basıncı

Rankine (1857) zemini plastik denge halinde düşünmüş ve Coulomb' la aynı varsayımları yapmıştır. Coulomb' dan farklı olarak Rankine kohezyonu ve duvar sürtünmesini göz önüne almayarak problemi daha basit hale getirmiştir.

Yapılan kabuller

1. Zemin kitlesi homojen ve izotropdur. Diğer bir deyişle, kohezyon "c", kayma direnci açısı " ϕ " ve birim hacim ağırlığı " γ " zemin kitlesinin her noktasında aynıdır.
2. Kayma yüzeyi düzlemseldir.
3. Zemin yüzeyi düzlemseldir.

4. Dayanma yapısı sonsuz uzunluktadır ve problem düzlemsel (iki boyutlu) olarak çözülebilir.
5. Dayanma yapısı aktif ya da pasif gerilmelerin oluşabileceği miktarda hareket etmektedir.
6. Dayanma yapısına etkiyen normal ve kayma gerilmelerinin bileşkesi, dolgu eğimine paralel olarak etkir.



Şekil 12. Rankine çözümünde dikkate alınan durum (Aytekin, 2004)

Şekil 12' deki kayma kamasının (ABC üçgeninin) alanı,

$$A = \frac{1}{2} H^2 \frac{\sin(90 - \rho) \sin(90 + \beta)}{\sin(\rho - \beta)} \text{ olarak geometrik ilişkilerden elde edilir.}$$

Kayma kamasının ağırlığı,

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{\cos \rho \cos \beta}{\sin(\rho - \beta)} \quad (15)$$

ve

$$P_a = W \frac{\sin(\rho - \beta)}{\sin(90 - \rho + \phi + \beta)} \quad (16)$$

olarak yazılabilir.

Denklemler yerlerine konular ve $dP_a / dP = 0$ alınırsa P_a değeri aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (17)$$

elde edilir.

$$K_a = \cos\beta \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} \quad (18)$$

$\delta=0$ olduğundan, duvarda kesme gerilmeleri olmaz ve aktif gerilme P_a ana gerilme durumuna gelir. Bu durum zemin elemanına analizi yapılarak gösterilebilir ki bu durumda P_a dolgu eğimine paralel etkir.

Benzerlik sonucu Rankine pasif basıncı da,

$$P_p = \frac{\gamma H^2}{2} \cos\beta \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\phi}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (19)$$

şeklinde bulunur.

1.3.6. Yatay Basınçların Hesabında Grafik Yöntemler

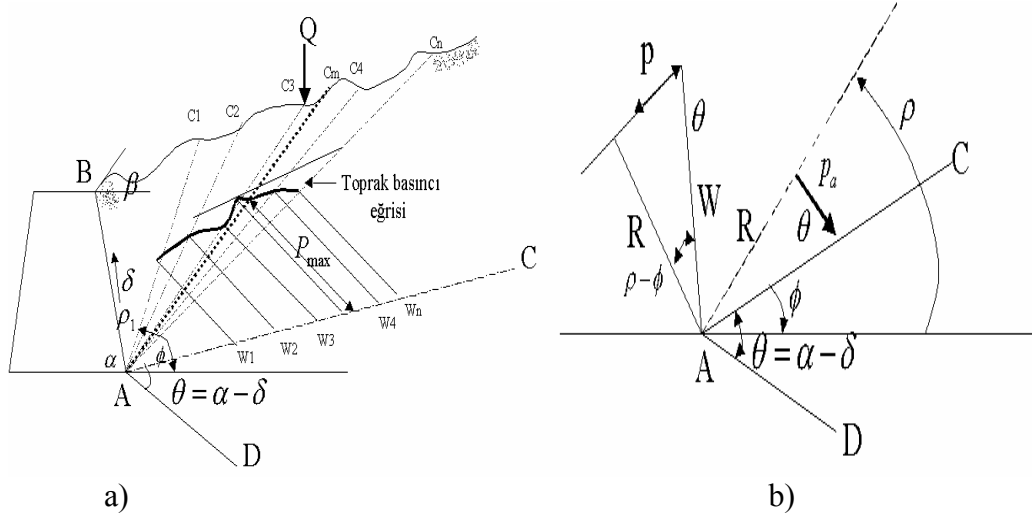
Dayanma yapısının arkasındaki dolgu yüzeyinin kırık düzlemlili ya da eğrisel kesitte olması ve dolgu yüzeyine nokta ya da şerit yük etkimesi durumlarında, Coulomb ya da Rankine teorilerinin uygulanamamasından dolayı, problemin çözümü için grafik yöntemler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntemler arasında Culmann (1866) yöntemi, deneme kaması (1877) yöntemi ve logaritmik spiral yöntemi yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir.

1.3.6.1. Culmann Yöntemi

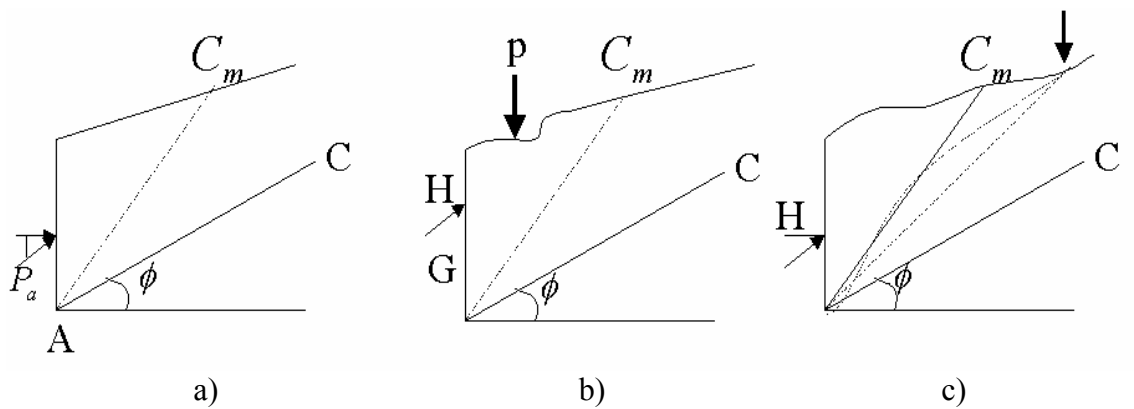
Bu yöntemde dolgu zemini ile dayanma yapısı arasındaki sürtünme, düzgün bir geometrik şekli olmayan dolgu, yüzeye etkileyen tekil veya yayılı yükler ve zeminin içsel sürtünme açısı göz önüne alınabilmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere yöntemin kullanılabilmesi için dolgunun kohezyonsuz olması gerekmektedir. Kayma yüzeyinin rijit ve düzlemsel olduğu kabul edilmektedir. Yöntem aktif ya da pasif basınçların belirlenmesinde kullanılabilir.

Aktif basınçların belirlenmesinde yöntemin kullanılışı aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

1. Tüm geometrik veriler uygun bir ölçekle gösterilir (Şekil 13a)
2. Duvar topuğu A dan yatayla ϕ açısı yapan AC doğrusu çizilir.
3. AC ile θ açısı yapan AD doğrusu çizilir ($\theta = \alpha - \delta$)
4. En az üç kırılma kaması denemelidir. ($AC_1, AC_2, AC_3, AC_4, \dots, AC_n$) bu şekilde yumuşak bir toprak basıncı eğrisi elde edilecektir.
5. Her kırılma kamasının ağırlığı alanının geometrik yoldan, ya da planimetreyle ölçümden bulunmasıyla hesaplanır ($W_1, W_2, W_3, W_4, \dots, W_n$)
6. Ağırlıklar uygun bir kuvvet ölçeğiyle AC doğrusu üzerinde A dan başlamak üzere işaretlenir. Böylece ABC_2 kaması ABC_1 kamasından daha ağır olacaktır.



Şekil 13. Culmann çizimiyle aktif kuvvet hesabı (Önalp, 1983)



Şekil 14. Aktif kuvvetin etkiye noktasının bulunması (Önalp, 1983)

7. W noktalarından AD ye paralel doğrular kendilerine ait AC kamalarını kesecek şekilde çizilir. Böylece W_1 den çizilen paralel AC_1 i kesecektir.
8. Tüm kesişme noktaları bulunduktan sonra buralardan geçen yumuşak bir eğri çizilir.
9. Eğer dolma üzerine etkiyen tekil kuvvet varsa, bunun ölçekli değeri kendisinden önceki W değerini izleyerek AC doğrusu üzerine işlenir. Bu durumda AC_3 doğrusunda bir atlama olacaktır. Burada da yapıldığı gibi yükün kendisine en yakın kamamın C noktasına rast getirilmesi uygun olur.
10. Sekizinci basamakta çizilen toprak basıncı eğrisidir. Maksimum aktif basıncı bulmak için eğrinin en yüksek noktasına AC doğrusuna paralel bir teğet, teğetlik noktasından da AC yi kesmek üzere AD doğrusuna bir diğer paralel çizilir. Maksimum aktif kuvvet toprak basıncı eğrisinden AC ye olan uzaklıktır. ($P_{a_{max}}$). Kritik kama da A dan başlayıp teğetlik noktasından geçerek dolma yüzeyini C_m de kesen doğruyla tariflenir.

Şekil 13 b de Culmann çiziminin teorik dayanağı olan kuvvetler üçgeni gösterilmektedir. Üçgen her denemede ψ açısının ölçümünün gerekmemesi için A etrafında döndürülür. Her problem için θ açısı sabit olduğundan AB doğrusu P_a nın izdüşümünün hemen bulunması için çizilmiştir. R nin eğimi ise AC nin eğiminden kendiliğinden bulunmaktadır. W_n in değeri ve tüm kenarların eğimi bilindiğinden üçgen çizilebilir.

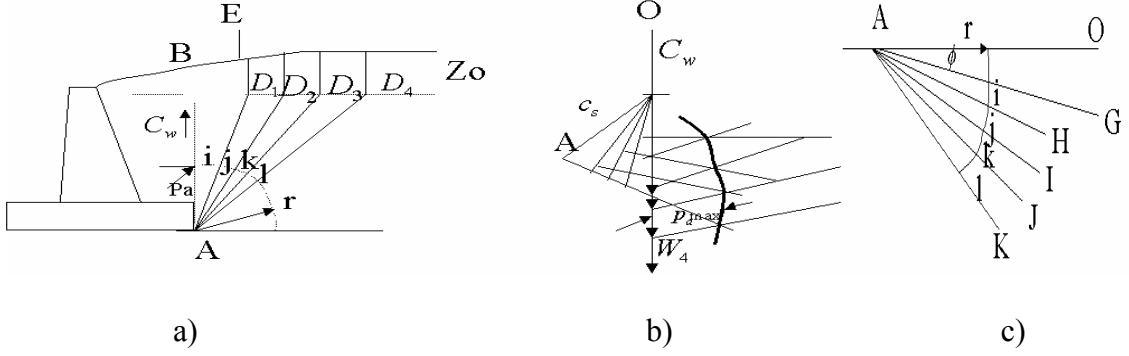
Maksimum toprak itkisinin bulunmasından sonra bu kuvvetin duvara hangi noktadan etki ettiği saptanmaktadır. Etkime noktası Şekil 14 de gösterilen üç değişik koşul için yine çizimle bulunur. Birinci durum tekil yüklerin dolguya etkime olmadığı problemdir. Maksimum toprak basıncını veren kama çizildikten sonra ağırlık merkezi uygun bir yöntemle bulunur. Etkime noktası ağırlık merkezinden AC_m doğrusuna çizilen parabolün duvarı kestiği noktadır.

İkinci problem tekil yükün kırılma kaması içinde, C_m nin solunda, bulunması durumudur. Etkime noktasını bulmak için P den AC_m ve AC ye iki paralel duvarı kesecek şekilde çizilirler. E noktası $HE = GH / 3$ ordinatındadır.

Tekil yükün kırılma kamasının dışında bulunması halinde AP doğrusu çizilir. (Şekil 14 c) ve P den AC ye paralel olan PH uzatılır. E noktası $HE = AH / 3$ ordinatındadır.

Kohezyonlu zeminlerde aktif kuvveti bulmak için Culmann çizimine çok benzeyen deneme kaması yöntemi elverişlidir. Bu çizimde düzlem ve Logaritmik helezon kayma

yüzeylerinin kullanılma olanağı bulunmaktaysa da helezon kullanımı artan çizim zorluklarına karşı sonuçlara aynı oranda duyarlılık ya da doğruluk getirmemektedir. Çizim yolu 2.11 de gösterilmiştir.



Şekil 15. Kohezyonlu zemin aktif basıncının deneme kamasıyla bulunması

1. Duvar ve dolgu uygun bir uzunluk ölçeği kullanılarak çizilir. $Z_o = 2c\sqrt{N\phi} / \gamma$ bağıntısından bulunacak çekme çatlağı derinliği de kesitte işaretlenir.
2. Deneme kamaları ABE_1D_1 , ABE_2D_2 gibi seçilerek çizildikten sonra ağırlıkları W_1 , W_2olarak hesaplanır.
3. Kamaların duvara yapışma kuvveti C_w ve kayma yüzeyindeki yapışma kuvveti C_s hesaplanarak seçilecek bir kuvvet ölçeği ile Şekil 15 b deki başlangıç noktası O dan gerekli çizilir. Kama ağırlıkları W, OY doğrusu üzerine işaretlenir.
4. C_w vektörü ucundan her kamanın kayma düzlemine paraleller çizerek C_s değerleri ölçeği göre işaretlenir. Eğer duvar sırtı eğimliyse C_w de O dan buna paralel olacaktır.
5. Üçüncü işlemde OY üzerine işlenen ağırlıkları W_1, W_2, W_3 ucundan aktif itki değişmez eğimde çizilir.
6. C_s vektörlerinin uçlarından karşılıkları olan R bileşikleri uygun eğimde çizilir. Eğim, kayma yüzeyine (AD) çizilen dikme ile ϕ açısı yapacak şekilde alınır.
7. R ve P_a doğrularının kesişme noktalarından yumuşak bir eğri geçirilir. Bu toprak basıncı eğrisidir.
8. Toprak basıncı eğrisine OY ağırlık doğrusuna paralel bir teğet çizilir. Culmann çiziminde olduğu gibi birkaç maksimum elde edilmesi olanaklıdır. Bunların en büyüğü $P_{a_{max}}$ olarak alınır.

R vektörünün bulunması için şu yol izlenebilir (Şekil 15 c).

1. Uygun bir yarıçap r ile A merkezinden bir yay çizilir.(Şekil 15 c)
2. Şekil 15 c de gösterildiği gibi AO yatayından ϕ açısı çizilir ve r yarıçaplı yay burada tekrarlanır. Sonra, Şekil 15 a' da ki yay uzunluklarına eşit yaylar AC den i, j, k, l olarak kestirilir.
3. Şekil 15 c deki AH, AI, AJ ve AK doğrularının eğimleri R vektörlerinin kamaları etkime eğimi olarak Şekil 15 b ye çizilebilir.

Zeminle duvar arasındaki sürtünme açısıyla zeminin kayma direnci açısı arasındaki bağıntı Terzaghi ve Peck tarafından

$$\delta = \frac{2}{3} \phi \quad (20)$$

olarak önerilmiştir. Bu açının ihmal edilmesi aktif basıncın gerçek değerinden %5-10 fazla çıkmasına neden olabilmektedir (Önalp, 1983).

1.3.6.2. Kayma Yüzeyinin Logaritmik Spiral Olması Hali

Bu yöntemde deneme kaması oluşturulurken kayma yüzeyinin logaritmik spiral biçiminde olacağı kabul edilmektedir. Logaritmik spiral biçimindeki kayma yüzeyi Şekil 16 de görülmektedir. Yöntemin kullanılmasında aşağıdaki adımlar uygulanır.

1. Saydam bir kağıt (asetat vb.) üzerine $r = r_0 \exp(\theta + \tan \phi)$ bağıntısına uygun bir logaritmik spiral çizilir. Burada r =spiralin r_0 dan θ ya değişen yarıçapı, r_0 =spiralin başlangıç yarıçapı, $\theta = r$ ile r_0 arasında değişen açı (radyan olarak), ϕ =zeminin içsel sürtünme açısıdır.
2. Duvar ve dolgu geometrisi başka bir kağıt üzerine seçilen uygun bir ölçekle çizilir.
3. Şeffaf kağıt ölçekli olarak çizilmiş şekil üzerine yerleştirilerek C noktasında (Şekil 16) yaklaşık $45 + \phi/2$ açı yapacak bir kayma yüzeyi oluşturulur. Logaritmik spiralin merkezi olan O noktası ile B noktası arasındaki dik mesafe ölçülür.
4. Kayma kamasının ağırlık vektörü, W , ABC alanı ile zeminin birim hacim ağırlığının çarpımı olarak hesaplanır. ABC alanı Şekil 16 b deki OAC alanından ODC ve ADB üçgenlerinin alanını çıkararak elde edilebilir. OAC alanı Eşitlik (21) den elde edilebilir.

$$OAC = \frac{r_1^2 - r_2^2}{4 \tan \phi} \quad (21)$$

$$W = \gamma(OAC - ODC - ABD) \quad (22)$$

5. Kayma kamasının ağırlık merkezi, G, nin O ya olan yatay uzaklığı \bar{x} belirlenir. Buradan,

$$M_o = W \bar{x} \quad (23)$$

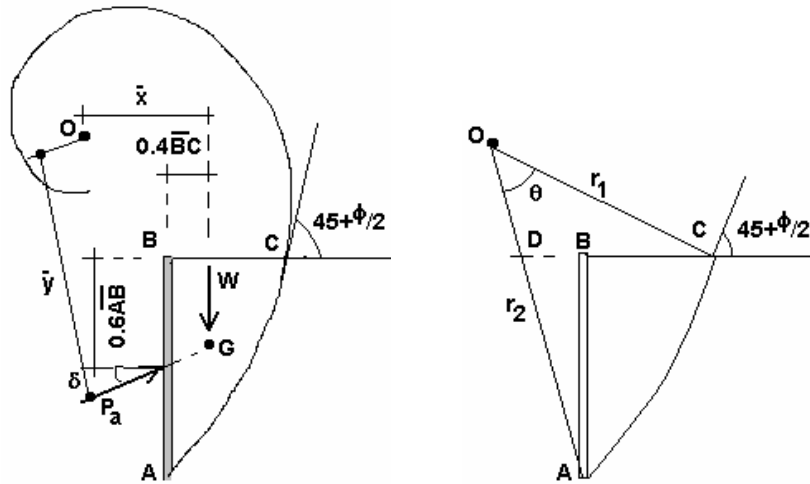
$$M_r = P_a \bar{y} \quad (24)$$

ifadesinden \bar{y} hesaplanır.

6. Aktif bileşke kuvvet eşitlik (24) dan hesaplanır.

$$P_a = \frac{M_o}{\bar{y}} \quad (24)$$

7. En büyük aktif bileşke kuvvetin bulunabilmesi için işlem birkaç defa tekrarlanır.

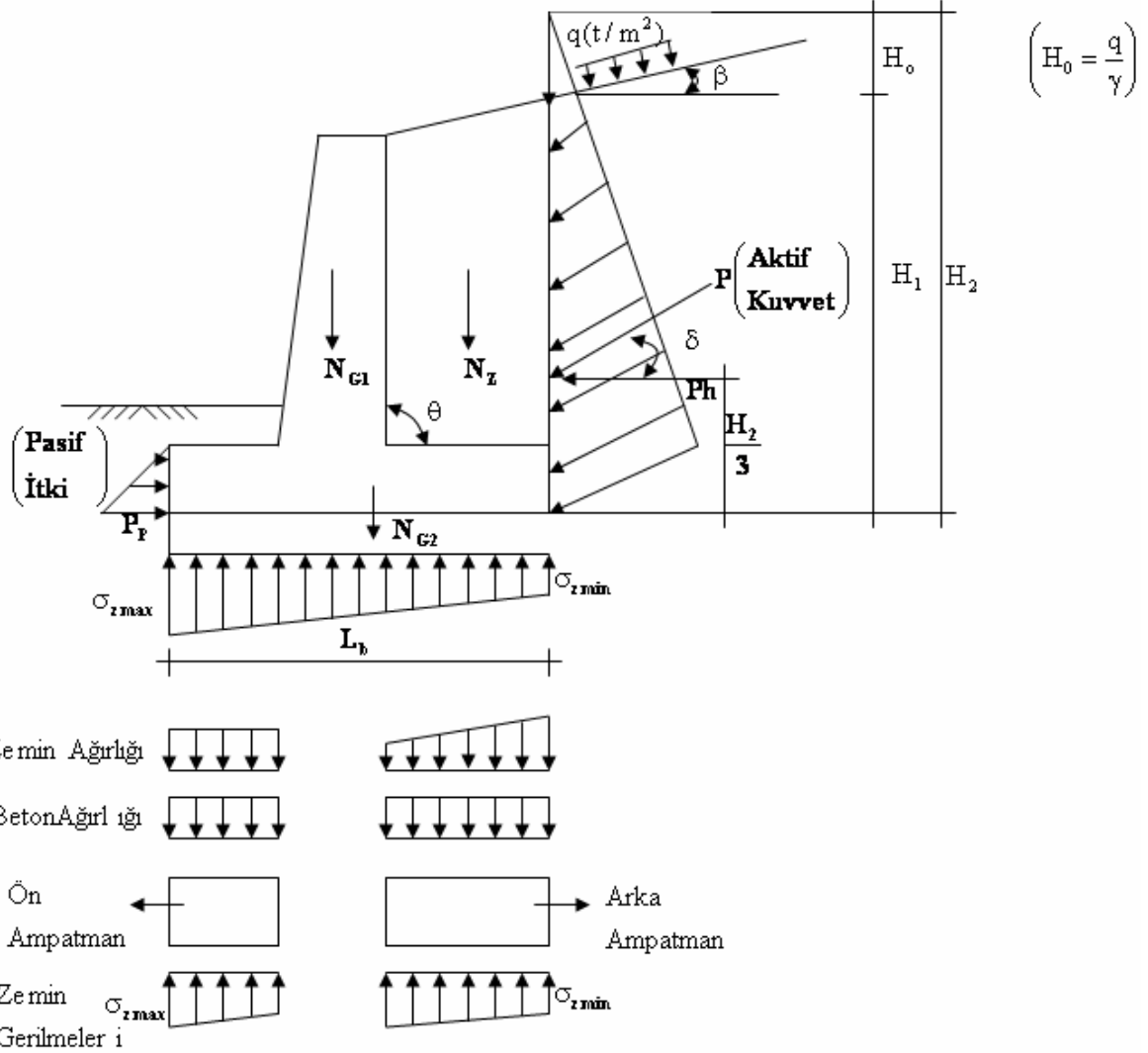


Şekil 16. Logaritmik spiral kayma yüzeyli deneme kaması (Aytekin, 2004)

1.4. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarına, genelde etki eden yükler Şekil 17'deki betonarme konsol istinat duvarı üzerinde gösterilmiştir. Burada duvar yüzünün yatayla yaptığı açı $\theta = 90^\circ$ duvar arkası zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı $\beta = 0^\circ$ ve duvar ile zemin

arasındaki sürtünme açısı $\delta = 0^\circ$ ise zeminin duvara yaptığı itki yataydır ve derinliğe bağlı olarak üçgen yayılı yük şeklindedir.



Şekil 17. İstinat duvarına etki eden yükler

İstinat duvarlarının stabilite hesaplarında yapılan tahkikler şunlardır.

1. Devrilme tahkiki
2. Kayma tahkiki
3. Taban altındaki zemin gerilmelerinin tahkiki

Bu hesaplamalarda duvar önündeki zeminin yapacağı pasif itki ve arka ampatmana tesir eden yanal toprak itkisi ihmal edilir.

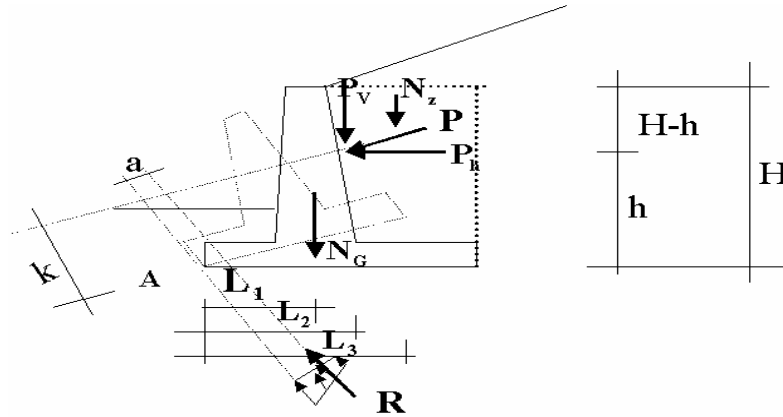
1.4.1. Devrilme Tahkiki

İstinat duvarının arkasındaki zeminin ve ilave yüklerin meydana getirdiği Aktif toprak itkisinden dolayı, duvar A topuğu etrafında dönerek devrilme eğilimindedir. Bu devrilme, duvar ağırlığı ve duvar tabanı üzerindeki zemin ağırlığı ile karşılanır. Duvar boyutlarına göre duvarın, A noktası etrafında dönmesine karşı koyan kuvvetlerin momentinin, A noktası etrafında döndüren kuvvetlerin momentinden, belli bir güvenlik katsayısı kadar fazla olması gerekir.(Şekil 18) Buna göre;

$$G_D = \frac{M_{KA}}{M_{DA}} \geq 1.5 \approx 2.0 \quad (26)$$

M_{KA} = A noktasına göre, devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momenti,

M_{DA} = A noktasına göre, devirici kuvvetlerin momenti.



Şekil 18. Devrilmeye karşı stabilite

$$M_{KA} = N_G \cdot L_1 + P_v \cdot L_2 + N_z \cdot L_3 \quad (27)$$

$$M_{DA} = P_h \cdot h \quad (28)$$

$$G_D = \frac{N_G \cdot L_1 + P_v \cdot L_2 + N_z \cdot L_3}{P_h \cdot h} \geq$$

1.5 (Daneli Dolgularda)

2.0 (Kohezyonlu Dolgularda)

gerçekte duvarın tam göçme anında, topuğa gelen yük en büyük değerine ulaşacağından, topuk altındaki zemin göçecek ve zeminde R gibi bir reaksiyon ortaya çıkacaktır.

1.4.2. Kayma Tahkiki

Duvara gelen aktif duvar itkisi aynı zamanda, duvarı temel zemini üzerinde kaydıracaktır. Ortaya çıkan bu kayma kuvveti; tabanla-zemin arasındaki sürtünme kuvvetiyle, tabanla zemin arasındaki adezyon kuvvetiyle ve duvar önündeki zeminin pasif itkisiyle karşılanacaktır. Duvar önünde, ileride oluşabilecek erozyon, yapılabilecek kazı gibi ve buna benzer olayların duvara yapacağı olumsuz etkileri bertaraf etmek için Pasif toprak itkis genellikle ihmal edilir. Genelde ortaya çıkan bu P_k kayma kuvveti (Şekil 10).

$$F_k = \mu \cdot \Sigma N \quad (\text{Daneli kohezyonsuz zeminlerde}) \quad (29)$$

Ve ya

$$F_k = c \cdot \Sigma N \quad (\text{Kohezyonlu zeminlerde}) \quad (30)$$

Değerlerinin biriyle hesaplanır.

Burada;

μ = Taban zemini için sürtünme katsayısı (Tablo 6.)

c = Taban zemininin kohezif mukavemeti (Tablo 7.)

$$\Sigma N : N_G + N_z + P_v \quad (31)$$

N_G = Duvar ağırlığı,

N_z = Duvar tabanı üzerindeki zemin ağırlığı,

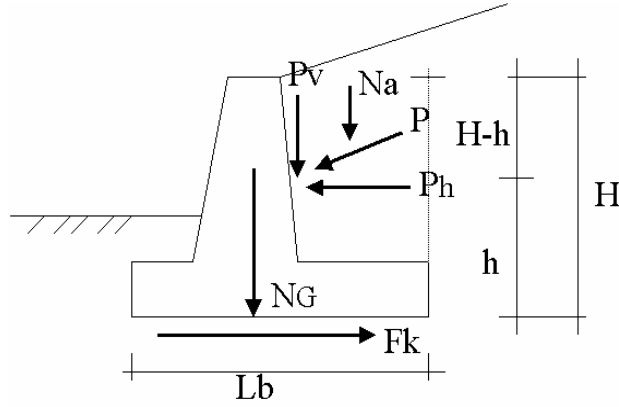
P_v = Aktif duvar basıncının düşey bileşkesi,

P_h = Aktif duvar basıncının yatay bileşkesi,

olmak üzere duvarın kayma emniyeti;

$$G_K = \frac{F_k}{P_h} \geq 1.5 \quad (32)$$

koşulunu sağlaması gerekir.



Şekil 19. Duvarın kaymaya karşı stabilitesi

Tablo 2. Taban zemini için sürtünme katsayıları

Taban Zemin Türü	μ_s
İri kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	0.50-0.70
İnce kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	0.40-0.60
Siltli kum ve çakıllı killi zemin	0.30-0.50
Sert kil (ancak tırnakla çizilebilen)	0.30-0.50
Yarı sert kil veya silt	0.20-0.30
Sağlam kaya (kaba yüzeyle)	0.60

Tablo 3 Taban zeminin kohezif mukavemetleri

Taban Zemin Türü	$C t / m^2$
Hafif bir parmak basıncı ile şekil değiştiren çok yumuşak kil	1
Kuvvetlice parmak basıncı ile şekil değiştiren yumuşak kil	2
Başparmak ile basılınca iz bırakabilen orta sertlikte kil ile tırnakla çizilebilen sert kil	3

1.4.3. Temel Tabanı Altındaki Zemin Gerilmelerinin Tahkiki

İstinat duvarına tesir eden yüklerden dolayı, duvarın temel tabanı altında meydana gelen zemin gerilmeleri, zemin emniyet gerilmesinden küçük olmalıdır. (Şekil 11)

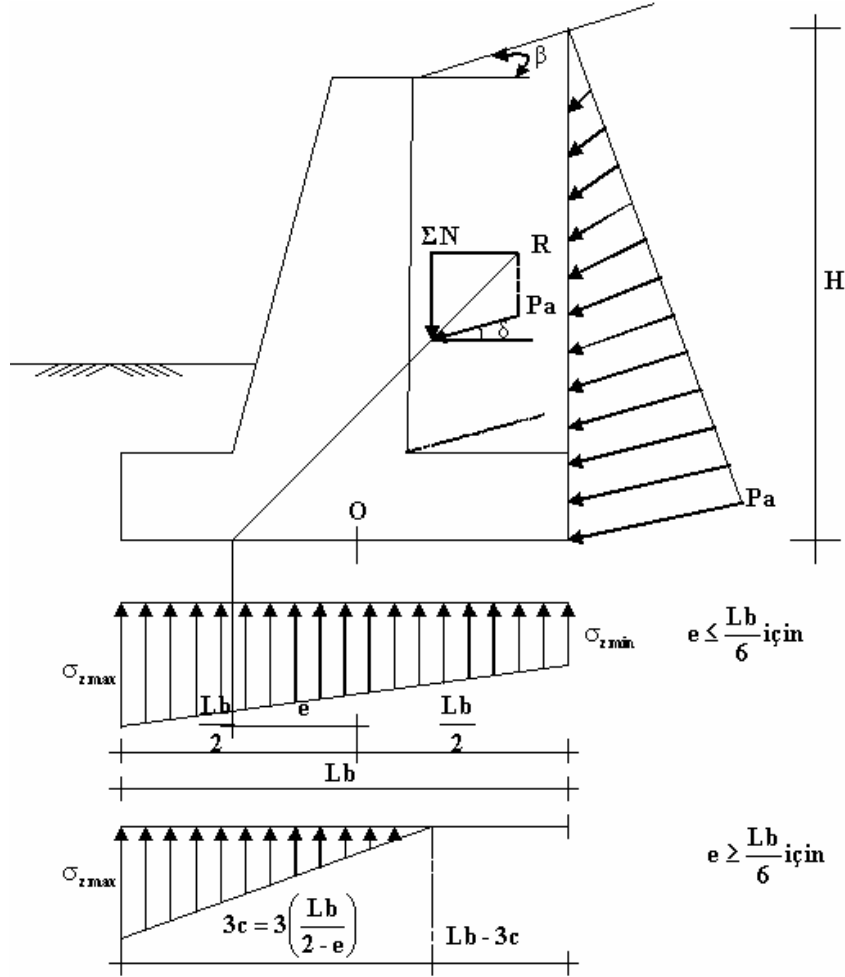
Hesaplamalarda duvarın 1m uzunluğu dikkate alınacak olursa ve burada;

ΣM_o = Duvara tesir eden yüklerin O noktasına göre toplam momenti,

ΣN = Duvara tesir eden düşey yüklerin toplamı,

olmak üzere, temel tabanının O orta noktasına göre dış merkezlik;

$$e = \frac{\Sigma M_o}{\Sigma N} \text{ dir.} \quad (33)$$



Şekil 20. İstinat duvarının temel tabanı altında meydana gelen zemin gerilmeleri

lb taban genişliğine göre;

$$e \leq \frac{lb}{6} \quad \text{Küçük Dış Merkezlik durumunda, zemin gerilmeleri}$$

$$\sigma_{z,max} = \frac{\Sigma N}{lb} + \frac{6 \cdot \Sigma Mo}{lb^2} \leq \sigma_{z,emniyet} \quad (34)$$

$$\sigma_{z,max} = \frac{\Sigma N}{lb} - \frac{6 \cdot \Sigma Mo}{lb^2} > 0 \quad (35)$$

olarak hesaplanır.

$e > \frac{lb}{6}$ Büyük Dış Merkezlik durumunda ise, Çekme gerilmelerine dayanıksız malzemeler için;

$c = \frac{lb}{2} - e$ olmak üzere,

$\sigma_{z \max} = \frac{2 \cdot \Sigma N}{3 \cdot c}$ değeriyle hesaplanır.

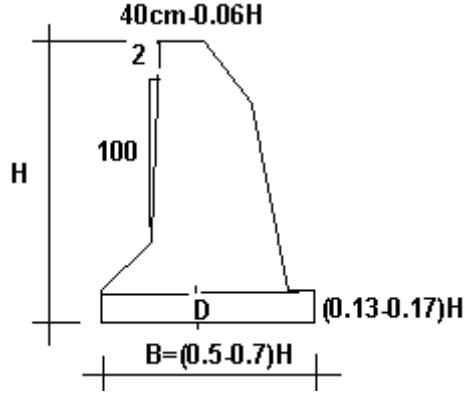
Büyük dış merkezlik durumu ancak kaya türü zeminler için geçerli olabilir, bunun dışındaki tüm zeminler için, küçük dış merkezlik durumu verecek şekilde, duvar boyutlarında değişiklik yaparak hesaplamalara devam edilmelidir.

1.4.4. Duvarların Ön Tasarımı

Dayanma duvarlarının uzun yıllardan beri geniş uygulaması, eldeki verilere yaklaşık olarak cevap verebilecek formüller ve modeller geliştirilmesi sonucunu getirmiştir. Örneğin, karayollarında olağan yüksekliklerde dayanma duvarı yapılması gerektiğinden zemin koşullarına önem verilmeden geliştirilmiş tablolardan faydalanılması öngörülmüştür. Bu güvenlik sayılarının gereğinden çok daha büyük tutulması pahasına yapılmaktadır.

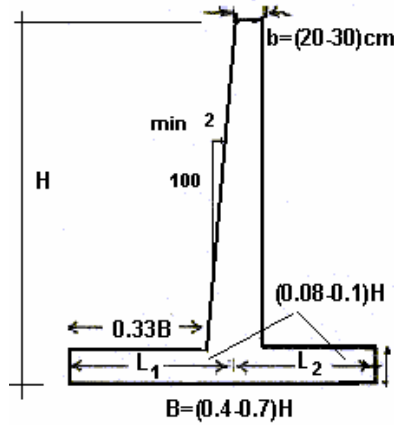
Bir ağırlık duvarının kesin projesi hazırlanmadan gereğince boyutlandırılması gerekir. Ekonomik ve dengeli boyutların seçilmesi için geçmiş deneyimlerden geliştirilmiş formüllerin kullanılması zaman kazandırmaktadır. Duvar projesinde ana kriter H yüksekliğidir.

Şekil 21' de bir ağırlık duvarı için ön tasarım boyutları gösterilmiştir.



Şekil 21. Ağırılık istinat duvarında ön boyutları

Genellikle yamuk kesitli yapılan ağırlık duvarları ekonomi sağlanması amacıyla kırık sırtlıda yapılırlar. Bu tür duvarda beton donatısız olduğundan çoğun temelin gövde genişliğinden farklı olmaması istenir. Ancak genellikle itici kuvvetler bileşkesinin tabanın orta 1/3 ünden geçmesi istendiğinden temelin daha geniş yapılması gerekli olmaktadır. Şekil 22 da olağan koşullarda rastlanan konsol duvarlarda kullanılacak boyutlar verilmiştir.



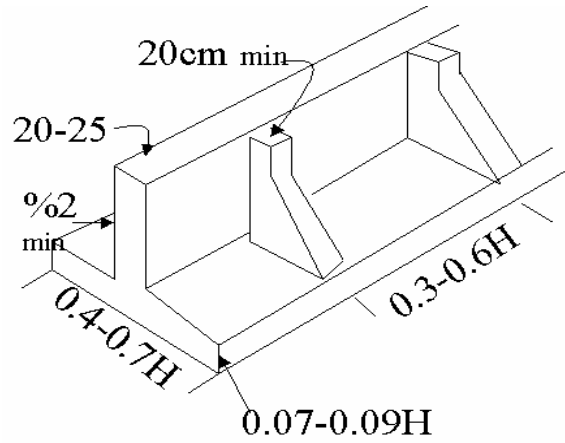
Şekil 22. Konsol duvarda ön boyutlar

Aktif basıncın uyanması için öne doğru eğilmesi gerekli olduğundan duvar yüzüne önceden ters eğilmesi gerekli olduğundan duvar yüzüne önceden ters eğim verilmesi uygun olur. Tüm diğer duvarlarda olduğu gibi konsol türde de kuvvetler bileşkesinin tabanın çekirdeği içinde kalması zorunludur. Bunu sağlamak için ön ve arka konsol uzunlukları arasında bulunan

$$l_1 = \frac{H^2 K_a}{4(b+l_2)} + \frac{l_2}{R} - \frac{3}{4} \left(\frac{l_2^2}{b+l_2} \right) \quad (36)$$

bağıntısı kullanılarak uygun bir birleşim seçilebilir.

Payandalı duvarların kılavuz boyutları Şekil 23'de gösterilmiştir.



Şekil 23. Payandalı duvarın ön boyutları

Payandalı istinat duvarlarının projelendirilmesi; devrilme, kayma ve taşıma gücü tahkikleri bakımından büyük ölçüde ağırlık istinat duvarlarının projelendirilmesine benzer. Bu duvarın ekonomik olması için 7 m den alçak olmaması gerekmektedir.

1.4.5. Ağırlık Duvarının Projelendirilmesi

Rijit duvarlarda projelendirme ve analiz küçük farklar dışında benzer yöntemlerle yapılır. Şekil 24 de bir ağırlık duvarı ve etkiyen kuvvetler gösterilmektedir.

- Duvar ağırlığı yamuk kesitin uygun üçgen ve dikdörtgenlere bölünerek buluna alanın malzeme ağırlığıyla çarpılmasıyla hesaplanır (W). Sonra O çevresinde bu parçaların momentleri de ayrı ayrı bulunarak toplanır.
- Duvara etkiyen aktif toprak basıncı tercihen Coulomb'a göre hesaplanır. Etkime noktası tabandan H/3 tür. Burada yatay ve düşey bileşenler

$$P_h = P_a \cos(90 - \alpha + \delta) \quad (37)$$

$$P_v = P_a \sin(90 - \alpha + \delta) \quad (38)$$

olarak bulunur.

- c) Yapılacak ilk stabilite incelemesi kayma içindir. Duvarı öne iten kuvvetlerin direnen kuvvetler toplamına oranı 1,5 ton büyük olmalıdır. Gösterilen duvarda önce düşey kuvvetler toplamı (ΣF_z) sonra direnen kuvvetleri yazalım.

$$\Sigma F_z = \Sigma W_b + P_v \quad (39)$$

$$\Sigma F_R = \Sigma F_z \cdot f + Bc' + P_p \quad (40)$$

direnen kuvvetlerin bulunmasında sürtünme katsayısı f temel zemininin kayma açısından ve c' de kohezyonun' dan hesaplanır.

$$f = \tan \frac{2\phi}{3} \quad (41)$$

$$c' = \frac{2}{3} c \quad (42)$$

böylece kayma için sağlanan güvenlik sayısı

$$F = \frac{\Sigma F_{\text{karşı}}}{\Sigma F_{\text{sürücü}}} = \frac{\Sigma F_R}{P_h} > 1.5 \quad (43)$$

Güvenlik sayısı 1.5 ten küçük olması durumunda boyutların değiştirilmesi, ya da temel zemininin mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi düşünülebilir.

- d) Kaymaya göre güvenliğin gereğince sağlanması halinde hemen her zaman devrilmeye karşı güvenlik sayısı istenen değer üzerinde bulunur. Aktif itkini etkime noktası tabandan z yükseklikte bulunmuşsa devirici moment

$$\Sigma M_{\text{devir}} = P_h * z \quad (44)$$

olacaktır. Karşı momentler ise beton ağırlığının O noktası çevresinde toplam etkisi olmalıdır. Devrilmeye karşı güvenlik sayısı da

$$G.S. = \frac{\Sigma M_{\text{karşı}}}{\Sigma M_{\text{devir}}} = \frac{\Sigma M_w}{P_h z - P_v B} \quad (45)$$

- e) Duvarın kayma ve devrilmeye karşı stabilitesinin sağlanması yanında istenen taban basınçlarının (σ_{max} , σ_{min}) belirli limitleri aşmaması, özellikle topuk basıncı σ_{min} in sıfır ve daha az bir değer taşımamalıdır. Bir başka deyişle, kuvvetler bileşkesinin temel çekirdeği dışına düşmemesi istenir. Bu sağlamadığı takdirde topukta zeminden ayrılma eğilimi gibi yapay bir durum oluşacaktır. Yine O noktası çevresinde momentlerin toplamı alınarak

$$\Sigma F_z \cdot \bar{x} = \Sigma M_{\text{devir}} \quad (46)$$

bileşkesinin yeri \bar{x} bulunduğunda

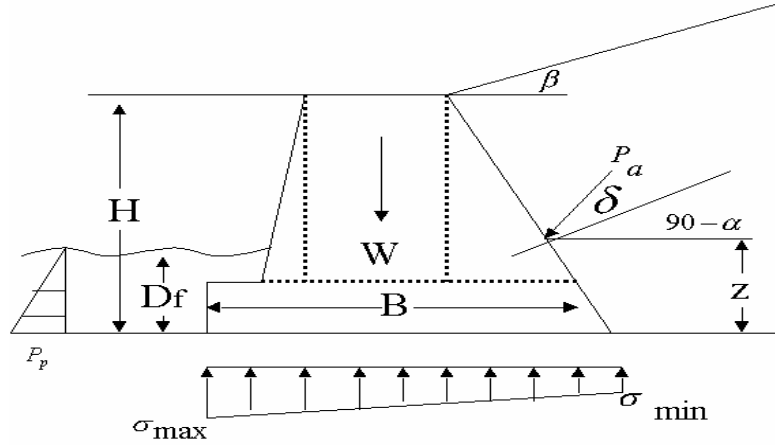
$$\frac{B}{3} < \bar{x} < \frac{2B}{3} \quad (47)$$

koşulunu sağlamalıdır. Buradan yük eksantrikliği e tariflenir.

- f) Şekil 24 de gösterildiği gibi duvara etkiyen kuvvetler duvar tabanından σ_{max} ve σ_{min} basınçlarını oluşturmaktadır. Bunların değeri

$$\sigma_{\text{max}}^{\text{min}} = \frac{\Sigma F_z}{B * l} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (48)$$

formülünden hesaplanır.



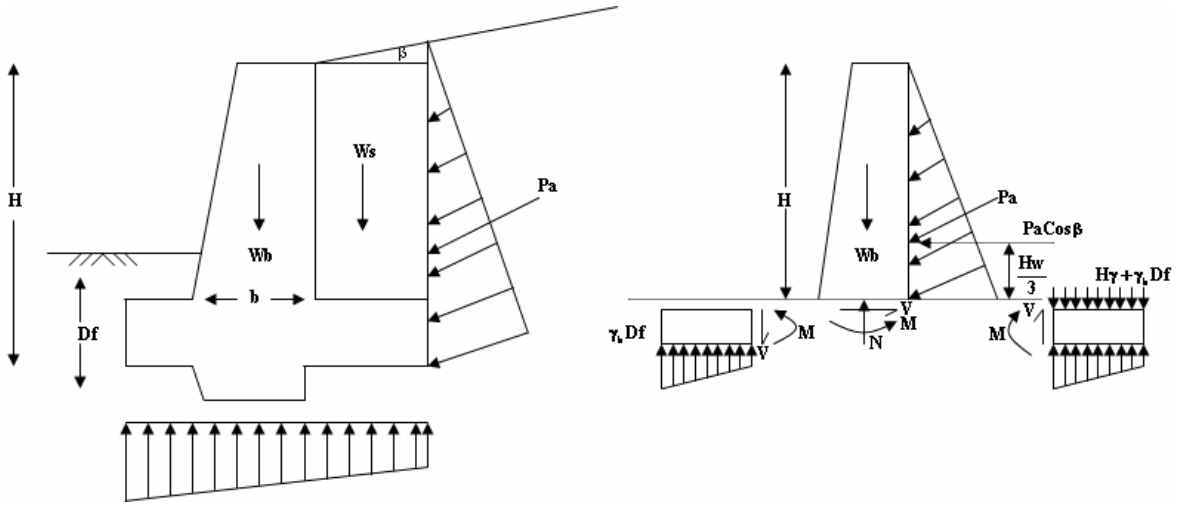
Şekil 24. Ağırlık duvarında kuvvetler

1.4.6. Konsol Duvarın Projelendirilmesi

Konsol duvarın projesinde stabilite yanında betonarme 'nin aldığı gerilmelerin kontrolü de önem taşır. Şekil 25 da bir konsol duvarın aldığı kuvvet ve gerilmeler özetlenmektedir. Bu tip duvarda ekonomi büyük önem taşıdığından zemin özelliklerinin yerinde ve laboratuvar deneyleriyle ölçülmesi zorunludur.

1. Konsol duvarların projelendirmesinde izlenen adımları aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür. Zemine ait kayma direnci parametreleri c ve ϕ belirlenir. Mümkünse kayma kamasının oluşacağı bölgede kohezyonsuz zemin kullanılır. Duvara gelen yatay ve düşey basınçlar hesaplanır.
2. Yük faktörleri belirlenir. Kohezyonsuz zeminlerde Rankine kayma kaması için bu değer minimum 1.7 olarak alınabilir. Yük faktörü dolgu cinsine bakılmaksızın $K_a=1.1$ ile sınırlandırılmalıdır.
3. Şekil 22 dan ön boyutlar seçilir.
4. Kritik kesit olarak taban ile konsolun birleşim yeri dikkate alınarak kesme kuvvetine göre konsol kalınlığı, t , hesaplanır. Kesme kuvveti dikkate alınırken yük faktörü ile çarpılmalıdır.
5. Konsolun maruz kaldığı momentler belirlenir. Diğer bir deyişle konsola ait moment diyagramı çizilir. Bu moment diyagramına göre konsola konulacak donatı miktarı hesaplanır. Hesaplarda moment değerleri dikkate alınırken yük faktörü ile çarpılmalıdır.

6. Duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetler, devirmeye çalışan momentler ve duvara dış yapılmışsa bu kısma etkiyen kuvvetler hesaplanır. Toptan göçme olup olmayacağı kontrol edilir.
7. Duvar tabanı sürekli bir temel gibi dikkate alarak taşıma gücü belirlenir. Zemin emniyet gerilmesi olarak kohezyonsuz zeminler için sınır taşıma gücünün yarısı, $c-\phi$ zeminleri için ise $1/3$ ü alınmalıdır.
8. Duvar tabanı altında oluşan gerilme dağılımı belirlenir. Genellikle duvar önündeki toprak dikkate alınmazken arkasındaki dikkate alınmalıdır. Duvarın kendi ağırlığı da dikkate alınmalıdır.
9. Elde edilen gerilme dağılımı kullanılarak kritik kesitlerde kesme kuvveti ve moment değerleri hesaplanır.
10. Gerilme dağılımı diyagramı kullanılarak elde edilen kesme kuvveti ve moment diyagramlarından donatı hesabı yapılır.



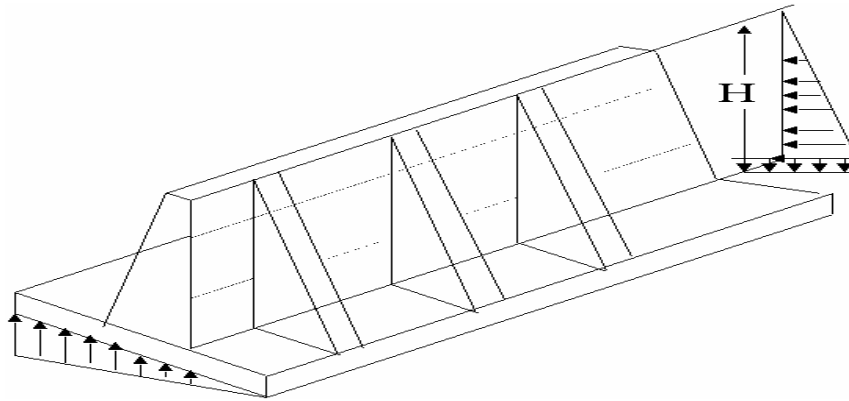
Şekil 25. Konsol duvarda kuvvetler

1.4.7. Payandalı İstinat Duvarlarının Projelendirilmesi

Payandalı dayanma duvarları stabilite açısından diğer tiplere, özellikle konsol duvarlar büyük benzerlik gösterir. Öte yandan, yapısal açıdan bu tür, hiperstatik oluşu nedeniyle tüm diğerlerinden önemli ölçüde farklıdır. Şekil 26 da payandalı duvarın genel görünümü verilmiştir.

Betonarmenin aldığı kesme kuvvetleri ve momentler için tam çözüm plak teorisinden faydalanarak elde edilebilirse de uygulamada daha çok yaklaşık yöntemlerin kullanımı tercih edilmektedir. Şekil 26 da gösterildiği gibi basitleştirilmiş yöntem gövde plağını birim genişlikte sürekli kirişler olarak kabul eder. Basınç diyagramı üçgen şekilli olduğundan eşdeğer kirişler duvar ve tabanın birleşim yeri ve duvar tepesiyle temel arasında iki ya da üç nokta seçilir. Bu yoldan, basınç azaldıkça donatıda azalma sağlanabilir. Dikkat edileceği gibi diğer tip duvarlarda hesaplar birim uzunluk için yapılırken payandalı duvarda komşu payandalar merkezleri arasında yapılacaktır.

Sürekli kirişte alttaki kirişler temele bağlı olduğundan $qL^2/12$ ve $qL^2/14$, gövdedeki kirişler de $qL^2/9$ ve $qL^2/10$ katsayıları ile hesaplanır. Temelde burun bir konsol, topuk ise gövdede olduğu gibi sürekli kiriş kabul edilecektir. Payandaların kama şekilli T-kiriş olarak analizi uygun olur.



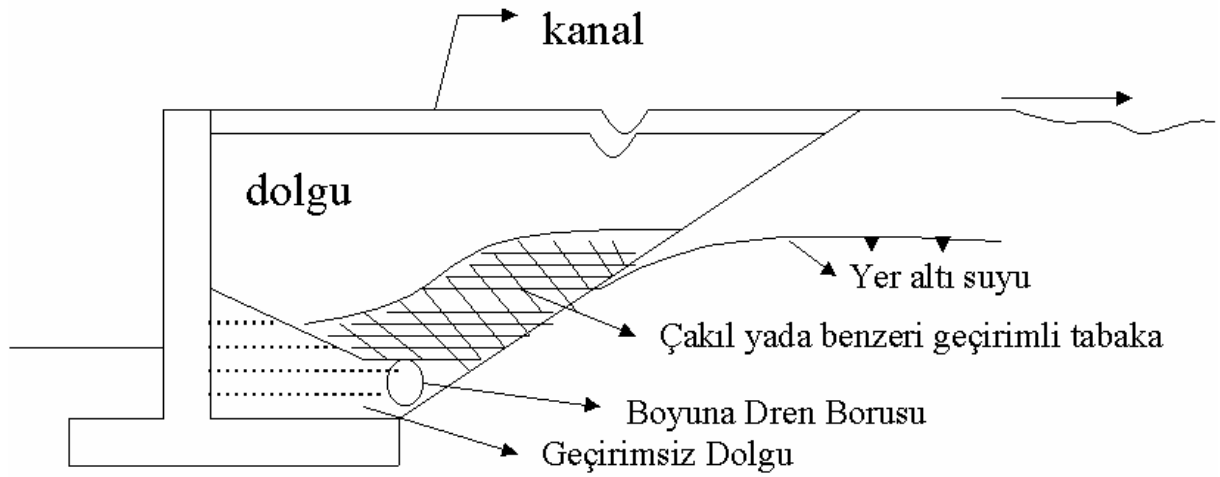
Şekil 26. Payandalı duvarda kuvvetler

1.4.8. İstinat Duvarlarının Drenaj ve Arka Dolgusu

İstinat duvarı arkasındaki zemin boşluklarının su ile dolması durumunda zemin itkisine su basıncı da eklenir. İyi bir drenajla bu ek su basıncı engellenmelidir.

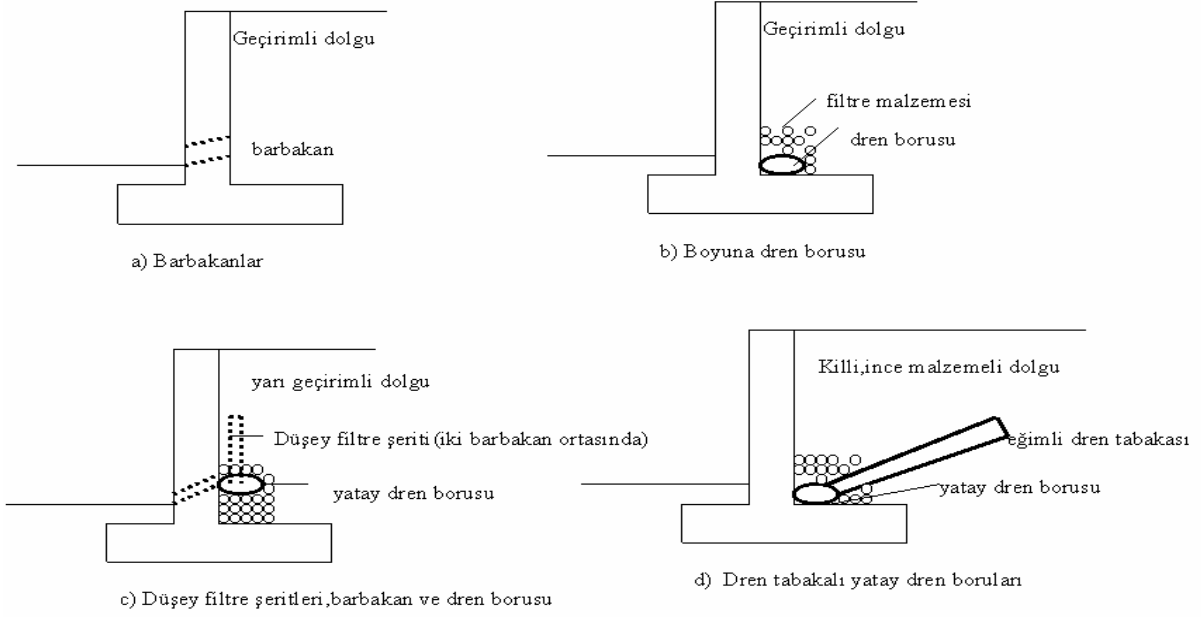
İnce deneli zeminler istinat duvarlarında büyük zemin itkileri doğurduklarından, bu tür zeminlerin arka dolgu malzemesi olarak kullanılmaları ekonomik değildir. İdeal arka dolgu malzemesi, en çok %5 silt, ince kum ya da kil içeren iri deneli (temiz kaba kum, çakıl ya da kumlu çakıl) zeminlerdir. Bu tür drenaja elverişli malzeme o yörede pahalı ise, daha az malzeme harcayabilmek için, istinat duvarının arka yüzü ile, yatayla en çok 60°'lik açı yapan düzlem arasında kalan bir kama da kullanılabilir. Böyle bir kama içinde yukarıda

belirtilen elverişli dolgu malzemesi kullanılmışsa, zemin itkisi bütün arka dolgu bu malzeme imiş gibi hesaplanabilir.



Şekil 27. Yeraltı su seviyesinin temel üzerinde olması durumuna ilişkin drenaj örneği

Arka dolgu olarak ne tür malzeme kullanılırsa kullanılsın, arka dolgu drenajı sorununa gereken önem verilmelidir. Arka dolgu içine işleyen yağmur vb. sularını uzaklaştırmak için yeterli bir drenaj sistemi bulunmalıdır. Drenaj sistemi arka dolgu malzemesinin geçirimsizliğine bağlıdır. Geçirimsiz arka dolgu durumunda, en az 15cm çaplı yatayda 1.0-1.5m aralıklı barbakanlar (Şekil 28 a) yada bir sıra dren borusu (Şekil 28 b) yeterli olur. Yarı geçirimsiz arka dolgu (az ölçüde ince kum, silt ya da kil içeren zeminler) durumunda, dren boruları ya da barbakanlar ele alarak en az 30x30 cm² kesitli düşey filtre malzemesi şeritleri gereklidir (Şekil 28 c). Kil, silt vb. ince deneli arka dolgu durumunda, yeterli bir drenajın sağlanması için, dren borularına ek olarak en az 30cm kalınlıkta bir drenaj tabakası (Şekil 28 d) gereklidir.



Şekil 28. İstinat duvarlarında çeşitli drenaj uygulamaları

1.5. İstinat Duvarlarına Etkiyen Statik Ve Dinamik Toplam Zemin Basınçlarının Hesabı

Deprem sırasında artan yanal zemin basınçları istinat duvarlarında harekete neden olur. Duvarın hareketi ve duvara etkiyen basınçlar; duvarın altındaki ve arkasındaki zeminin davranışına, duvarın ataletine ve oluşan deprem hareketinin özelliklerine bağlıdır.

İstinat duvarlarının deprem etkisi altındaki davranışını incelemek için çeşitli deney ve analizler yapılmıştır. Büyük çoğunluğu ağırlık tipi istinat duvarları üzerine yapılan bu deney ve analizlerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Kramer,1996).

- İstinat duvarları ötelenme ve/veya dönme şeklinde hareket edebilir. Ötelenme ve dönmenin büyüklüğü duvarın dizaynına bağlıdır. Bazı istinat duvarlarında ötelenme ve/veya dönme engellenebilir.
- Dinamik zemin basınçlarının şiddet ve dağılımları duvarın hareket şekline etkilenir (Örneğin istinat duvarının tabanı etrafında dönmesi, yatay ötelenmesi, tepe noktası etrafında dönmesi).
- İstinat duvarına etkiyen maksimum zemin basıncı genellikle, duvar zemine doğru döndüğünde veya ötelendiğinde oluşur (duvarın atalet kuvveti zemine doğru yönelindiğinde). Minimum zemin basıncı duvar zeminden uzaklaşacak şekilde döndüğünde veya ötelendiğinde oluşur.

- d) İstinat duvarının arkasındaki zemin basıncı dağılımı, duvarın hareket şekline göre değişir. Bunun sonucunda bileşke zemin basıncının uygulama noktası, duvar arkasında yukarı veya aşağı doğru hareket eder. Bileşke zemin basıncı; duvar zemine doğru hareket ettiğinde en yüksek, duvar zeminden uzaklaştığında en düşük değerini alır.
- e) Dinamik zemin basınçları, duvarın ve zeminin dinamik tepkilerinden etkilenir ve duvar-zemin sisteminin doğal frekansı civarındaki değerlerde önemli ölçüde artabilir. Ayrıca kalıcı duvar yer değiştirmeleri de duvar-zemin sisteminin doğal frekansına yakın frekanslarda artar. Dinamik tepkinin etkileri, duvarın farklı bölgelerinde sehimlere neden olabilir. Bu durum, temel zemini içine giren istinat duvarı için önemlidir.
- f) Deprem sebebi ile artan zemin basınçları, güçlü bir deprem bittikten sonra da duvara etkimeye devam edebilir.

İstinat duvarlarının dizaynı için kullanılan genel yöntem, deprem sırasında duvara etkileyen yükleri tahmin etmek ve daha sonra duvarın bu yükler altında stabilitesini sağlamaktır. Deprem sırasında istinat duvarına etkileyen yükler çok karmaşık olduğundan dinamik zemin basınçları genellikle basitleştirilmiş yöntemler kullanılarak hesaplanır. Bu bölümde, dinamik zemin basınçlarının hesaplanması için genel olarak kullanılan yöntemler anlatılacaktır.

1.5.1. Mononobe-Okabe Yöntemi

Okabe(1926), Mononobe ve Matsuo (1929); Coulomb teorisini, depremden dolayı zeminde meydana gelen yatay ve düşey atalet kuvvetlerini de içerecek şekilde geliştirmişlerdir. Bu yöntem literatür’de “Mononobe-Okabe Yöntemi” olarak geçmektedir.

Mononobe-Okabe Yönteminde, Coulamb yönteminde yapılan kabuller aynen geçerlidir. Bu kabuller altında, depremden dolayı oluşan yatay ve düşey zemin ivmeleri, Coulomb’un aktif ve pasif zemin kamlarına etkitilir. Kamaya etkileyen kuvvetlerin dengesinden, istinat duvarına etkileyen toplam zemin basınçları elde edilir.

Mononobe-Okabe Yönteminin temel kabulleri şunlardır.

1. Duvar deplasmanlarının mertebeleri duvar arkasında minimum aktif toprak basınçlarını oluşturacak kadar büyüktür.

2. Minimum zemin basınçları oluştuğunda, duvar arkasındaki zemin kırılma noktasındadır ve kırılma yüzeyi boyunca maksimum kayma gerilmeleri oluşur.
3. Zemindeki kırılma düzlemi duvar topuğundan başlayarak belli bir açıyla oluşur.
4. Duvar arkasındaki zemin kaması rijit bir kütle olarak davranır, kütle içindeki yatay ve düşey ivmeler sabittir ve duvar tabanı seviyesiyle aynı büyüklüğe sahiptir.
5. Sismik yanal itkinin etki noktası duvar tabandan H/3 kadar yüksektedir.

1.5.1.1. Mononobe-Okabe Yöntemi ile Toplam Aktif Zemin Basıncının Bulunması

Aktif durumda, zeminden duvara etkiyen basıncın deprem sırasındaki maksimum değerine “toplam aktif zemin basıncı” denir. Toplam aktif zemin basıncı dinamik ve statik zemin basınçlarının toplamıdır.

Şekil 29’da kuru, kohezyonsuz bir zeminde oluşan aktif zemin kamasına etkiyen kuvvetler gösterilmiştir. Duvarın birim uzunluğu için aktif zemin kamasına etkiyen kuvvetler;

W = Zemin kamasının ağırlığı,

P_{at} = Toplam aktif zemin basıncı,

R_{at} = Göçme düzlemi boyunca ki yüzey sürtünme ve normal kuvvetlerinin bileşkesi.

$C_h \cdot W$ = yatay yöndeki zemin atalet kuvveti ve

$C_v \cdot W$ = Düşey yöndeki zemin atalet kuvvetidir.

Burada;

$$C_h = \frac{a_h}{g} : \text{Yatay zemin ivmesi katsayısı}$$

$$C_v = \frac{a_v}{g} : \text{Düşey zemin ivmesi katsayısı}$$

a_h = Maksimum yatay zemin ivmesi

a_v = Maksimum düşey zemin ivmesi

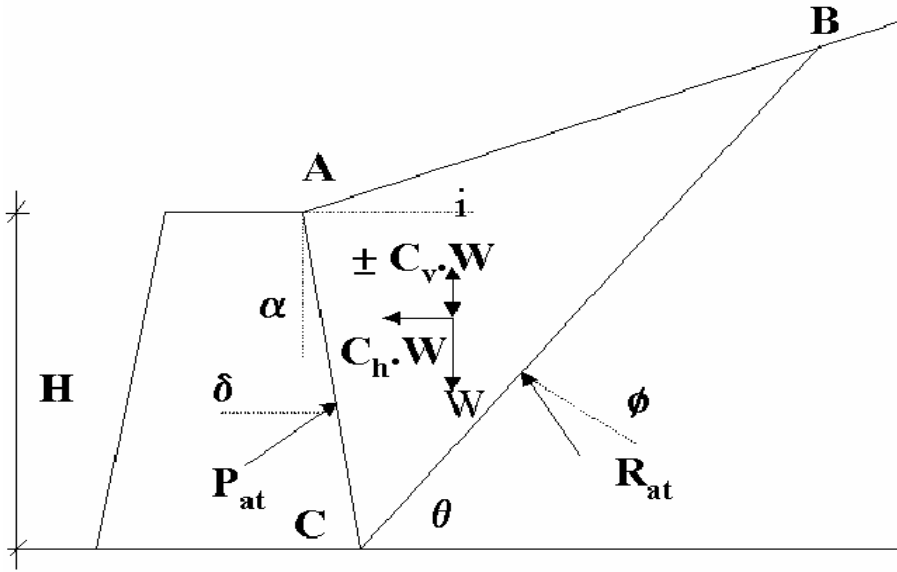
g = Yerçekimi ivmesi

C_v ’ nin işareti depremin düşey bileşenin yönüne bağlı olarak değişir.

Zemin kamasına etkiyen bu kuvvetlerin oluşturduğu kuvvet poliğonu Şekil 30'da gösterilmiştir. Kuvvet poliğondaki kuvvetlerin düşeyde dengede olması şartından;

$$P_{at} \cdot \cos(\alpha + \delta) - C_h \cdot W - R_{at} \cdot \sin(\theta - \phi) = 0 \quad (49)$$

yazılabilir.



Şekil 29. Aktif durum için Mononobe-Okabe yönteminde zemin kamasına etkiyen kuvvetler

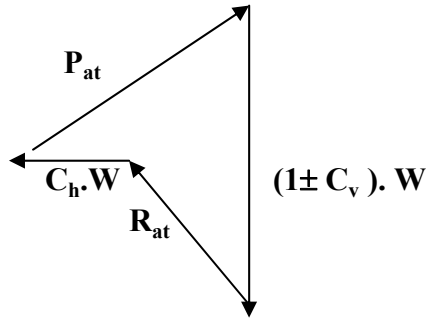
Burada;

α = Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı

δ = Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı (duvar sürtünme açısı),

θ = Göçme düzleminin yatay ile yaptığı açı

ϕ = Zemin içsel sürtünme açısıdır.



Şekil 30. Aktif durum için Mononobe-Okabe yönteminde kuvvet poligonu

Denklem(49) den;

$$R_{at} = \frac{1}{\sin(\theta - \phi)} [P_{at} \cdot \cos(\alpha + \delta) - C_h \cdot W] \quad (50)$$

elde edilir.

Kuvvet poligonundaki kuvvetlerin yatayda dengede olması şartından;

$$P_{at} \cdot \sin(\alpha + \delta) + R_{at} \cdot \cos(\theta - \phi) - (1 \pm C_v) \cdot W = 0 \quad (51)$$

elde edilir.

Denklem (50), denklem (51)'de yerine konulur ise;

$$P_{at} = \frac{(1 \pm C_v)}{\cos(\alpha + \delta)} \cdot \frac{1 + \tan \lambda \cdot \cot(\theta - \phi)}{\tan(\alpha + \delta) + \cot(\theta - \phi)} \cdot W \quad (52)$$

elde edilir.

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

'dir.

Zemin kamasının ağırlığı;

$$W = \gamma \cdot A(\triangle ABC) = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\sin(\theta - i)} \cdot \frac{\cos(\alpha - i)}{\cos^2 \alpha} \quad (53)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada;

γ = Zeminin birim hacim ağırlığı,

H = İstinat duvarının yüksekliği,

i = Zeminin üst yüzeyinin yatay ile yaptığı açıdır.

Denklem (53), denklem (51)'de yerine konulur ise

$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \frac{(1 \pm C_v)}{\cos(\alpha + \delta)} \cdot \frac{1 + \tan \lambda \cdot \cot(\theta - \phi)}{\tan(\alpha + \delta) + \cot(\theta - \phi)} \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\sin(\theta - i)} \cdot \frac{\cos(\alpha - i)}{\cos^2 \alpha} \quad (54)$$

elde edilir. Bu denklem,

$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 \pm C_v) \cdot \frac{\sin(\theta + \lambda + \phi)}{\cos(\theta - \phi - \alpha - \delta)} \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\sin(\theta - i)} \cdot \frac{\cos(\alpha - i)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha} \quad (55)$$

şeklinde düzenlenebilir.

Denklem (55); deprem sırasında, yatayla herhangi bir “ θ ” açısı yapan göçme yüzeyi ile duvar arka yüzeyi arasında kalan aktif zemin kamasının istinat duvarına yaptığı dinamik zemin basıncı için genel ifadedir.

c’ yi maksimum yapan “ θ_{ad} ” açısını bulmak için

$$\frac{dP_{at}}{d\theta} = 0 \quad (56)$$

işlemi yapılır ise,

$$\theta_{ad} = \phi - \lambda + \arctan \left[\frac{X_{1d} - \tan(\phi - \lambda - i)}{X_{2d}} \right] \quad (57)$$

elde edilir (Kramer, 1996).

Bu denklemde;

$$X_{1d} = \sqrt{\tan(\phi - \lambda - i) [\tan(\phi - \lambda - i) + \cot(\phi - \lambda - \alpha)] [1 + \tan(\delta + \lambda + \alpha) \cot(\phi - \lambda - \alpha)]} \quad (58)$$

$$X_{2d}=1+\{\tan(\delta+\lambda+\alpha)[\tan(\phi-\lambda-i)+\cot(\phi-\lambda-\alpha)]\} \quad (59)$$

dir.

Denklem (56), denklem (55)'de yerine konular ise, istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin basıncının şiddeti;

$$P_{at}=\frac{1}{2}.\gamma.H^2.K_{at} \quad (60)$$

şeklinde elde edilir.

Bu denklemde;

K_{at} = Toplam aktif zemin basıncı katsayısı olup,

$$K_{at}=\frac{(1\pm C_v).\cos^2(\phi-\lambda-\alpha)}{\cos\lambda.\cos^2\alpha.\cos(\delta+\alpha+\lambda)\left[1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta).\sin(\phi-\lambda-i)}{\cos(\delta+\alpha+\lambda).\cos(i-\alpha)}}\right]^2} \quad (61)$$

şeklinde ifade edilir.

Denklem (60)'e "Mononobe-Okabe Aktif Zemin Basıncı Denklemi" de denir.

Mononobe-Okabe aktif zemin basıncı denklemi, hem statik hem de dinamik zemin basınçlarının toplam değerini verir. Eğer denklemde $C_h=C_v=0$ alınır ise Coulomb'un "Statik Aktif Zemin Basıncı Denklemi" elde edilir.

Toplam aktif zemin basıncı, dinamik ve statik bileşenlere ayrılarak,

$$P_{at}=P_a+P_{ad} \quad (62)$$

şeklinde ifade edilebilir. Denklemdeki " P_{at} " terimi denklem (60), " P_a " terimi de denklem (49) ile hesaplanabilir. Dinamik bileşen olan " P_{ad} " nin, statik bileşen " P_a " ile aynı işaretli olup ve toplam aktif zemin basıncını arttırdığına dikkat edilmelidir.

Mononobe-Okabe yönteminde, Coulomb yönteminde olduğu gibi, istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin basıncı, zemin kamasına etkiyen kuvvetlerin dengesinden doğrudan bulunduğu için zemin basıncının dağılımı elde edilemez. Ancak genel olarak toplam aktif zemin basıncının,

$$P_{at} = \gamma \cdot z \cdot K_{at} \quad (63)$$

Şeklinde lineer olarak dağıldığı ve uygulama noktasının yerinin, duvar tabanından “H/3” yükseklikte olduğu kabul edilir (Kramer,1996).

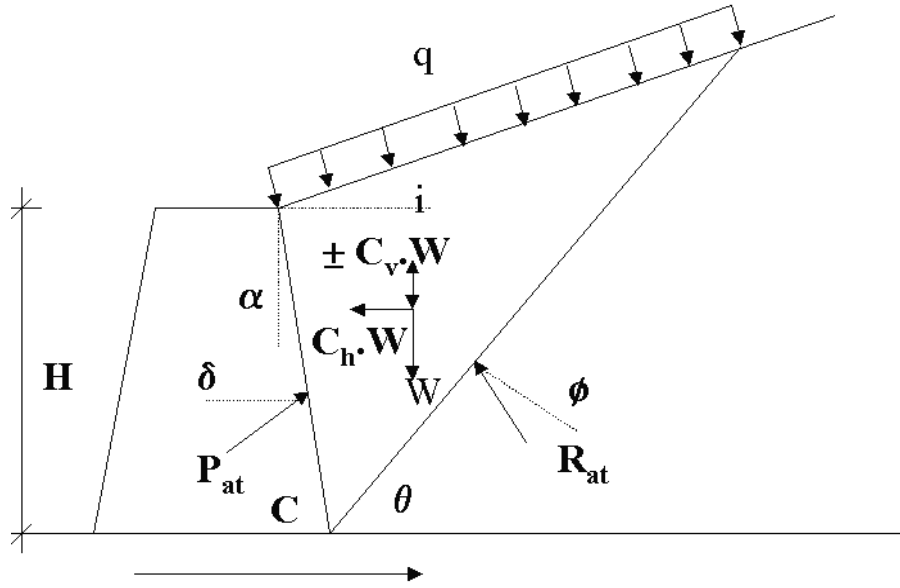
Mononobe-Okabe aktif zemin basıncı denkleminde $C_v = \left(\frac{1}{2} \approx \frac{2}{3} \right) \cdot C_h$ alındığında P_{at} ’nin ortalama %10 civarında bir değişiklik gösterdiği görülmektedir. Buna dayanarak Seed ve Whitman, toplam aktif zemin basıncı hesaplanırken düşey zemin ivmesinin göz ardı edilebileceğini önermiştir (Seed & Whitman,1970).

1.5.1.2.Zemin Üst Yüzeyinde Düzgün Yayılı Yük Olması Durumunda Mononobe-Okabe Yöntemi İle Toplam Aktif Zemin Basıncının Bulunması

Zemin olgu üst yüzeyinde düzgün yayılı ”q” ek yükünün olması durumunda, istinat duvarına etkiyen toplam aktif zemin basıncı şiddeti (Şekil 31);

$$P_{at} = \frac{1}{2} \left(\gamma \cdot H^2 + qH \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \right) \cdot K_{at} \quad (64)$$

Denklemler ile hesaplanır (Celep & Kumbasar,1998).

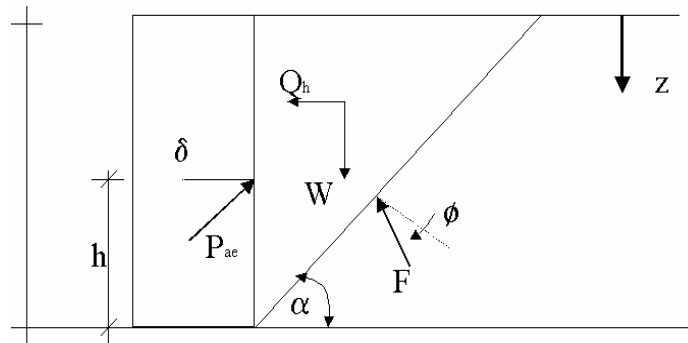


Şekil 31. Zemin üst yüzeyinde düzgün yayılı yük olması durumunda Mononobe - Okabe yönteminde zemin kamasına etkileyen kuvvetler

1.5.2. Steedman – Zeng yöntemi

Bir psödo statik analiz yöntemi olarak Mononobe – okabe yöntemi deprem yükünün dinamik karakterini çok uygun bir şekilde hesaba katmaktadır. Ancak, belirli dinamik tepki özelliklerini nispeten daha basit bir şekilde hesaba katmak da mümkündür. Bir istinat duvarı arkasındaki dolguda faz farkı ve büyütme etkileri, sismik zemin basınçlarının basit psödo – statik analizi kullanılarak hesaba katılabilir (Steedman ve Zeng, 1990).

Şekil 31 'de gösterilen sabit tabanlı konsol duvarı göz önüne alınız. Tabanın, genliği a_h olan bir harmonik yatay ivmeye maruz kalması halinde, duvarın tepesinden z derinliğindeki ivme aşağıdaki gibi ifade edilebilir.



Şekil 32. Steedman – Zeng yöntemi için duvar geometrisi ve notasyon.

$$a(z,t) = a_h \sin \left[w \left(t - \frac{H-z}{v_s} \right) \right] \quad (65)$$

sismik duvar basınçlarının yatayla α açısı yapan üçgen kama içindeki zeminden kaynaklandığı varsayılırsa, z derinliğinde katmanın ince elemanının kütlesi,

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} \frac{H-z}{\tan \alpha} dz \quad (66)$$

olur. Burada γ : arka dolgunun birim hacim ağırlığıdır. Buradan, duvar üzerine etkiyen toplam atalet kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q_h = \int_0^H m(z)a(z,t)dz = \frac{\lambda \gamma a_h}{4\pi^2 g \tan \alpha} - [2\pi H \cos w\zeta + \lambda(\sin w\zeta - \sin w)] \quad (67)$$

Burada , $\lambda = 2\mu / v_s$ w: düşey olarak yayılan kesme dalgasının dalga boyu ve $\zeta = t-H/v_s$ 'dir. Rijit bir kama şeklindeki özel durum için limit,

$$\lim_{v_s \rightarrow \infty} (Q_h)_{\max} = \frac{\gamma H^2 a_h}{2g \tan \alpha} = \frac{a_h}{g} W = k_h W \quad (68)$$

burada elde edilen sonuç Mononobe – Okabe yönteminde varsayılan psödo – statik kuvvete eşdeğerdir. Toplam (statik + dinamik) zemin itkisi, kama üzerindeki kuvvetleri bileşenlerine ayırmak suretiyle elde edilebilir.

$$P_{AE}(t) = \frac{Q_h(t) \cos(\alpha - \phi) + W \sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \quad (69)$$

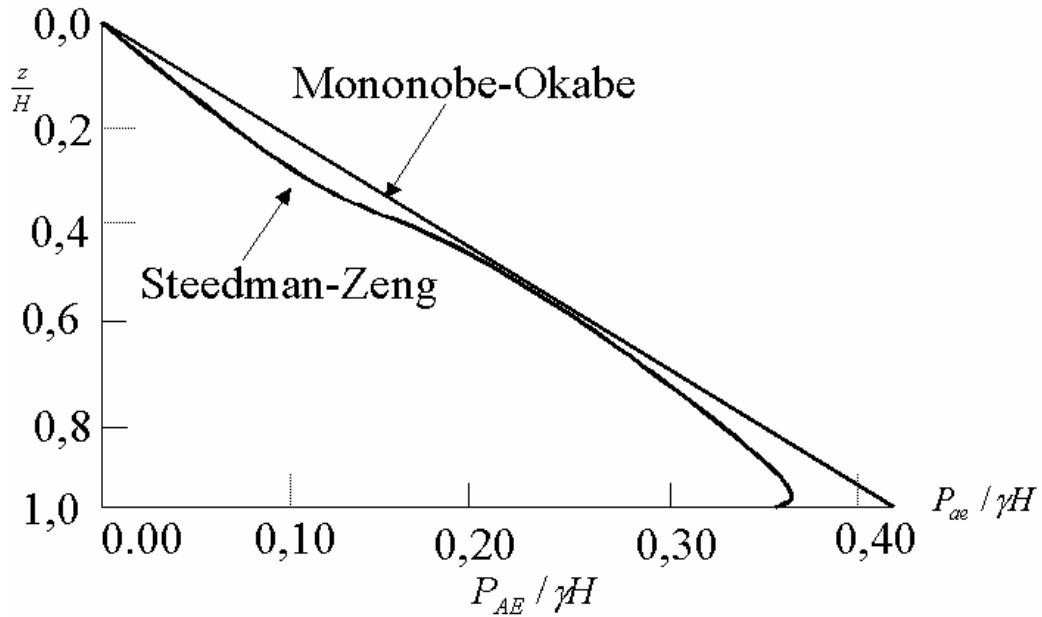
Toplam zemin etkisinin türevi alınarak da toplam zemin basıncı dağılımı bulunur:

$$P_{AE}(t) = \frac{\partial P_{AE}(t)}{\partial z} = \frac{\gamma z}{\tan \beta} \frac{\sin(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} + \frac{k_h \gamma z}{\tan \alpha} \frac{\cos(\alpha - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \alpha)} \sin \left[w \left(1 - \frac{z}{v_s} \right) \right] \quad (70)$$

(70) eşitliğinde derinlikle birlikte doğrusal olarak artan ve zamanla değişmeyen ilk terim, duvar üzerine etkileyen statik zemin basıncını temsil eder. Bileşke statik itki, duvarın tabanından $h_z=H/3$ kadar yukarıda bir noktada statik zemin basınç teorisine uygun şekilde etkir. İkinci terim de dinamik zemin basıncını temsil eder. H/λ oranına bağlı bir şekil ile derinliğin doğrusal olmayan bir fonksiyonu olarak artar. Doğrusal olmayan dinamik basıncın tipik bir örneği Şekil 32’de görülmektedir. Dinamik basınç derinlikle birlikte doğrusal olmayan şekilde arttığından, dinamik itkinin pozisyonu,

$$h_d=H \cdot \frac{2\pi^2 H^2 \cos w\zeta + 2\pi\lambda H \sin w\zeta - \lambda^2 (\cos w\zeta - \cos wt)}{2\pi H \cos w\zeta + \pi\lambda (\sin w\zeta - \sin wt)} \quad (71)$$

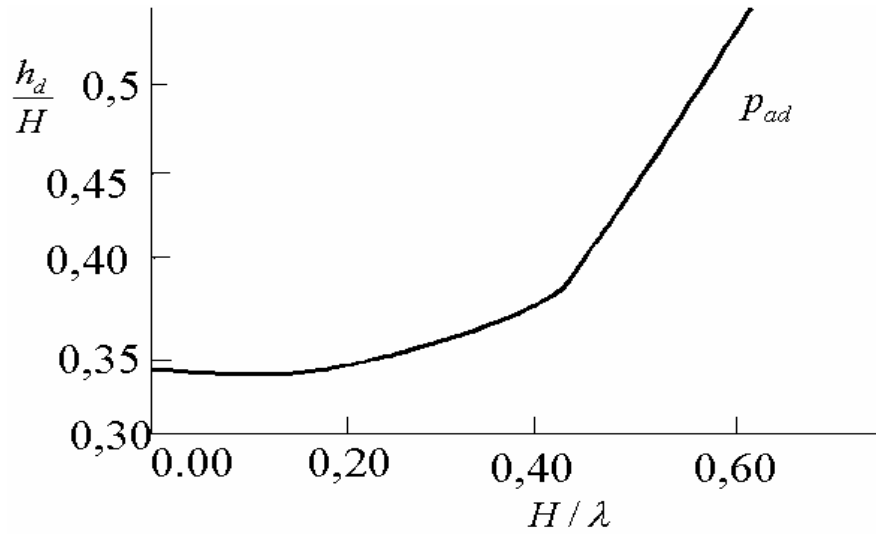
bağıntısına göre değişir. Çok düşük frekanslı hareketler (arka dolgu fazda hareket edecek şekilde küçük H/λ) için dinamik etkinin etki noktası $h_d=H/3$ ’tedir. Yüksek frekanslı hareketlerde etki noktası Şekil 33’de işaret edildiği gibi daha yukarı hareket eder.



Şekil 33. $k_h=0,2$ ve $H/\lambda=0,3$ kabul ederek, M-O ve Steedman –Zeng yöntemleri için normalize edilmiş basınç dağılımlarının karşılaştırılması (Steedman - ve Zeng, 1990)

Steedman – Zeng (1989) değişik rijitliklerdeki arka dolguların zemin itkilerinin, psödo-statik analizlerde arka dolgunun kesme dalgası hızlarının kullanıldığı zaman elde

edilenlere yakın olduğunu bulmuştur. a_h '[(65) eşitliğindeki sabit yerine] derinliğin bir fonksiyonu olarak ifade etmek ve (43) integral eşitliğini tekrarlamak suretiyle, arka dolgu büyütme etkileri hesaba katılabilir. Arka dolgu büyütmesinin duvar üzerine etkiyen yükleri ve bileşke zemin itkisinin yüksekliğini arttıracığına dikkat ediniz. $a_h(z,t)$ 'nin duvarın tabanındaki girdi hareketten itibaren tepeden iki misli büyüdüğü yere kadar doğrusal olarak arttığını varsayarak, Steedman ve Zeng (1990) santrifüj testlerinin sonuçları ile iyi bir uyum içerisinde olduğunu göstermiştir.



Şekil 34. $k_h=0,2$ için maksimum dönme momenti anında dinamik itkinin yeri (Steedman ve Zeng, 1990)

1.5.3. Deprem Yönetmeliği

1998 yılında yürürlüğe giren “Deprem Yönetmeliği” olarak da bilinen “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” te toplam zemin basınçlarının, Mononobe-Okabe yöntemi ile hesaplanması öngörülmektedir.

Deprem yönetmeliğinin de, toplam aktif zemin basıncının şiddetinin denklem(72)'de verilen;

$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{at} \quad (72)$$

(72) ve toplam pasif zemin basıncının şiddetinin denklem (73)'de verilen;

$$P_{pt} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{pt} \quad (73)$$

ifadeleri ile hesaplanmasını önerilmiştir.

Deprem Yönetmeliğine göre, statik basınca ek olarak deprem sırasında oluşan dinamik aktif zemin basıncının dağılımı;

$$P_{ad}(z) = 3K_{ad} \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot P_v(z) \quad (74)$$

dinamik pasif zemin basıncının dağılımı;

$$P_{pd}(z) = 3K_{pd} \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot P_v(z) \quad (75)$$

denklemleri ile hesaplanacaktır.

Burada;

$$K_{ad} = K_{at} - K_a \quad (76)$$

ve

$$K_{pd} = K_{pt} - K_p \quad (77)$$

olup K_{at} denklem (61), K_{pt} denklem (71)

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - i)}{\cos(\delta + \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (78)$$

ve

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + i)}{\cos(\delta - \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (79)$$

bulunur.

Denklem (61) ve (71)'deki “ λ ” açısı, kuru zeminlerde denklem (52)'den su seviyesinin altındaki zeminlerde

$$\lambda''' = \arctg\left(\frac{F_h}{F_v}\right) = \arctg\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_b} \cdot \frac{C_h}{1 \pm C_v}\right) = \arctg\left(\frac{G_s + e}{G_s - 1} \cdot \frac{C_h}{1 \pm C_v}\right) \quad (80)$$

ile hesaplanır.

Bu denklemdeki yatay zemin ivme katsayısı;

Düşeyde konsol olarak çalışan istinat duvarlarında;

$$C_h = 0.2(I + 1)A_o \quad (81)$$

yatay doğrultuda bina döşemeleri veya ankrajlarla desteklenmiş istinat duvarlarında;

$$C_h = 0.3(I + 1)A_o \quad (82)$$

denklemleri ile hesaplanacaktır.

Burada;

A_o = Etkin yer ivme katsayısı (Tablo 4),

I = Bina önem katsayısıdır (Tablo 5)

Düşey deprem ivme katsayısı, yatay ivme katsayısının üçte ikisi alınacaktır. Ancak yatay doğrultuda bina döşemeleri ile mesnetlenmiş bodrum duvarlarında düşey zemin ivmesi ihmal edilebilir.

Tablo 4. Etkin yer ivmesi katsayısı

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Tablo 5. Bina önem katsayısı

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
<p><u>2. İnsanlar uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u></p> <p>a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, cb</p> <p>b) Müzeler</p>	1.4
<p><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></p> <p>Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb</p>	1.2
<p><u>4. Diğer binalar</u></p> <p>Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)</p>	1.0

Kuru zeminler için denklem (73) ve (75)'de;

$$P_v(z) = \gamma \cdot z \quad (83)$$

alınır.

Zemin üst yüzeyinde “q “ düzgün yaylı ek yükünün olması halinde, deprem sonucunda ek yükten dolayı meydana gelecek ilave zemin basıncının şiddeti aktif durumda;

$$Q_{at} = q \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} H \cdot K_{at} \quad (84)$$

pasif durumda;

$$Q_{pt} = q \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} H \cdot K_{pt} \quad (85)$$

denklemleri ile hesaplanır.

Ek yükten dolayı meydana gelecek ilave dinamik zemin basıncının dağılımı aktif durumda;

$$q_{ad}(z) = \frac{2q_o \cdot K_{ad} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot \cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \quad (86)$$

pasif durumda;

$$q_{pd}(z) = \frac{2q_o \cdot K_{pd} \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot \cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \quad (87)$$

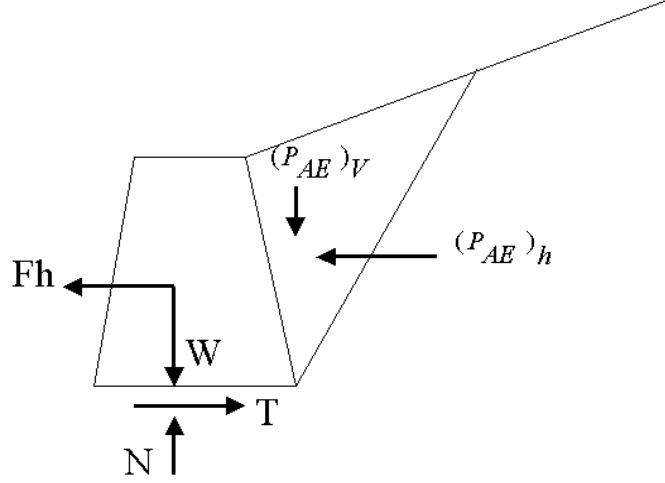
denklemleri ile elde edilir.

1.5.4. Richards – Elms Yöntemi

Richard ve Elms (1979) ağırlık duvarlarının sismik tasarımında izin verilebilir duvar yer değiştirmelerine dayalı bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemdeki kalıcı yer değiştirme hesaplamaları başlangıçta sismik stabilite değerlendirmesi için geliştirilen Newmark‘ ın kayan blok yöntemine benzer tarzdadır.

Richard - Elms yönteminin uygulaması, duvar arka dolgu sistemi için yenilme ivmesinin değerlendirilmesini gerektirir. Şekil 34’de gösterilen ağırlık duvarını göz önüne alınız. Aktif kama, arka dolguya doğru yönlenmiş ivmeye maruz kaldığı zaman, sonuçta

oluşan atalet kuvvetleri arka dolgudan uzaklaşacak şekilde etkilenir. Duvarı tabanı üzerinde kaydırabilecek büyüklükteki ivme düzeyine yenilme ivmesi denir. İvmenin yenilme ivmesine eşit olduğu zaman yatay ve düşey denge olmasını gerektirir.



Şekil 35. Yerçekimi ivmesi ve psödo – statik ivmeler etkisi altındaki ağırlık duvarı

$$T = F_h + (P_{AE})_h$$

$$N = W + (P_{AE})_v \quad (88)$$

$T = N \tan \phi_b$, $F_h = a_y W/g$, $(P_{AE})_h = P_{AE} \cos(\delta + \theta)$ ve $(P_{AE})_v = P_{AE} \sin(\delta + \theta)$ yer değiştirmelerini yaparak , yenilme ivmesi aşağıdaki gibi hesaplanabilir :

$$a_y = \left[\tan \phi_b - \frac{P_{AE} \cos(\delta + \theta) - P_{AE} \sin(\delta + \theta)}{W} \right] g \quad (89)$$

Richard ve Elms P_{AE} ' nin hesaplanmasında M-O yönteminin kullanılmasını önermiştir (M-O yöntemi a_y ' nin bilinmesi gerektiğinden (3.40) eşitliğinin çözümü iterasyonla elde edilmelidir). Kayan blok analizlerinin sonuçlarını Newmark (1965) ve Franklin ve Chang (1977) ile aynı tarzda kullanan Richard ve Elms kalıcı blok yer değiştirmesi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$d_{kal} = 0,087 \frac{v_{max}^2 a_{max}^3}{a_y^4} \quad \frac{a_y}{a_{max}} \geq 0,3 \quad (90)$$

Burada,

v_{max} = Pik yer hızı

a_{max} = Pik yer ivmesi

a_y = Duvar arka dolgu sisteminin yenilme ivmesidir.

1.5.5. Seed ve Whitman Yöntemi

Seed ve Whitman (1970), sismik yanal toprak basıncı katsayısının daha kolay bir yöntemle hesaplanabilmesi için amprik bir tasarım yöntemi sunar. Seed ve Whitman 'ın yönteminin ana hatları aşağıdaki gibi açıklanabilir;

1. Maksimum dinamik aktif toprak basıncı E_{AE} , statik basınç ile dinamik basınç artışı bileşenlerinin toplamı olarak ifade edilir.

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \cdot K_A \cdot \gamma \cdot H^2 + \Delta E_{AE} \quad (91)$$

2. Dinamik basınç artışı, sınırları Şekil 36 'da görülen OAB ile verilen zemin kamasına etkileyen atalet kuvveti olarak alınır. Kamanın, duvar üst kotundan itibaren yatay olarak $3/4H$ geriye kadar uzadığı varsayılır. ΔE_{AE} ve E_{AE} ,

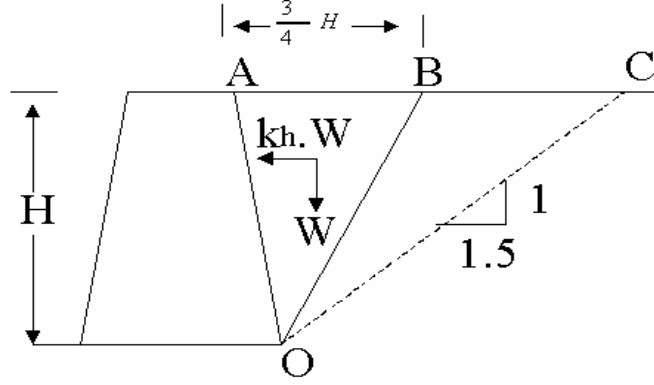
$$\Delta E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \frac{3}{4} k_h \quad (92)$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} \gamma H^2 (K_A + \frac{3}{4} k_h) \quad (93)$$

3. Yanal toprak basıncının dinamik bileşeninin duvar tabanından $0.6H$ yukarıda etkilediği kabul edilir. Böylece toplam itkinin etki noktası h ;

$$h = \frac{E_A + \Delta E_{AE}(0.6H)}{E_{AE}} \quad (94)$$

4. Kırılma kamasının yeri, yatay ivmenin büyüklüğüne bağlı olarak OB ve OC arasında olabilir.



Şekil 36. Kritik yenilme düzleminin belirlenmesinde kullanılan amprik yaklaşım

1.5.6. Wood Yöntemi

Wood (1973), rijit duvarların dinamik davranışını; sabit, yanal olarak etkiyen ivme altında, homojen zemin üzerinde elastik çözümler kullanarak incelemiştir. Rijit duvarlar örnek olarak kaya üzerine inşa edilen fazla kütleyle sahip ağırlık tipi istinat duvarları, alttan ve üstten hareketleri kısıtlanmış bodrum duvarları verilebilir. Wood' un analitik modelini, rijit taban üzerine oturan iki rijit duvar arasına yerleştirilen zemin oluşturur. Duvarlar, birbirini etkilemeyecek kadar uzağa yerleştirilmiştir. Verilen hareket ivmesinin frekansının zeminin temel frekansının yarısından küçük olduğu durumlarda dolgu ivmesi ihmal edilmektedir. Wood' un modeli Şekil 37' de gösterilmiştir.

Wood yöntemine göre istinat duvarına gelen dinamik itkinin hesabı şu şekilde yapılır:

$$\Delta P_{eq} = \gamma H^2 + \frac{a_h}{g} F_p \quad (95)$$

Burada;

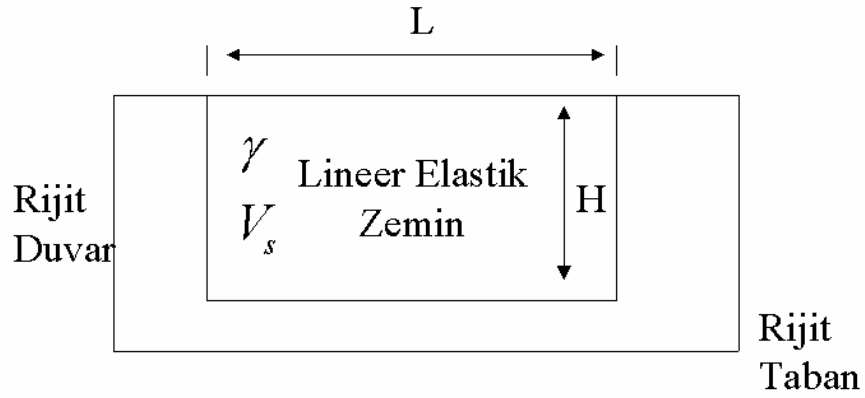
$$\Delta P_{eq} = Ek \text{ dinamik itki}$$

γ = Dolgunun birim ağırlığı

a_h = Maksimum yatay ivme

g = Yerçekimi ivmesi

F_p = Boyutsuz itki faktörü olarak verilmiştir.



Şekil 37. Wood' un (1973) rijit istinat duvarı modeli (Kramer,1996)

Pürüzsüz rijit duvar için, Wood taban etrafında oluşan maksimum sismik momentin hesabı için aşağıdaki ifadeyi sunmuştur.

$$\Delta M_{eq} = \gamma H^3 * \frac{a_h}{g} F_M \quad (96)$$

Burada;

ΔM_{eq} = Taban etrafında oluşan maksimum sismik moment

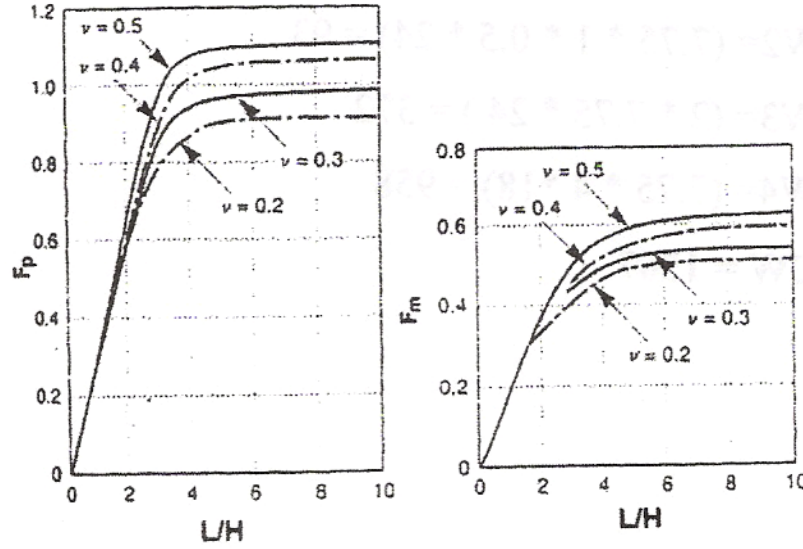
F_M = Boyutsuz moment faktörü

Dinamik itki artışının etki noktası aşağıdaki ifadeden türetilebilir.

$$h_{eq} = \frac{\Delta M_{eq}}{\Delta P_{eq}} = H \frac{F_M}{F_p} \quad (97)$$

Şekil 38 kullanılarak, itkinin dinamik bileşenin etki noktasının duvar tabanından 0.63H yükseklikte olduğu görülmektedir.

Wood' un elastisite teorisine dayanan çözümünü diğer yöntemlere göre daha yüksek itki değerleri vermektedir, ancak bir çok problemde ilk yaklaşım olarak tatminkar bir biçimde kullanılabilir.



Şekil 38. Değişik geometriler ve zeminin Poisson değerleri için boyutsuz itki faktörü (Wood, 1973)

1.5.7. Whitman – Liao Yöntemi

Whitman – Liao(1984), Richards – Elms modelindeki hataları istatistiksel bir bakış açısıyla incelemiştir. Deprem hareketinin karakteristiklerindeki belirsizlikler, istinat duvarının dalga yönüne göre sahadaki yerleşimi, dolgu ve temeldeki içsel sürtünme açıları, duvar – zemin sürtünme açısı modele dahil edilmiştir. Whitman ve Liao, deprem hareketinde düşey zemin ivmesi olmasa bile, kinematik şartları sağlaması için yatay zemin hareketinden doğacak düşey zemin hareketi ve ivmenin etkisini, rijit – plastik modeldeki belirsizlikleri, duvarın dönme hareketini de çözümlenmelerine dahil etmişlerdir. Böylece güvenlik faktörleri kendiliğinden modelin içine eklenmiştir. Tasarım ivmesi olan “N” şu şekilde hesaplanır.

$$\frac{N}{A} = 0.66 - \frac{1}{9.4} \ln \frac{DA}{V^2} \quad (98)$$

yukarıdaki denklem, belirlenen yer değiştirmenin %5 aşılma olasılığına göre hesaplanmıştır. Hesaplanan N değerinin kullanımı Richards – Elms yöntemiyle aynıdır. Whitman ve Liao, yöntemleriyle hesaplanan duvar boyutlarının Richards – Elms yöntemiyle karşılaştırıldığında daha az olduğundan bahsederken, bu konuda daha fazla çalışmanın gerektiğini eklemişlerdir.

1.5.8. Nadım – Whitman Yöntemi

Nadım – Whitman(1983), Mononbe – Okabe ve Richards – Elms yöntemlerinin zeminin ivme büyütmesini göz ardı ettiğini; duvarın ivme büyütmesi altında daha fazla dinamik basınc ve yer değiştirmeye maruz kaldıklarını belirtir. Nadim ve Whitman’ ın çalışmalarında, deprem hareketinin harmonik fonksiyon ve gerçek kayıtlar olarak tanıtıldığı sonlu elemanlar ozumlmeleri rijit duvar kabuluyule karşılaştırıldıklarından ivme büyütmesini ve beraberinde basınc artışlarını ortaya koyarlar. Nadim ve Whitman, ivme büyütmesini mevcut tasarım kriterlerini onermiştir:

1. Dolgunun birinci salınım frekansı olan f_1 , denklem (99) yardımıyla hesaplanır. Burada V_s kayma dalgası hızı(m/s) ve H, zemin tabaksının yüksekliğidir. Seçilen.tasarım depreminin hakim frekansı olan f , ayrıca seçilir.

$$f_1 = \frac{V_s}{4H} \quad (99)$$

2. f/f_1 , 0.25’ten kuyukse yer ivmesi büyütmesi ihmal edilir. f/f_1 değeri 0.5 yakınındaysa, maksimum yer ivmesi, A, ve maksimum yer hızı, V, %25-%30 arttırılır. f/f_1 0.7 ile 1 arasındaysa A ve V %50 arttırılır.
3. Yeni A ve V değerleri Richards – Elms yönteminde yer hareketi parametreleri olarak kullanılır.

Nadim ve Whitman ayrıca hareket sonunda kalıcı ek basınc miktarının statik basınc miktarının %30’una kadar varabileceğini belirtmişlerdir.

1.5.9. Eurocode – 2004 Yöntemi

İstinat yapıları, deprem esnası ve sonrasında ciddi yapısal hasar görmeksizin işlevlerini yerine getirmeleri için geliştirilen yöntemlerden birisidir. Yarı-statik analiz yönteminde sismik etki, ağırlığın bir sismik katsayı ile çarpımına eşit olan yatay ve düşey bir çift statik kuvvetle temsil edilir. Düşey sismik kuvvet aşağı veya yukarı olmak üzere en gayrı münasip durumu üretecek yönde alınacaktır. Bu gibi eşdeğer statik kuvvetlerin şiddeti, belli bir deprem bölgesi için, kabul edilebilir ve seçilen yapısal çözümün müsaade ettiği kalıcı deplasman miktarına bağlıdır. Özel çalışmaların bulunmadığı durumlarda, yatay (k_h) ve düşey (k_v) sismik katsayılar aşağıdaki gibi alınabilir.

$$k_h = \alpha \frac{S}{r} \quad (100)$$

$$k_v = \pm 0.5k_h \text{ eğer } \frac{a_{vg}}{a_g} > 0.6 \quad (101)$$

Diğer türlü

$$k_v = \pm 0.33k_h \quad (102)$$

Burada,

a = A tipi zemin yüzeyinde tanımlı tasarım ivmesinin, yerçekimi ivmesine oranı.

r = İstinat yapısının tipine bağlı bir değer

Tablo 6. Yatay sismik katsayı k_h hesabında kullanılacak r değerleri (Eurocode-2004)

İstinat yapısının tipi	r
Enfazla $d_r = 300.\alpha.S$ deplasmana müsaade eden serbest ağırlık duvarları	2
Enfazla $d_r = 200.\alpha.S$ deplasmana müsaade eden serbest ağırlık duvarları	1.5
Esnek betonarme duvarlar, ankrajlı veya desteklenmiş (braced) duvarlar, düşey kazıklara oturan betonarme duvarlar, tutulmuş bodrum duvarları ve köprü kenar ayakları	1

10 m yi geçmeyen duvarlarda sismik katsayı duvar boyunca sabit alınacaktır. Kavramsal olarak r faktörü, en büyük kalıcı deplasman tahdidini veren ivme değeri ile limit denge

durumuna karşı gelen ivmenin oranı olarak tanımlanır. Dolayısıyla, daha büyük deplasmanları tolere edebilen duvarlar için r faktörü büyüktür. 10 m den yüksek duvarlar için r faktörü, bir boyutlu düşey ilerleyen dalgalar için bir serbest-alan analizi (free-field) yapılarak yapı yüksekliği boyunca en büyük yatay zemin ivme değerlerinin ortalaması alınarak α çarpanı için daha iyi bir değer elde edilebilir.

İstinat yapısına etkiyen toplam tasarım kuvveti E_d

$$E_d = \frac{1}{2} \gamma^* (1 \pm k_v) K.H^2 + E_{ws} + E_{wd} \quad (103)$$

ifadesi ile verilir. Burada,

H = Duvarın yüksekliği

E_{ws} = Static su kuvveti

E_{wd} = Hidro-dinamik su kuvveti

γ^* = Zemin birim hacim ağırlığı

K = Toprak basıncı katsayısı (statik + dinamik)

k_v = Düşey sismik katsayı

Toprak basıncı katsayısı aşağıdaki Mononobe-Okabe formüllerinden aktif durum için:

$$\beta \leq \phi'_d - \theta \text{ ise}$$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \theta - \beta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (104)$$

$$\beta > \phi'_d - \theta \text{ ise}$$

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d)} \quad (105)$$

Pasif durum için (zemin ve duvar arasında sürtünme ihmal edilirse)

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi_d - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2(\psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi_d) \cdot \sin(\phi_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \beta) \cdot \sin(\psi + \theta)}} \right]^2} \quad (106)$$

Şeklinde hesaplanabilir. Yukarıdaki ifadelerde,
 ϕ_d zeminin tasarım kayma açısı olup

$$\phi_d' = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{\gamma_{\phi'}} \right) \quad (107)$$

ifadesi ile belirlenir. ψ and β şekilden görüleceği üzere, sırasıyla, duvar sırtının ve dolgu yüzeyinin yataya eğimleridir. δ_d zemin ve duvar arasındaki tasarım sürtünme açısı olup

$$\delta_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \delta}{\gamma_{\phi'}} \right) \quad (108)$$

ile hesaplanır.

Toprak basıncı katsayısı zeminde bulunan su seviyesine göre değişkenlik gösterir.

- Eğer su seviyesi istinat duvarının altında ise;

γ : zeminin birim hacim ağırlığı, E_{wd} : 0

$$\tan \theta = \frac{k_h}{1 \pm k_v} \quad (109)$$

- Eğer su seviyesi altında dinamik olarak geçirimiz zemin var ise;

$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$, ve $E_{wd} = 0$

$$\tan \theta = \frac{\gamma}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \quad (110)$$

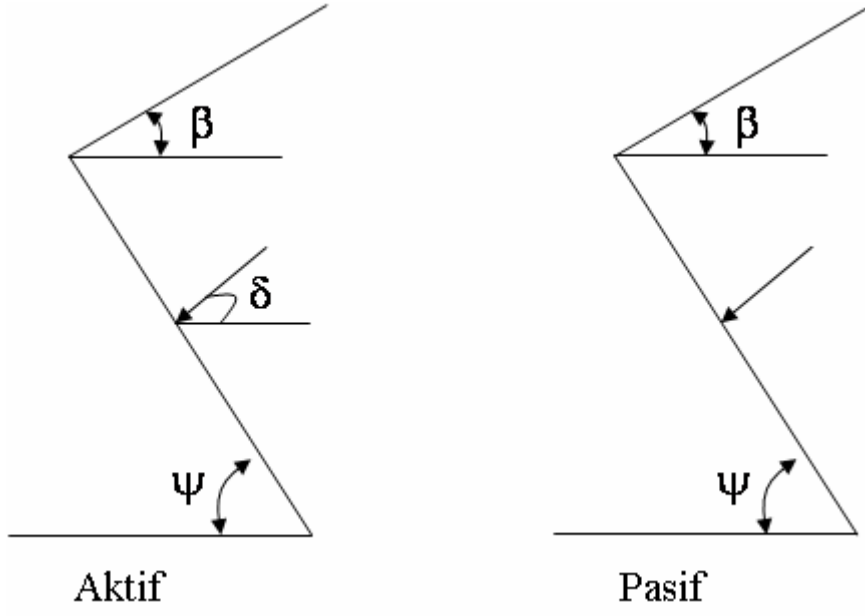
- Eğer su seviyesi altında kalan dinamik olarak (yüksek derecede) geçirgen zemin ise;

$\gamma^* = \gamma - \gamma_w$, ve $E_{wd} = 0$

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H^2 \quad (111)$$

$$\tan \theta = \frac{\gamma_d}{\gamma - \gamma_w} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \quad (112)$$

Şeklinde hesaplanır.



Şekil 39. Toprak basıncı katsayılarının hesabında kullanılan açılar için kurallar

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Çalışmalarda Kullanılan Programın Tanıtımı

Bu çalışma esnasında geliştirilen program ile istinat duvarının maruz kaldığı tehlikelerden olan a) Kayma, b) Devrilme ve c) Zemin basıncının emniyet sınırını aşması durumları değişik duvar boyutları ve maruz kaldığı yükler ile değişen arazi şartları, zemin özellikleri bakımından kontrol yapılarak tehlikelere karşı yeterli güvenliğe sahip tasarıma imkan veren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Programda seçilen istinat duvarı için deprem olması durumunda veya deprem olmaması durumunda ayrı ayrı tasarım gerçekleştirebilmek mümkündür.

Programın çalışmasında veri girişi ekrandan veya data dosyaları oluşturularak yapılabilir. Verilerin giriş sıralaması şu şekilde olmaktadır.

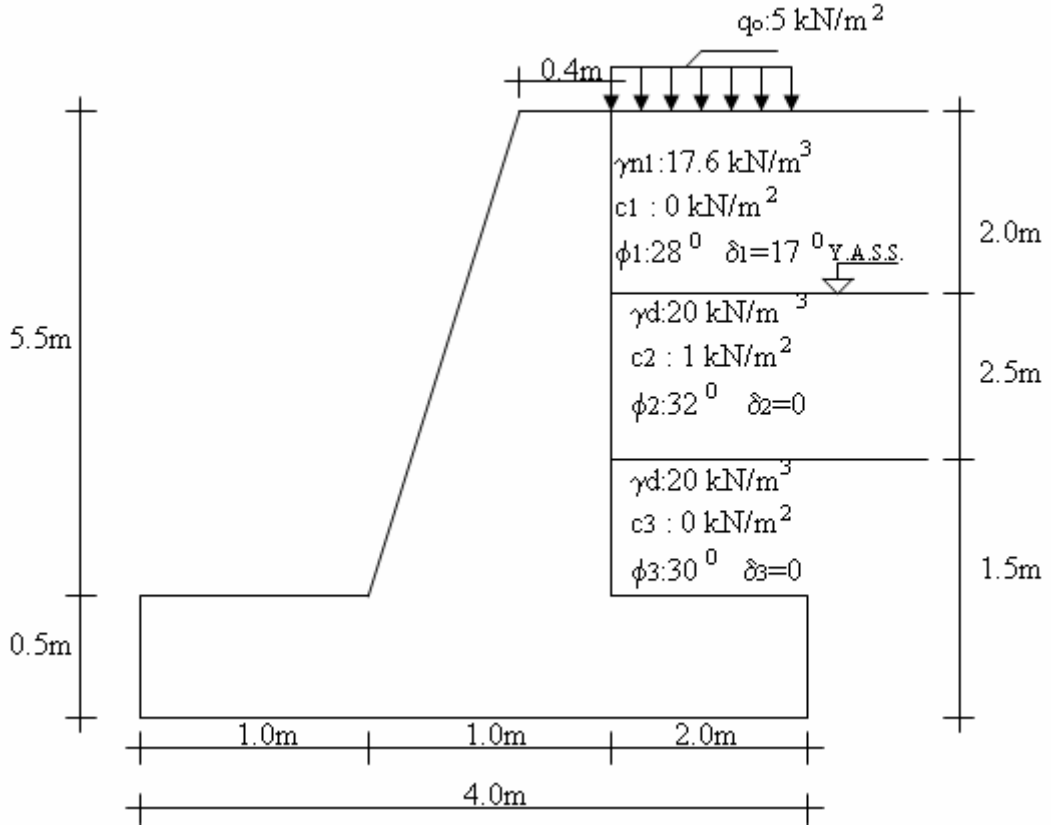
- İlk olarak istinat duvarının eleman sayısı girilir.
- Her bir elemana ait köşe sayıları girilir.
- Her elemanın birim hacim ağırlığı sırasıyla girilir. (duvar arkasındaki zemin tabakasındaki su olan kısımda batık birim hacim ağırlık kullanılır)
- Elemanlarının köşe noktalarının X ve Y koordinatları yazılır.
- Duvar arkasındaki tabaka sayısı girilir.
- Duvar arkasındaki tabakanın veya tabakaların yüzeyden itibaren z koordinatları girilir.
- Duvar üzerinde sürşarj yükü varsa değeri girilir.
- Duvar arkasındaki tabaka veya tabakaların her birinin zemin özellikleri girilir. (ϕ , α , δ , β , γ_n , veya γ_d)
- Duvar arkasında zeminde su olması durumunda suyun birim hacim ağırlığı girilir.
- Deprem hesabında kullanılmak üzere etkin yer ivme katsayısı, yapı önem katsayısı ve Eurocode- 2004 yönteminde kullanılmak üzere istinat yapısının türüne göre değişken olan r değeri girilir.

Ele alınan duvara ilişkin veriler girildikten sonra programın çalıştırılması ile duvarda oluşacak kuvvetlerin ve momentlerin büyüklükleri, kayma ve devrilme tahkikleri

esnasındaki güvenlik sayılarındaki değişim, istinat duvarında oluşan eksantrikliğin mertebesi, temel ön ve arkasında meydana gelen zemin gerilmeleri ve deprem yükü göz önüne alındığı takdirde bunlarda meydana gelecek değişimler tespit edilebilir.

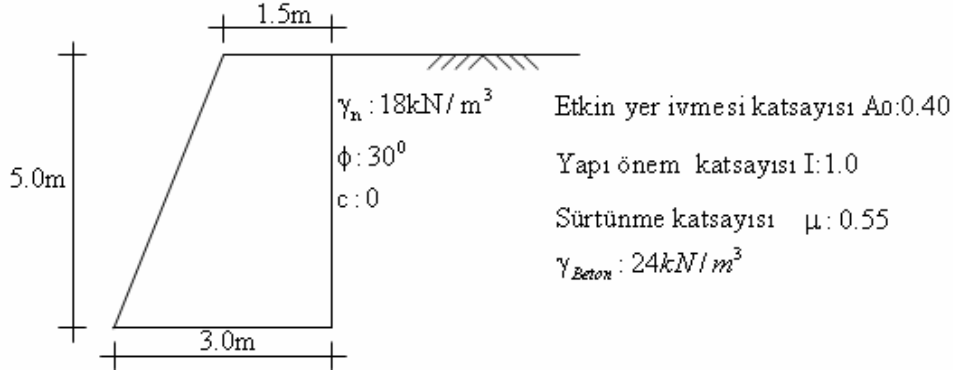
2.2. Yapılan Sayısal Analizler

Bilgisayar programı kullanılarak aşağıda Şekil 40' verilen özelliklere sahip bir konsol tipi betonarme istinat duvarının zemin ve deprem etkilerine göre davranışı incelenmiştir. Seçilen duvara ait zemin özellikleri ve duvar boyutları şekil üzerinde belirtilmiştir. Yapılan bu uygulamada sürtünme katsayısı olan $\mu_s = 0.55$, betonun birim hacim ağırlığı $\gamma_{beton} = 24 \text{ kN} / \text{m}^3$, dinamik durumda hesaba katılmak üzere etkin yer ivme katsayısı $A_0 = 0.40$ ve yapı önem katsayısı $I=1.0$ olarak alınmiştır.



Şekil 40. "1" No lu analize ait betonarme istinat duvarı tasarımı

Yukarıda şekil 40'da konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Verilen bu analizin sonuçları ve elde edilen veriler program çıktısı olarak Ek 1' de verilmiştir.

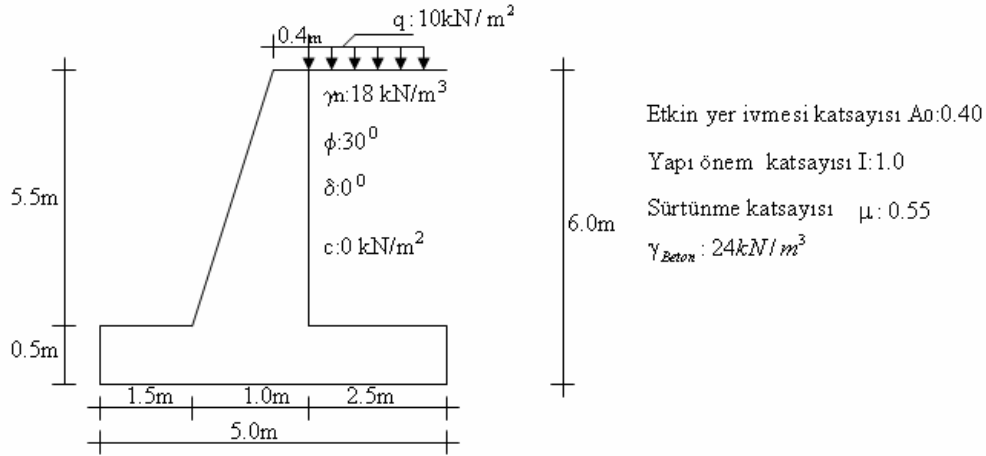


Şekil 41. “2” No lu analize ait ağırlık istinat duvarı tasarımı

Yukarıda şekil 41’de ağırlık tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Ağırlık duvarının arkasındaki zeminin etkisinden ve kendi ağırlığından dolayı maruz kaldığı yükler etkisinde gerekli tahkikler yapılarak duvarın depremlili ve depremsiz durumdaki davranışları sonucu deviren ve karşı koyan momentlerin değişimi, güvenlik sayılarındaki değişimler aşağıda tablo 7’ de verilmiştir.

Tablo 7. “2” No’ lu analiz sonuçları

	Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık	270,00	270,00	270,00
Toplam aktif kuvvet	75,00	149,97	121,93
Karşı koyan moment	495,00	495,00	495,00
Deviren moment	125,00	348,44	304,83
Kaymaya karşı koyan kuvvet	148,50	148,50	148,50
Tabandaki toplam düşey yük	270,00	270,00	270,00
Temel tabanı ortasındaki moment	35,00	258,44	214,83
Eksantrisite	0,13	0,96	1,29
Devrilmeye karşı güvenlik	3,96	1,42	1,62
Kaymaya karşı güvenlik	1,98	0,99	1,22
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	113,33	331,60
	Min Gerilme	66,67	Çekme
			Çekme

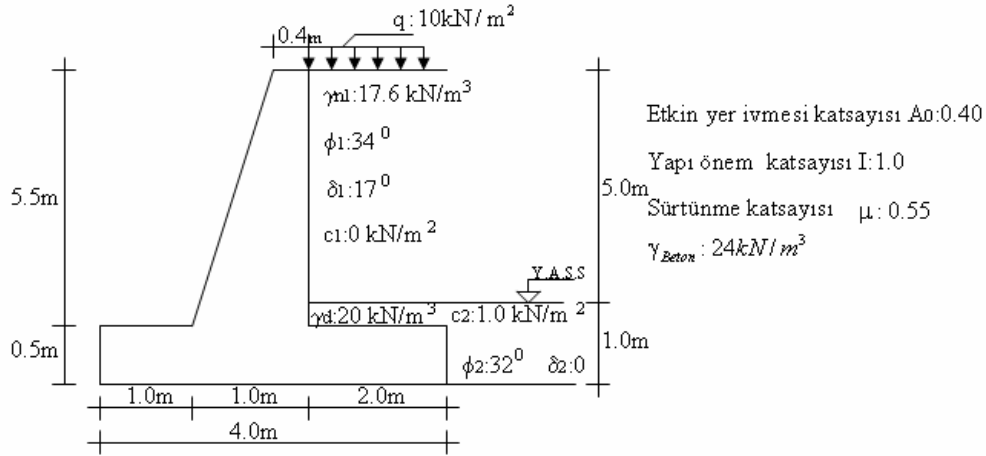


Şekil 42. “3” No lu analize ait konsol istinat duvarı tasarımı

Yukarıda şekil 42’de konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Bu duvarın maruz kaldığı yükler etkisinde davranışları incelenmiş ve gerekli tahkikler depremlili ve depremsiz durumdaki davranışları ayrı ayrı incelenmiş ve meydana gelen momentler ile güvenlik sayılarındaki değişim aşağıda tablo 8’de verilmiştir.

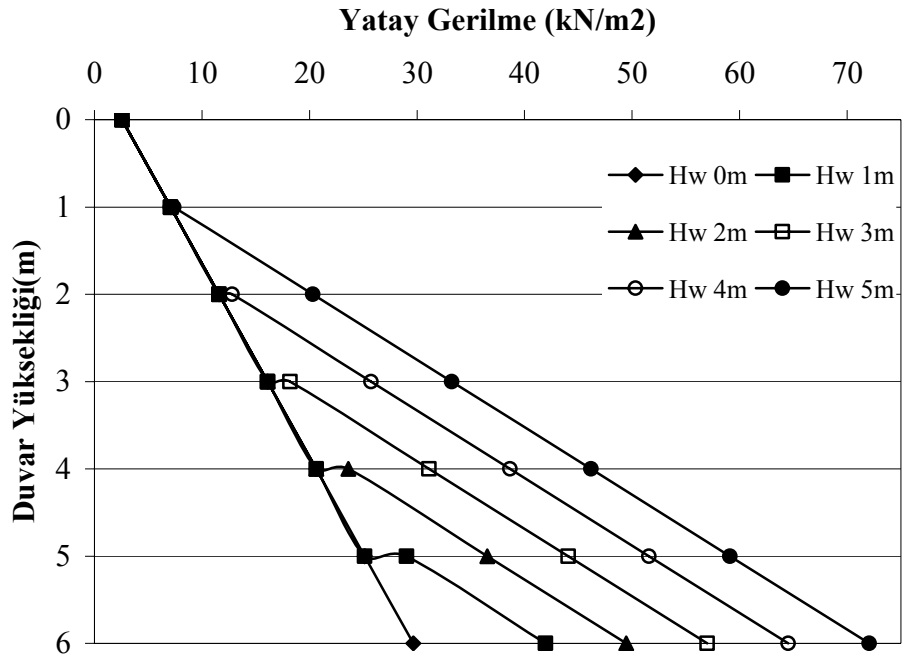
Tablo 8. “3” No’ lu analiz sonuçları

	Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık	405,72	405,72	405,72
Toplam aktif kuvvet	128,0	163,06	208,10
Karşı koyan moment	1284,35	1284,35	1284,35
Deviren moment	276,0	509,09	624,29
Kaymaya karşı koyan kuvvet	223,15	223,15	223,15
Tabandaki toplam düşey yük	430,72	430,72	730,72
Temel tabanı ortasındaki moment	25,30	207,79	322,99
Eksantrisite	0,06	0,48	0,75
Devrilmeye karşı güvenlik	4,65	2,52	2,06
Kaymaya karşı güvenlik	1,74	1,13	1,07
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	92,22	136,01
	Min Gerilme	80,07	36,27
			8,63

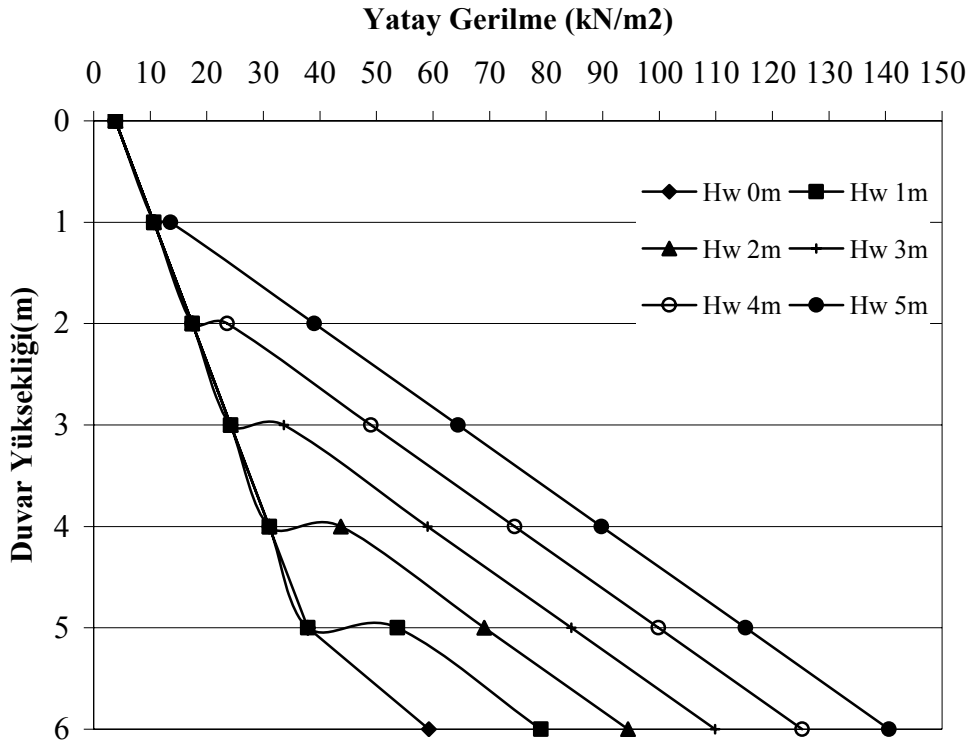


Şekil 43. "4" No lu analize ait konsol istinat duvarı tasarımı

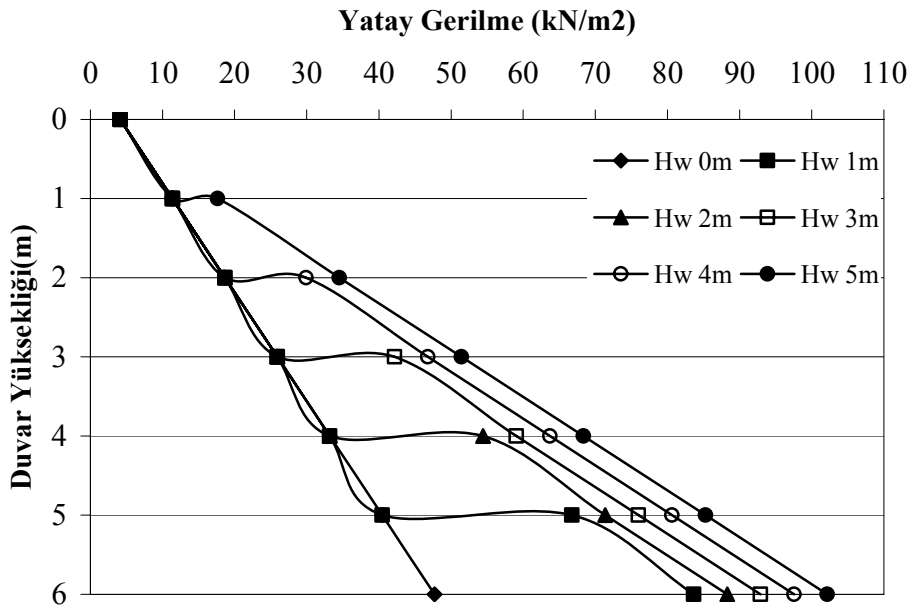
Yukarıda şekil 43' de konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Verilen bu duvarın arkasındaki zemin tabakasında bulunan yeraltı su seviyesindeki değişim ile duvar arkasında meydana gelen yanal zemin basınçlarındaki değişim depremli ve depremsiz durumlar için ayrı ayrı incelenmiştir. Yeraltı su seviyesi temelden başlayarak 1m yükselerek meydana gelen değişim aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Yeraltı su seviyesinin altında ve üstünde bulunan zemin tabakalarının özellikleri aynıdır.



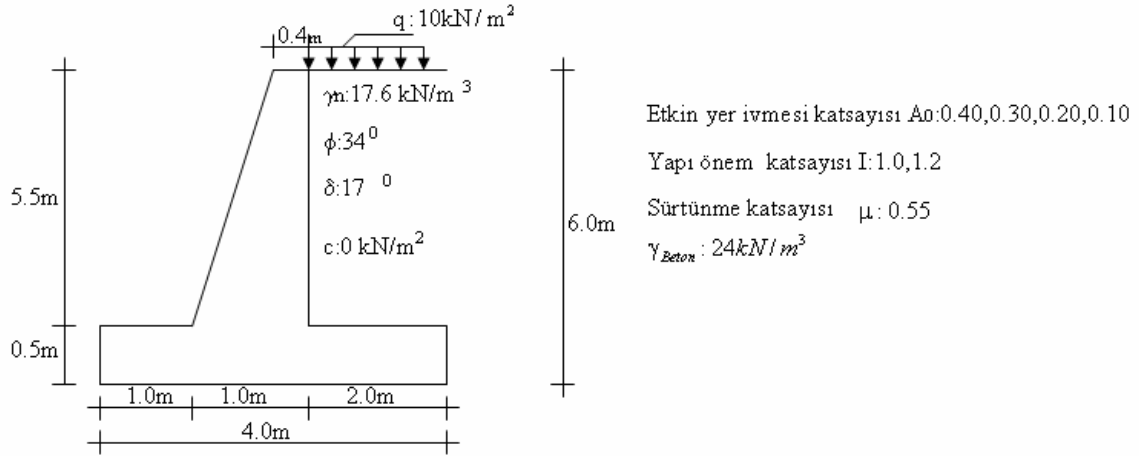
Şekil 44. "4" No lu analiz sonucunda statik durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmede ki değişim



Şekil 45. “4” No lu analiz sonucunda dinamik durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye ki değişim



Şekil 46. “4” No lu analiz sonucunda eurocode - 2004 durumda su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye ki değişim



Şekil 47. “5” No lu analize ait konsol istinat duvarı tasarımı

Yukarıda şekil 47’de konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Verilen bu duvarda zemin koşulları, özellikleri, duvar yüksekliği ve temel genişliği aynı kalmasına karşın bölgenin deprem derecesine göre değişkenlik gösteren etkin yer ivme katsayısı ile yapı önem katsayısının değişmesi durumunda duvarda meydana gelen değişimler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 9’ da etkin yer ivme katsayısı A_0 : 0.40 ve yapı önem katsayısı I: 1.0 olduğu durum için.

Tablo 9. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	163,06	174,33
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	431,13	522,98
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	247,45	339,30
Eksantrisite		0,08	0,69	0,95
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	1,95	1,61
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,14	1,07
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	182,45	226,84
	Min Gerilme	78,86	Çekme	Çekme

Tablo 10’ da ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.30 ve yapı önem katsayısı I: 1.0 olduğu durum için.

Tablo 10. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	145,80	149,58
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	372,91	448,73
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	189,23	265,05
Eksantrisite		0,08	0,53	0,74
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	2,25	1,87
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,28	1,24
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	160,56	189,56
	Min Gerilme	78,86	18,64	Çekme

Tablo 11’ de ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.20 ve yapı önem katsayısı I: 1.0 olduğu durum için.

Tablo 11. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	202,20	202,20
Toplam aktif kuvvet		98,47	129,30	129,35
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	317,09	388,04
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	133,41	204,36
Eksantrisite		0,08	0,37	0,57
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	2,65	2,17
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,44	1,44
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	139,63	166,23
	Min Gerilme	78,86	39,57	12,97

Tablo 12’ de ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.10 ve yapı önem katsayısı I: 1.0 olduğu durum için.

Tablo 12. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	113,53	112,56
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	263,58	337,69
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	79,90	154,01
Eksantrisite		0,08	0,22	0,43
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	3,19	2,49
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,64	1,65
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	119,56	147,35
	Min Gerilme	78,86	59,64	31,85

Tablo 13’ de ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.40 ve yapı önem katsayısı I: 1.2 olduğu durum için.

Tablo 13. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	170,06	174,18
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	402,59	380,19
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	218,91	196,51
Eksantrisite		0,08	0,61	0,55
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	1,57	2,21
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,09	1,07
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	171,69	163,29
	Min Gerilme	78,86	7,51	15,91

Tablo 14’ de ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.30 ve yapı önem katsayısı I: 1.2 olduğu durum için.

Tablo 14. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	150,78	149,45
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	352,06	326,21
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	168,38	142,53
Eksantrisite		0,08	0,47	0,40
Devirmeye karşı güvenlik		3,96	2,39	2,58
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,23	1,25
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	152,74	143,05
	Min Gerilme	78,86	26,46	36,15

Tablo 15’ de ektin yer ivme katsayısı A_0 : 0.20 ve yapı önem katsayısı I: 1.2 olduğu durum için.

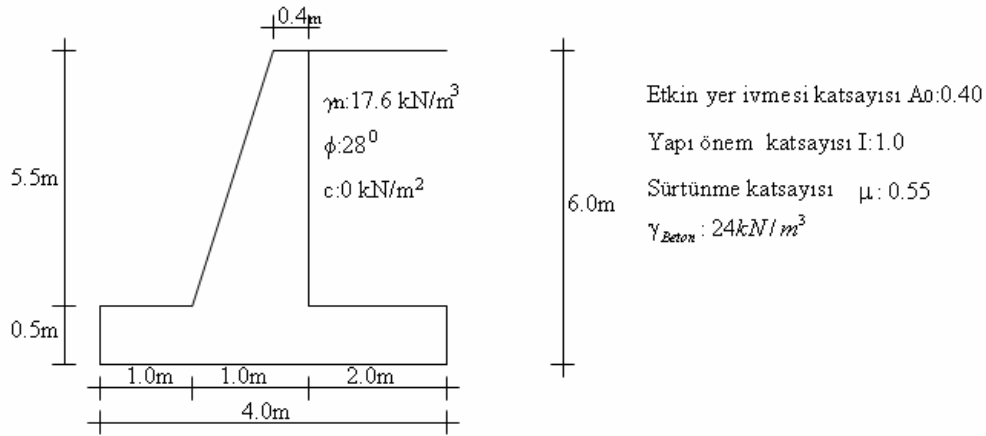
Tablo 15. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	132,43	129,24
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	303,57	282,09
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	119,89	98,41
Eksantrisite		0,08	0,33	0,27
Devirmeye karşı güvenlik		3,96	2,77	2,98
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,41	1,44
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	134,56	126,50
	Min Gerilme	78,86	44,64	52,70

Tablo 16' de etkin yer ivme katsayısı A_0 : 0.10 ve yapı önem katsayısı I: 1.2 olduğu durum için.

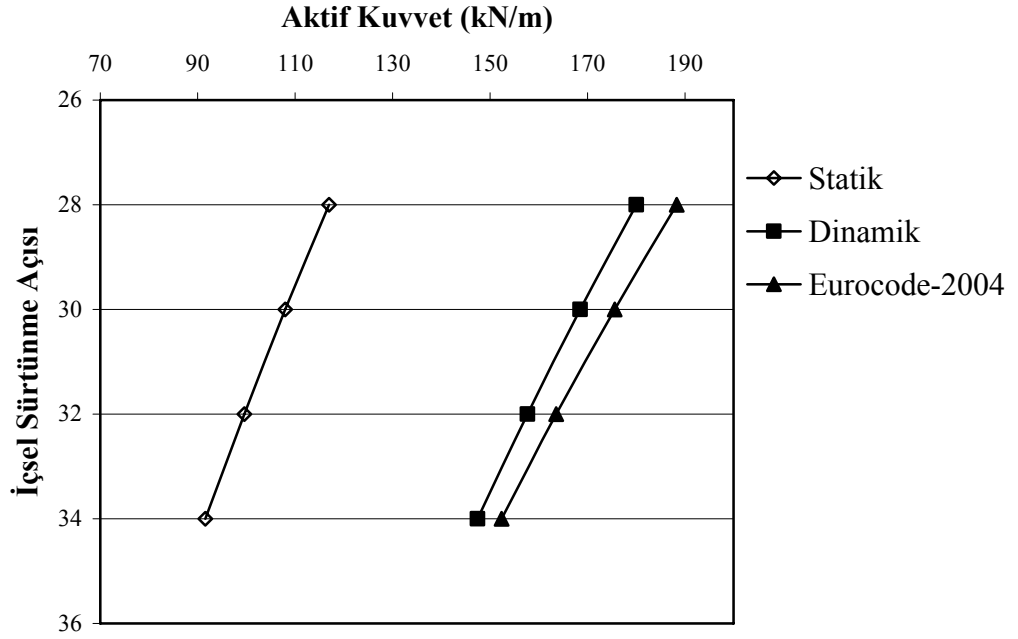
Tablo 16. “ 5 “No’ lu analiz sonuçları

		Statik Durum	Dinamik Durum	Eurocode-2004
Toplam düşey ağırlık		338,40	338,40	338,40
Toplam aktif kuvvet		98,47	114,98	112,47
Karşı koyan moment		840,48	840,48	840,48
Deviren moment		212,33	257,06	245,49
Devrilmeye karşı güvenlik		3,96	3,27	3,42
Kaymaya karşı koyan kuvvet		186,12	186,12	186,12
Kaymaya karşı güvenlik		1,89	1,62	1,65
Tabandaki toplam düşey yük		358,40	358,40	358,40
Temel tabanı ortasındaki moment		28,65	73,38	61,81
Eksantrisite		0,08	0,20	0,17
Taşıma Gücü Denetimi	Max Gerilme	100,34	117,12	112,78
	Min Gerilme	78,86	62,08	66,42

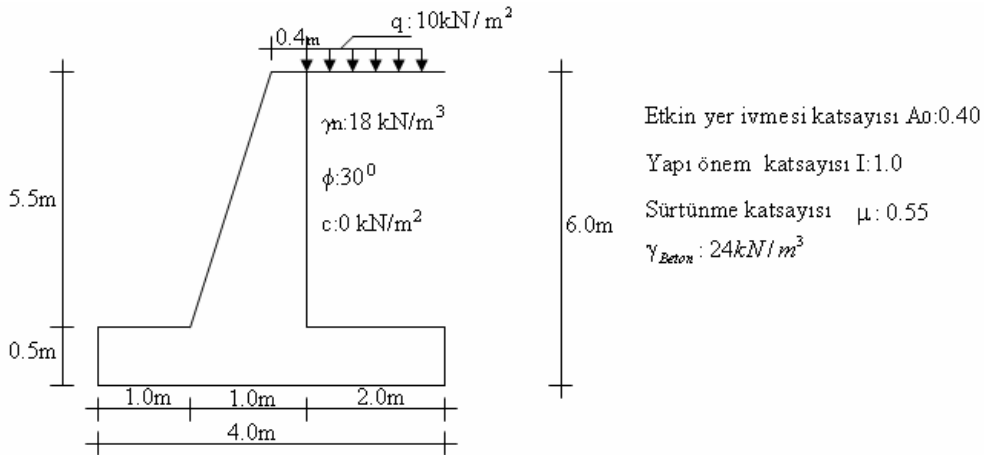


Şekil 48. “6” No lu analize ait konsol istinat duvarı tasarımı($\phi:28^0, \phi:30^0, \phi:32^0, \phi:34^0$)

Yukarıda şekil 48'de konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Verilen bu analizde duvar yüksekliği, temel genişliği, zeminin birim hacim ağırlığı ve etkin yer ivme katsayısı ile yapı önem katsayısı aynı kalmasına karşın zemin özelliklerinden bir olan içsel sürtünme açısı'nın değişimi ile duvar arkasında meydana gelen toplam aktif kuvvetteki değişim durumu incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda şekil 49' da verilmiştir.

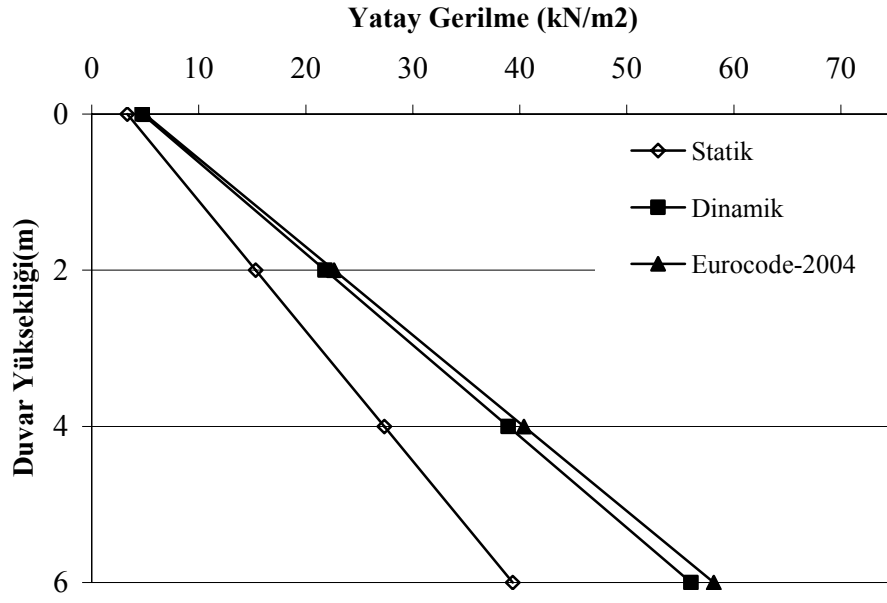


Şekil 49. “6” No lu analiz sonucunda içsel sürtünme açısı ile yatay gerilmenin değişimi



Şekil 50. “7” No lu analize ait konsol istinat duvarı tasarımı

Yukarıda şekil 50’de konsol tipi bir istinat duvarı verilmektedir. Verilen bu analizde temel genişliği, zemin özellikleri ve etkin yer ivme katsayısı ile yapı önem katsayısı aynı kalmasına karşın duvar yüksekliğindeki değişimi ile duvar arkasında meydana gelen yatay gerilmelerdeki değişim durumu incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekil 51’ de verilmiştir.



Şekil 51. “7” No lu analiz sonucunda duvar yüksekliği ile yatay gerilmenin değişimi

3. BULGULAR VE İRDELEME

İstinat yapıları gerek şevlerin gerekse derin kazıların stabilitesini sağlamak amacıyla çeşitli şekillerde yapılırlar. İstinat duvarları projelendirilirken yapıya etki eden birçok etkenin aynı anda düşünülmesi ve bilinmesi gerekmektedir. Bu etkenler;

- Duvar arkasındaki zeminin özellikleri
- Toplam zemin basınçları
- Duvar arkasındaki su seviyesi
- Duvarın yapıldığı bölgenin karakteristik deprem özellikleri

Göz önüne alınarak çözüm yapılmalı, çünkü bu etkenlerden herhangi birinin unutulması veya dikkate alınmaması sonucu yapı hem ekonomik hem de istenilen sağlamlıkta projelendirilemez ve zaten maliyetleri oldukça yüksek olan bu yapı elemanlarında lüzumsuz sağlamlıkta, gayri ekonomik çözümler ile gerçekçi olmayan sonuçlar ortaya çıkacaktır.

Duvar üzere etki eden yüklerden biri olan deprem durumunun incelendiği “2” nolu analizi ele alalım. Bu analizde bir ağırlık tipi istinat duvarı tasarlanmış ve hesabı yapılmıştır. Bu duvar hesabı yapılırken duvar sadece statik durum göz önüne alınıp depremlili durum düşünülmeden çözümü yapılırsa duvar bu durumda üzerine gelen yükleri emniyetli sınır içinde taşıırken bir deprem durumunda oluşan sismik etkiler sonucu oluşan ilave kuvvetler etkidiği zaman duvar etkiyen bu kuvvetleri emniyetli sınır içinde taşıyamadığı ve güvenlik sayılarında önemli derecede azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Statik durumdaki güvenlik sayıları depremlili durum güvenlik sayıları ile karşılaştırıldığı zaman deprem yönetmeliğine göre yapılan hesapta devrilmeye karşı güvenlik sayısında %64, eurocode - 2004 durumuna göre yapılan hesapta devrilmeye karşı güvenlik sayısında %59 azalma ve deprem yönetmeliğine göre yapılan hesapta kaymaya karşı güvenlik sayısında %50, eurocode - 2004 durumuna göre yapılan hesapta kaymaya karşı güvenlik sayısında %38 azalmalar meydana gelirken taşıma gücü açısından temelde her iki durumda da negatif gerilme meydana geldiği için taşıma gücü denetimini de sağlamamaktadır. Böyle durumlarda duvar projelendirilirken ek yüklerde dikkate alınarak daha gerçekçi çözümler yapılmalıdır.

“4” no’ lu analizde duvar arkasındaki zeminin içerisindeki yeraltı su seviyesindeki değişim ile yatay gerilmeye meydana gelen değişim incelenmiş ve yapılan hesaplarda bu

statik durumda %117, deprem yönetmeliği durumunda %137 ve eurocode – 2004 durumunda ise %114 kadar yatay gerilmeye artış meydana gelmiştir. Yapılacak hesaplamalarda duvar arkasındaki su seviyesinin yerinin tespiti ve zeminin niteliğine göre değişkenlik gösteren içsel sürtünme açısının belirlenip hesabın bu seviye ve açıya göre yapılması gerekmektedir. Yapılan analizde görüldüğü üzere yeraltı su seviyesindeki değişim duvara etki eden yatay gerilmeleri hem depremliler hem de depremsiz durumda artırmaktadır.

“5” no’ lu analizde deprem bölgelerine göre değişkenlik gösteren etkin yer ivme katsayıları ile yapının kullanım amacı veya türüne bağlı olarak değişen yapı önem katsayılarındaki değişiminin duvar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan hesaplamalarda deprem derecesi azaldıkça deprem yönetmeliği durumunda devrilmeye karşı güvenlik sayısında %63, kaymaya karşı güvenlik sayısında %43 artma meydana gelirken taşıma gücü açısından temelde her iki durumda da negatif olan gerilme deprem derecesi azaldıkça pozitif değer almaktadır. Bu katsayıların duvar üzerinde önemli derecede etkili oldukları ve duvar yapılırken hesaplamalarda mutlaka bu değerlerinde göz önünde tutulması gerekmektedir.

“6” no’ lu analizde duvar arkasında bulunan zemin içsel sürtünme açısındaki değişim ile duvarda meydana gelen toplam aktif kuvvetteki değişim incelenmiştir. Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı $\phi : 28^0$ den $\phi : 34^0$ çıktığı zaman statik durumda %21, deprem yönetmeliğinde %19 ve eurocode - 2004 durumunda ise toplam aktif kuvvette %20 azalma meydana gelmiştir. Kullanılan zeminin içsel sürtünme açısı arttıkça hem depremliler hem de depremsiz durumda aktif kuvvette azalma meydana gelmektedir.

“7” no’ lu analizde ise duvar yüksekliğinde değişimin duvara etki eden yatay gerilmeye meydana getirdiği değişim incelenmiştir. Duvar yüksekliği arttıkça yatay gerilme depremliler durumunda statik durumdaki değerden %44 daha fazla olduğu görülmüştür. Analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere duvar yüksekliği arttıkça duvar üzerine gelen gerilmeye de artış meydana gelmektedir.

Yapılan bütün bu analizler sonucunda bir duvar tasarlanırken duvara gelebilecek tüm yükler ve etkiler göz önüne alınarak projelendirme yapılmalıdır. Aksi takdirde yapılacak duvar işlevini gerçekleştirmez.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada temel döşemesine düşey olarak bağlı bir gövdeden oluşan betonarme istinat duvarları veya ağırlık tipi istinat duvarının tasarımını yapı ; kayma, devrileme ve zemin basıncının emniyet sınırını aşması gibi tehlikelere maruz kalmayacak şekilde deprem etkilerini göz önüne alarak veya almadan gerçekleştiren bir bilgisayar programı oluşturulmuştur.

Yukarıda belirtilen analizler yapılmış ve şu sonuçlara varılmıştır.

- a) İstinat duvarının tutacağı dolgu veya yarma yüksekliği çok önemlidir. Tutulmak zorunda olunan dolgu ve yarma yüksekliği arttıkça inşaa edilecek yapının kesitleri de artmakta, azaldıkça inşaa edilecek kesitler de azalmaktadır.
- b) İstinat duvarının arkasındaki zeminle yapmış olduğu β açısı arttıkça istinat yapısına etkileyecek yanal toprak basıncı da artmaktadır. Ayrıca duvarla dolgu arasındaki sürtünme açısı da duvar arka ampatmana etkileyecek dolgudan kaynaklanan düşey kuvvetlerde de azalmaya veya artmaya neden olmaktadır.
- c) Kohezyonlu zeminlerde istinat yapısının kaymaya karşı emniyetini sağlamak diğer tür zeminler göre çok daha kolaydır. Ancak bu tip zeminlerde yapının tabakalar halinde kayması söz konusu olacağından toptan göçme olayının oluşma ihtimali daha yüksektir. Bu sebeple kohezyonlu zeminlerde duvar arkası drenajı daha büyük bir önem kazanır.
- d) İstinat duvarları tasarlanırken duvar arkasında kullanılacak dolgunun yanal hareket miktarı, dolgunun özellikleri, duvar ataleti, duvar malzemesinin rijitliği, temel zemini özellikleri ve duvarın yapıldığı bölgeye göre değişkenlik gösteren sismik parametreler istinat duvarlarına gelen yanal basınçların miktarını ve dağılımı etkileyen unsurlara göre tasarlanmalıdır.
- e) Duvara etki eden kuvvetler statik durumda bütün deprem bölgelerinde aynı iken deprem sırasında duvara etkileyen kuvvetler deprem bölgelerine bağlı olarak değişen etkin yer ivme katsayılarının değişmesiyle değişkenlik gösterir. Bu değişkenlik deprem riski çok olan bölgede çok deprem riski az olan bölgede azdır. Yapımı tasarlanan istinat duvarı eğer yapılacak bölgenin depremden derecesi yanlış alınırsa deprem sırasında oluşacak gerilmelerle tasarımda kullanılan gerilmeler arasında

fark olacağından duvar bu etkiye karşı kayamayarak yıkılabilir. Bu nedenle tasarım sırasında deprem bölge katsayısına göre değişkenlik gösteren etkin yer ivme katsayısı ile yapı önem katsayılarına hassasiyetle önem verilmelidir.

- f) Duvar arkasında bulunan zemin tabakasının içsel sürtünme açısı arttıkça zeminin duvar üzerinde etkilerindeki yatay gerilmelerde azalma, duvarın devrilme ve kaymaya karşı güvenlik sayılarında artma, eksantriklikte çekirdek merkezine yaklaşmakta ve duvar tabanında meydana gelen gerilmelerde azalma meydana gelmektedir.
- g) Yeraltı suyunun istinat duvarı üzerinde büyük etkisi olmaktadır. Su seviyesi tabandan itibaren yükseldiği zaman duvar üzerine etkiyen yatay kuvvette hem statik hem de dinamik durumda artış meydana gelmiştir. Bu nedenle, kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayısı azalırken gövdedeki eğilme gerilmeleri artmıştır.
- h) İstinat duvarının sismik tasarımı genellikle sismik basınçlara veya izin verilebilir yer değiştirmeler dayanır. Sismik basınçlara dayalı yaklaşımda, depremden ileri gelen duvar basınçlarını veya çevreleyen zeminde yenilmeye neden olmadan bu basınçlara direnecek şekilde tasarlanır. İzin verilebilir yer değiştirme yaklaşımında duvar, depremden kaynaklanan kalıcı yer değiştirmelere önceden belirlenen izin verilebilir yer değiştirmeyi aşmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- i) Bir istinat duvarının sismik performansı deprem sırasında o duvar üzerine etkiyen toplam basınçlara (yani; statik ve dinamik basınca) bağlıdır. Buna göre, duvarda hasar oluşması için gerekli dinamik basınçların düzeyi, depremden önce var olan statik basınçların düzeyine bağlıdır. Bu nedenle, bir istinat duvarının davranışının analizi için önce statik şartlar altında davranışının incelenmesi gerekir.

Bir betonarme istinat duvarı tasarlanırken kayma, devrilme, zemin basıncının emniyet sınırını aşmaması, beton basıncının emniyet sınırını aşmaması ve toptan göçme tehlikelerine karşı koyabilmesi amaçlanmaktadır. Tasarımın ilk aşaması boyutlandırma aşamasıdır. Önce belirli tecrübelerle dayanarak veya literatürde verilen ölçünlendirme kriterlerine göre bir boyut seçilir. Daha sonra bu seçilen boyutun sırasıyla şu tahkikleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir: Kayma Tahkiki, Devrilme Tahkiki, Taban Basıncı Tahkiki, Toptan Göçme Tahkiki ve Beton Gerilme Tahkiki.

Bu çalışmada varılan sonuçlar ışığında tasarlanan istinat duvarı su tablasının en yüksek durumu için tasarlanmalı veya su tablasının belirli bir seviyenin üzerine çıkmasını engelleyecek drenaj sistemleri yerleştirilmeli. Ayrıca duvarın arkasındaki yeraltı suyunun

varlığı yanal zemin basıncını önemli ölçüde arttırabilir. Her zaman göz önünde bulundurulması gereken özelliklerden biride duvar yüksekliğinin fazla olduğu istinat duvarlarında mutlaka depremden doğacak ilave etkiler göz önüne alınmalı; ülkemizin deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkelerden biri olduğu asla unutulmamalıdır.

İstinat duvarlarının hesabı yapılırken genellikle depremden dolayı yapıya gelecek ilave etkiler dikkate alınmamaktadır. Çünkü bu hem ek bir maliyet getirmekte hem de hesapları güçleştirmektedir. Ancak inşaat sektöründeki ilerlemeler göz önüne alındığında ve yapıların büyüklükleri düşünüldüğünde deprem kuvvetlerini de hesaba katmanın ne kadar gerekli olduğu ortaya çıkmaktadır.

İstinat duvarlarının tasarımı esnasında amacımız emniyetli tarafta kalmak koşuluyla en ekonomik çözümü elde etmek olmalıdır. Kazı, dolgu ve duvar malzemesi açısından en ekonomik çözümü değişik verilerden elde edilen bulguların karşılaştırılmasıyla bulabiliriz.

5. KAYNAKLAR

- Aytekin, M., 2004. Deneysel Zemin Mekaniği, 2. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Bozdağ, Ö., 2001. İstinat Yapılarının Dinamik Analizi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Braja, M., D., 2000. Fundamentals of Geotechnical Engineering, California State University, Sacramento.
- Celep, Z., ve Kumbasar, N., 1998. Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık, İstanbul, 291-328.
- Civil Engineering Code of Practice Cp2, Earth Retaining Structures, Institute of Structural Engineering, London, 1951. (Now Superseded by BS 8002:1994).
- Clayton, C.,R.,I., and Symans, I.,F., 1992. The Pressure of Compacted Fill on Retaining Walls, (Technical Note), Geotechnique.
- Coulomb, K., 1967. and Peck, R., B., Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed., Wiley, New York.
- Çalışan, O., A Model Study On The Seismic Behavior Of Gravity Retaining Walls, Ph.D Dissertation Middle East Technical University, Ankara, 1999.
- Damar, N., 1993. Toprak Dolgu Barajlara ve İstinat Duvarına Gelen Deprem Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Düzgün, M., İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, İstinat Yapıları, İzmir, 1989.
- Elms, D.G., Richards, R. Jr., 1990. Seismic Design Of Retaining Walls, Design and Performance Of Earth Retaining Structures, ASCE, Geotechnical Special Publication, No.25, New York, 854-871.
- Eurocode-8 2004. Design Provisions for Earthquake Resistance of Structures-Part 5: Foundations. Retaining Structures and Geotechnical Aspects.
- İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İzmir.

- Jaky, J., 1994. The Coefficient of Earth Pressure at Rest, Journal of The Society of Hungarian Architects and Engineers.
- Kayabalı, K., 2003. Geoteknik Deprem Mühendisliği, Gazi Kitabevi, 507-550.
- Kenneth, L., L., Bobby, D., A., and Jean-Maric J, Vagneron., 1973. Reinforced Earth Retaining Walls, J.Soil Mech. Found. Eng. Div., ASCE.
- Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, New Jersey, Prentice Hall.
- Kumbasar, V., ve Kip, F., 1992. Zemin Mekaniği Problemleri, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 143-183.
- Mohr, O., 1900. "Welche Umstände Bedingen die Elastizitätsgrenze und den Bruch eines Materials?," Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, Vol. 44, 1524-530, 1572-1577.
- Mononobe, N. Ve Matsuo, H., 1919. On The Determination Of Earth Pressures During Earthquakes, World Engineering Conference, 9-176.
- Nadim, F., Whitman, R., V., 1983. Seismically Induced Movement of Retaining Walls, Journal of Geotech. Engng., ASCE.
- Nadim, H. N., Hadjian, A. H., 1979. Earthquake-Induced Lateral Soil Pressures On Structures, ASCE Journal Of The Geotechnical Engineering Division, 1049- 1066.
- Okabe, S., 1924. General Theory of on Earth Pressures and Seismic Stability of Retaining Walls and Dam, Journal of Japan Soc. Civ. Engng.
- Önalp, A., 1983. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayınevi, Trabzon.
- Özaydın, K., 1989. Zemin Mekaniği, Meva Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti. İstanbul.
- Rankine, W., M., J., 1857. On Stability on Loose Earth, Philosophic Transactions of Royal Society, London, Part I, 9-27.
- Richards, R. Jr., Elms, D. G., 1979. Seismic Behavior Of Gravity Retaining Walls, ASCE Journal Of The Geotechnical Engineering Division, 449-464.

- Richards, R., Huang, C. & Fishman, K. L., 1999. Seismic Earth Pressure on Retaining Structures, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 771-778.
- Seed, H. B., Whitman, R. V., 1970. Design Of Earth Retaining Structures For Dynamic Loads, Lateral Stresses in The Ground and Design Of Earth Retaining Structures, ASCE, 103-147.
- Sherif, M.A., & Fang Y.S., 1984. Dynamic Earth Pressures on Walls Rotating About The Top, Sails and Foundations, 109-117.
- Steedman, R. S., Zeng, X., 1990. The Influence Of Phase on The Calculation Of Pseudo-Static Earth Pressure on a Retaining Walls, *Geotechnique*, 103-112.
- Steedman, R. S., Zeng, X., 1990. The Seismic Response Of Retaining Walls, Design and Performance Of Waterfront Retaining Walls, ASCE, Geotechnical Special Publication, No.25, New York, 872-887.
- Steedman, R. S., 1997. Seismically Induced Displacement Of Retaining Walls, *Seismic Behavior Of Ground and Geotechnical Structures*, Balkema, Rotterdam, 351-360.
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley, New York.
- Terzaghi, K., and Peck, R., B., 1967. *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., Wiley, New York.
- TS 7994, 1990. Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları, T.S.E., Ankara, 1. Baskı, Şubat.
- Tunç, A., 2002. *Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul.
- Uzuner, B.A., 1998. *Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği*, 4. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Whitlow, R., 2001. *Basic Soil Mechanics*, Fourth Edition, Pearson Education Ltd.
- Whitman, R. V., 1990. Seismic Design and Behaviour Of Gravity Retaining Walls, Design and Performance Of Earth Retaining Structures, ASCE, Geotechnical Special Publication, No.25, New York, 817-842.
- Yapı Dünyası, 2003. Aylık Mesleki Bilim Teknik Haber Dergisi, No.86, 50-56.

6. EKLER

Ek 1. "1" No' lu analize ait çıktı veri dosyası

**** DUVAR OZELLIKLERI VE ETKIYEN KUVVETLER*****

EL NO	KOSE	SAYISI	ALAN	BHA	AGIRLIK	M.KOLU
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
1		4	2.0	24.00	48.00	2.00
2		3	1.7	24.00	39.60	1.40
3		4	2.2	24.00	52.80	1.80
4		4	4.0	17.60	70.40	3.00
5		4	5.0	20.00	100.00	3.00
6		4	2.0	20.00	40.00	3.00

TOPLAM DUSEY AGIRLIK(DUVAR+ZEMIN)= 350.80
KARSI KOYAN MOMENT = 877.68

***** ZEMIN OZELLIKLERI*****

DN	DERINLIK	GAMMA	KOHEZYON	PHI	ALPHA	DELTA	BETA	KAS
==	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====
1	.0	17.60	.0	28.0	.0	17.0	.0	.323
2	2.0	17.60	.0	28.0	.0	17.0	.0	.323
3	2.0	20.00	1.0	32.0	.0	.0	.0	.307
4	4.0	20.00	1.0	32.0	.0	.0	.0	.307
5	4.0	20.00	.0	30.0	.0	.0	.0	.333
6	6.0	20.00	.0	30.0	.0	.0	.0	.333

***** STATIK ANALIZ*****

***** ZEMINE ETKIYEN YATAY VE DUSEY KUVVETLER*****

DN	DERINLIK	D.GER	SUR	Y.GER	AKTIF KUV	MKOLU
==	=====	=====	=====	=====	=====	=====
1	.0	.00	5.00	1.61	14.59	4.74
2	2.0	35.20	5.00	12.98	.00	.00
3	2.0	35.21	5.00	11.26	48.34	2.82
4	4.0	55.60	5.00	37.11	.00	.00
5	4.0	55.61	5.00	39.81	105.96	.92
6	6.0	76.00	5.00	66.20	.00	.00

TOPLAM AKTIF KUVVET = 168.89
DEVIREN MOMENT = 302.94

*****DEVIRILME DENETIMI*****

KARSI KOYAN MOMENT = 877.68
DEV MOMENT = 302.94
DEVIRILMEYE KARSI GUVENLIK SAYISI = 2.90

*****KAYMA DENETIMI*****

SURTUNME KATSAYISI = .55
KARSI KOYAN KUVVET = 192.94
DEVIREN KUVVET = 168.89
KAYMAYA KARSI GUVENLIK SAYISI = 1.14

*****TASIMA GUCU DENETIMI*****
 **** SURSAJ YUK OZELLIKLERI VE ETKIYEN KUVVETLER****
 SURSAJ YUKU BIL.KUV M.KOLU
 =====
 5.00 10.00 1.00

TABANDAKI TOPLAM D.YUK (DUVAR+ZEMIN+SURSAJ) = 360.80
 TEMEL TABAN ORTASINDAKI MOMENT = 116.86
 EKSNTRESITE = .32
 TABAN GENISLIGI = 4.00

TABANDA OLUSAN MAXIMUM GERILME = 134.02
 TABANDA OLUSAN MINIMUM GERILME = 46.38

*****DINAMIK ANALIZ*****

M	LAMDA1	LAMDA2
1	8.227	10.154
2	8.227	10.154
3	15.827	19.351
4	15.827	19.351
5	15.827	19.351
6	15.827	19.351

ATK(1)= .477
 ATK(2)= .477
 ATK(3)= .569
 ATK(4)= .569
 ATK(5)= .611
 ATK(6)= .611

AKD(1)= .155
 AKD(2)= .155
 AKD(3)= .262
 AKD(4)= .262
 AKD(5)= .277
 AKD(6)= .277

***** ZEMINE ETKIYEN DINAMIK KUVVETLER*****
 *** SADECE YANAL ZEMIN BASINCI*****
 DN DERINLIK KAD D.GER Y.GER AKTIF KUV MKOLU
 == =====
 1 .0 .1546 .00 .00 5.44 5.00
 2 2.0 .1546 35.20 5.44 .00 .00
 3 2.0 .2622 35.21 8.22 41.35 3.00
 4 4.0 .2622 55.60 33.15 .00 .00
 5 4.0 .2773 55.61 35.03 95.25 1.00
 6 6.0 .2773 76.00 60.27 .00 .00

DINAMIK DURUMDA TOPLAM AKTIF KUVVET(ZEMIN) = 142.04
 DINAMIK DURUMDA DEV MOMENT(ZEMIN) = 246.67

*****SADECE SURSAJ YUKU ETKISI*****

DN	DERINLIK	KAD	Y.GER	AKTIF KUV	MKOLU
==	=====	===	=====	=====	=====
1	.0	.155	.773	1.55	5.33
2	2.0	.155	.773	.00	.00
3	2.0	.262	1.311	2.62	3.33
4	4.0	.262	1.311	.00	.00
5	4.0	.277	1.386	2.77	1.33
6	6.0	.277	1.386	.00	.00

DINAMIK DURUMDA TOPLAM AKTIF KUVVET(SURSAJ) = 6.94
DINAMIK DURUMDA DEV MOMENT(SURSAJ) = 20.68
TOPLAM AKTIF KUVVET(ZEMIN+SURSAJ) = 148.98

DINAMIK DURUMDA DEV MOMENT(ZEMIN+SURSAJ) = 267.35
DUVAR GOVDESININ AGIRLIGI = 14.78

*****DEPREMDE DAHIL DEVRILME DENETIMI*****

DEV MOMENT STATIK = 302.94
DEV MOMENT DINAMIK(ZEMIN+SURSAJ) = 267.35
GOVDE AGIRLIGINDAN OLUSAN MOMENT = 61.60
TOPLAM DEV.MOMENT(STATIK+DINAMIK+GOVDE) = 631.89
KARSI KOYAN MOMENT = 877.68
DINAMIK DURUMDA DEVRILMEYE KARSI GS = 1.39

*****DEPREM DURUMUNDA KAYMA DENETIMI*****

TOPLAM STATIK AKTIF PA = 168.89
TOPLAM DINAMIK AKTIF PA = 148.98
TOPLAM GOVDE AGIRLIGI = 14.78
DEVIREN KUVVET = 332.66

SURTUNME KATSAYISI = .55
TOPLAM DUSEY KUVVET = 350.80
KARSI KOYAN KUVVET = 192.94
KAYMAYA KARSI GUVENLIK SAYISI = .58

*****DINAMIK TASIMA GUCU DENETIMI*****

TABANA ETKIYEN TOP DUS.YUK (DUVAR+SURSAJ) = 360.80
TEMEL TABAN ORTASINDAKI MOMENT = 445.81
EKSANTRISITE = 1.24
TABAN GENISLIGI = 4.00

TABANDA OLUSAN MAXIMUM GERILME = 314.68
TABANDA OLUSAN MINIMUM GERILME = CEKME

*****EUROCODE-2004 ANALIZI*****

M	LAMDA1	LAMDA2
1	10.305	12.529
2	10.305	12.529
3	19.621	23.544
4	19.621	23.544
5	19.621	23.544
6	19.621	23.544

EATK(1)= .509
EATK(2)= .509
EATK(3)= .698
EATK(4)= .698
EATK(5)= .755
EATK(6)= .755

AKE(1)= .509
AKE(2)= .509
AKE(3)= .698
AKE(4)= .698
AKE(5)= .755
AKE(6)= .755

***** EUROCODE-2004 ANALIZI*****

***** ZEMINE ETKIYEN YATAY VE DUSEY KUVVETLER*****

DN	DERINLIK	D.GER	SUR	Y.GER	AKTIF KUV	MKOLU
==	=====	=====	=====	=====	=====	=====
1	.0	.00	5.00	2.55	25.31	5.00
2	2.0	35.20	5.00	20.47	.00	.00
3	2.0	35.21	5.00	26.40	95.24	3.00
4	4.0	55.60	5.00	60.22	.00	.00
5	4.0	55.61	5.00	65.35	182.17	1.00
6	6.0	76.00	5.00	100.33	.00	.00
TOPLAM AKTIF KUVVET				=	302.71	
DEVIREN MOMENT				=	594.76	

*****DEVIRILME DENETIMI*****

KARSI KOYAN MOMENT = 877.68
DEV MOMENT = 594.76
DEVIRILMEYE KARSI GUVENLIK SAYISI = 1.48

*****KAYMA DENETIMI*****

SURTUNME KATSAYISI = .55
KARSI KOYAN KUVVET = 192.94
DEVIREN KUVVET = 302.71
KAYMAYA KARSI GUVENLIK SAYISI = .64

*****TASIMA GUCU DENETIMI*****

**** SURSAJ YUK OZELLIKLERI VE ETKIYEN KUVVETLER****

SURSAJ YUKU	BIL.KUV	M.KOLU
=====	=====	=====
5.00	10.00	1.00

TABANDAKI TOPLAM D.YUK (DUVAR+ZEMIN+SURSAJ)	=	360.80
TEMEL TABAN ORTASINDAKI MOMENT	=	408.68
EKSANTRISITE	=	1.13
TABAN GENISLIGI	=	4.00
EKSANTRISITE CEKIRDEK DISINDADIR		
TABANDA OLUSAN MAXIMUM GERILME	=	277.34
TABANDA OLUSAN MINIMUM GERILME	=	CEKME

6. ÖZGEÇMİŞ

Halil BİLGİN 1979 yılında Trabzon ilinde doğdu. İlkokulu Beşirli Köyü ilkokulunda, Ortaokulu 100.yıl ilköğretim okulunda, liseyi Trabzon Lisesinde bitirdi. 1998 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. Bu bölümde öğrenimini 2002 yılı bahar döneminde tamamladı ve aynı yıl Ekim ayında Karadeniz Teknik Üniversitesinde yüksek lisans eğitimine başladı. Yabancı dil olarak İngilizce ve Almanca bilmektedir.