

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM BÖLGELERİNDEKİ BETONARME İSTİNAT DUVARLARININ ANALİTİK
VE SAYISAL YÖNTEMLERİ KULLANAN BİLGİSAYAR YARDIMIYLA
PROJELENDİRİLMESİ

İnş. Müh. Şenol GÜRİSOY

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03.01.2000

Tezin Savunma Tarihi : 31.01.2000

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Fikri BULUT

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN

TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
BOKÜ MANTASYON MERKEZİ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 2000

ÖNSÖZ

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

Deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarının analitik ve sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar yardımıyla projelendirilmesi konusundaki bu çalışmayı bana önererek diğer önemli görevlerine rağmen çalışmamı başlangıcından sonuna kadar sürekli takip edip, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşlamak için uğraş veren, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım yönetici hocam Sayın Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ'a şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Çalışmalarım boyunca yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, özellikle önerileriyle bana cesaret veren Sayın Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN'e minnettar olduğumu belirtir teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmamla ilgilenmek suretiyle bana moral destek veren Doç. Dr. Yusuf AYVAZ ve Yrd. Doç. Dr. Metin HÜSEM'e, çalışmam sırasında bana yardımlarından dolayı KTÜ İnşaat Mühendisliği bölümü 2. Sınıf öğrencisi olan kaynım Barış HÜLÜR'e de teşekkür ederim.

Burada, öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygı ile anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Çalışmam süresince beni sabır ve şefkatle destekleyen eşim ve ailemin tüm fertlerine, özellikle ömrünü bizim yetişmemiz için hasretmiş olan anne ve babama, müteşekkir olduğumu belirtir çalışmamın ülkemize yararlı olmasını gönülden dilerim.

Trabzon, Ocak 2000

Şenol GÜRSOY

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. İstinat Duvarlarının Kullanım Amaçları	3
1.3. İstinat Duvarı Türleri	5
1.3.1. Ağırılık İstinat Duvarları.....	5
1.3.2. Yarı Ağırılık İstinat Duvarları.....	6
1.3.3. Konsol İstinat Duvarları	6
1.3.4. Payandalı İstinat Duvarları	8
1.3.5. Katlanmış Plak ve Kabuk Türü İstinat Duvarları	9
1.3.6. Yatay Konsol Plaklı İstinat Duvarları	10
1.3.7. Ankrajlı İstinat Duvarları	10
1.3.8. Pasif İtkisi İhmal Edilemeyen İstinat Duvarları	11
1.3.9. İstinat Duvarı Olarak Çalışan Köprü Kenar Ayakları	12
1.3.10. Kafes Tipi İstinat Duvarları	12
1.4. İstinat Duvarlarında Zemin İtkileri	13
1.5. İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması	17
1.5.1. Ağırılık İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması	17
1.5.2. Konsol İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması	18
1.5.3. Payandalı İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması	19
1.5.4. Kafes Tipi İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması	20
1.6. İstinat Duvarlarının Drenajı.....	21

1.7. İstinat Duvarlarının Derzleri.....	23
1.8. İstinat Duvarlarında Deprem Yüklerini de İçeren İtkilerin Çeşitli Teori ve Analitik Yöntemlerle Hesabı	23
1.8.1. Rankine Teorisiyle Hesap.....	24
1.8.2. Coulomb Teorisiyle Hesap.....	27
1.8.3. Mononobe-Okabe Yöntemiyle Hesap.....	29
1.8.4. Steedman ve Zeng Yöntemiyle Hesap.....	31
1.9. İstinat Duvarlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Deprem Hesabı	33
1.9.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Bazı Hatırlatmalar	34
1.9.2. Yapısal Çözümlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanan Bilgisayar Programı Yardımıyla Gerçekleştirilmesi	35
1.10. Deprem Yükleri Altında İstinat Duvarlarının Yerdeğiştirme Hesabına İlişkin Yöntemler	36
1.10.1. Richards-Elms Yöntemi	36
1.10.2. Whitman ve Liao Yöntemi	38
1.11. Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe (1998) Göre Zemin İtkileri	39
1.11.1. Kohezyonsuz Zemin Durumu	40
1.11.1.1. Ek Yük Durumu.....	46
1.11.1.2. Tabakalı Zemin Durumu	49
1.11.1.3. Suya Doygun Zemin Durumu	54
1.11.1.4. Zeminin Su Altında Bulunması Durumu	54
1.11.1.5. Zeminin Bir Kısmının Su Altında Bulunması Durumu	55
1.11.2. Kohezyonlu Zemin Durumu	56
1.12. İstinat Duvarlarının Hesap Sırası	58
1.12.1. Genel Bilgilerin Temini	58
1.12.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi	58
1.12.3. Ek Yük ve Deprem Yüklerinin Belirlenmesi	60
1.12.4. Duvar Türünün Seçimi ve Ön Boyutlandırma	60
1.12.5. İstinat Duvarı Etkilerinin Hesabı	60
1.12.6. Stabilite Denetimi	60
1.12.6.1. Kayma Denetimi	62
1.12.6.2. Devrilme Denetimi	63
1.12.6.3. Taban Gerilmelerinin Denetimi	63
1.12.6.4. Toptan Göçme Denetimi	66

1.12.7. Donma Derinliğinin Belirlenmesi	70
1.12.8. İstinat Duvarlarında Dikkate Alınan Yük Kombinezonları, İstinat Duvarlarının Hesabı ve Konstrüktif Kurallar	71
1.12.8.1. İstinat Duvarlarında Dikkate Alınan Yük Kombinezonları	72
1.12.8.2. İstinat Duvarlarının Hesabı	72
1.12.8.3. Konstrüktif Kurallar.....	76
1.12.9. İstinat Duvarlarında Farklı Mesnet Çökmelerinin Hesabı	81
1.13. İstinat Duvarları Konusunda Son Yetmiş Yılda Yapılan Bazı Çalışmalar.....	81
1.14. Bu Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	88
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve İRDELEMELER	90
2.1. Giriş	90
2.2. Sayısal uygulama I	91
2.3. Sayısal uygulama II	101
3. SONUÇ ve ÖNERİLER	102
4. KAYNAKLAR	104
5. EK-A BETONARME KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ DEPREM HESABI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİLGİSAYAR PROGRAMI.....	112
6. ÖZGEÇMİŞ	117

ÖZET

Yapım ve fonksiyonları yönünden özellik arzeden istinat duvarlarının da depreme göre dayanımlı olarak yapılmaları gerektiği açıktır. Oysa teknik literatürde bu özel mühendislik yapılarının depremden dolayı kabul sınırlarının ötesinde hasar gördüğü de bir gerçektir. Buda, istinat duvarlarının depreme emniyetlerinin çağdaş yönetmeliklerde öngörülen düzeyde olmadığını göstermektedir. Bu durum, yapım aşamalarında gerekli özenin gösterilmiş olması durumunda, projelendirilmelerinde kullanılan hesap yöntemlerine atfedilebilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı da betonarme istinat duvarları konusunda bir sentez çalışması yardımıyla yerli, yabancı kaynaklarda dağınık ve çoğu zaman yetersiz durumdaki bilgileri birleştirerek pratikte uygulamalarda kullanılabilen bir kaynak oluşturmak ve deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarını, Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğine uygun olarak, bilgisayar yardımıyla projelendirilmek için bir program geliştirmekten ibarettir.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma üç asıl ve bir ek bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde istinat duvarları ve bu duvarlara etkiyen basınçların hesabına ilişkin bir sentez çalışmasıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik kayıtlarını içeren genel bilgiler verilmektedir. İkinci bölümde deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarının analitik ve sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar yardımıyla projelendirilmesine ilişkin geliştirilen bir program verilmekte ve bu programla çeşitli sayısal uygulamalar yapılmaktadır. Çalışmanın bütününden çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar dizini ile deprem bölgelerindeki betonarme konsol istinat duvarlarının bilgisayarla hesabı için geliştirilmiş olan program listesine ilişkin bir ek bölüm izlemektedir.

Elde edilen sonuçlar, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe uygun olarak geliştirilmiş olan bilgisayar programının bu çalışmaya konu olan istinat duvarları üzerinde gerçekleştirilen sayısal uygulamalar için doğru sonuçlar verdiği ortaya koymuş bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İstinat duvarları, Sentez çalışması, Deprem hesabı, Bilgisayar programı, Analitik ve sayısal yöntemler.

SUMMARY

Computer Aided Design of Reinforced Concrete Retaining Walls in Earthquake Zones by Using Analytical and Finite Element Methods

It is obvious that retaining walls showing constructional properties also need to be constructed against earthquakes. However, according to technical literature such kind of special engineering structures are damaged beyond the acceptable limits because of earthquakes. This shows that earthquake safety of retaining walls are not at the level of contemporary regulations. This situation, if the necessary care at the construction stage is showed, is attributed to calculation procedures used in their designs. The main purpose of this study is forming a reference which can be used in practical applications by merging the information which is generally not sufficient for many cases and scattered in the references with the help of a synthesis work about the reinforced concrete retaining walls, and developing a computer program for designing reinforced concrete retaining walls in earthquake regions according to the regulation of structures to be constructed in disaster regions in Turkey.

The study performed for this purpose includes three main and one appendix. In the first chapter, with an synthesis work about retaining walls and calculation of pressures acting on these walls, general information is given including regulation recordings about the structures to be constructed in disaster region. In the second chapter, a computer program developed for the use of analytical and numerical procedures to design reinforced-concrete retaining walls to be constructed in earthquake zones and various numerical applications are performed with this program are given. The main results and suggestions obtained from the whole study are summarised in the third chapter and this last chapter is followed by the list of references and an appendix including source code of a computer program developed for calculation of reinforced concrete cantilever retaining walls in the earthquake regions.

The obtained results show that the computer program developed according to the regulation of structures to be constructed in the disaster regions in Turkey gives correct results for numerical applications of retaining walls considered in this study.

Key Words: Retaining Walls, Synthesis Work, Earthquake Analysis, Computer Program, Analytical and Numerical Procedures.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Zemin yada dolgunun doğal durumu	1
Şekil 2. Zemin dengesini sağlamak için yapılan istinat duvarı.....	2
Şekil 3. İstinat duvarlarının kullanım amaçlarına örnekler	4
Şekil 4. Ağırlık istinat duvarı enkesit tipleri.....	5
Şekil 5. Yarı ağırlık istinat duvarı enkesit tipleri ve asal donatı şemaları	6
Şekil 6. Konsol istinat duvarlarında enkesit tipleri ve asal donatı şemaları	7
Şekil 7. Dişli istinat duvarlarında asal donatısı şeması	7
Şekil 8. Taşkın için yapılan konsol istinat duvarı donatı şeması	8
Şekil 9. Payandalı bir istinat duvarı görünümü	9
Şekil 10. Katlanmış plak ve kabuk istinat duvarlarından birer görünüm	9
Şekil 11. Yatay konsol plaklı istinat duvarlarına ilişkin bir örnek	10
Şekil 12. Ankrajlı istinat duvarı enkesiti	11
Şekil 13. Pasif itkisi ihmal edilemeyen bir istinat duvarı örneği	11
Şekil 14. Konsol köprü ayağı enkesitleri ve bunlara etki eden yükler	12
Şekil 15. Kafes tipi istinat duvarlarına bir örnek	13
Şekil 16. İstinat duvarlarına etki eden yanal itkiler	13
Şekil 17. Zemin ortamının mümkün olabilen sınırlarına ilişkin şemalar	14
Şekil 18. Duvarın öne doğru hareketi ile oluşan aktif basınç durumları	16
Şekil 19. Duvarın zemine doğru çok az hareketi ile oluşan pasif basınç durumu	16
Şekil 20. Zemin yatay basınç katsayıları	17
Şekil 21. Ağırlık istinat duvarlarının ön boyutlandırılması.	18
Şekil 22. Konsol istinat duvarının ön boyutlandırılması	19
Şekil 23. Payandalı istinat duvarların ön boyutlandırılması	20
Şekil 24. Kafes tipi istinat duvarların ön boyutlandırılması	20
Şekil 25. Yeraltı su seviyesinin temel üzerinde olması durumuna ilişkin drenaj örneği	21
Şekil 26. İstinat duvarlarında çeşitli drenaj uygulamaları	22
Şekil 27. İstinat duvarlarında derzler	23
Şekil 28. İstinat duvarlarında aktif Rankine durumuna ilişkin statik basınç dağılımı ...	25
Şekil 29. İstinat duvarlarında pasif Rankine durumuna ilişkin statik basınç dağılımı ...	27

Şekil 30. Coulomb aktif statik basınç durumu hesap modeli.....	27
Şekil 31. Coulomb pasif statik basınç durumu hesap modeli.....	29
Şekil 32. Mononobe-Okabe yönteminde aktif kama üzerine etki eden kuvvetler	30
Şekil 33. Steedman-Zeng yöntemine ilişkin hesap modeli	31
Şekil 34. Yatay eşdeğer katsayısının (C_h)=0.2 değeri için maksimum devrilme momentini veren dinamik itkinin uygulama noktası	33
Şekil 35. Yapısal çözümleme programının (SAP90) akış şeması	35
Şekil 36. Ağırlık istinat duvarlarına eşdeğer statik ivmenin ve ağırlığın etkisi	36
Şekil 37. Statik aktif ve pasif basınç diyagramları	42
Şekil 38. Aktif ve pasif gerilme katsayılarının değişimi	45
Şekil 39. Dinamik zemin itkileri ve uygulama noktaları	46
Şekil 40. Ek yükün düzgün yayılı olması durumunda istinat duvarına etki eden statik ve dinamik yükler	49
Şekil 41. Tabakalı zemin durumunda istinat duvarına etki eden statik aktif itkiler ...	51
Şekil 42. Aktif gerilme katsayısının değişimi	52
Şekil 43. Zeminin bir kısmının su altında bulunması durumunda aktif gerilme katsayısının değişimi	55
Şekil 44. Konsol istinat duvarlarına etki eden statik kuvvetler	61
Şekil 45. Payandalı istinat duvarlarına etki eden statik kuvvetler	61
Şekil 46. İstinat duvarlarında kaymaya karşı kullanılan dış tipleri	62
Şekil 47. İstinat duvarlarında mümkün olabilecek göçme türleri	66
Şekil 48. İstinat duvarlarının toptan göçme denetiminde kullanılan İsveç dilim yöntemi	67
Şekil 49. İstinat duvarlarında muhtemel buzlanma bölgeleri	71
Şekil 50. Deprem esnasında betonarme konsol istinat duvarı elemanlarına etki eden statik ve dinamik yükler	73
Şekil 51. Deprem esnasında betonarme payandalı istinat duvarı elemanlarına etki eden statik ve dinamik yükler	75
Şekil 52. Payanda hesabında kullanılan genişletilmiş moment diyagramı	76
Şekil 53. Betonarme konsol istinat duvarların donatı şeması	79
Şekil 54. Betonarme payandalı istinat duvarların donatı şeması	80
Şekil 55. Whitman deney modeli	84
Şekil 56. Erzincan depreminin doğu-batı doğrultusundaki yer ivmesi bileşen kaydı.....	90
Şekil 57. Sayısal uygulama I konu olan istinat duvarı ön boyutları	91
Şekil 58. İstinat duvarına etki eden statik kuvvetler	92

Şekil 59 . İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik kuvvetler	97
Şekil 60. İstinat duvarının sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlemesinde kullanılan sonlu elemanlar ağı	100
Şekil 61. Sonlu elemanlar ağının (bkz. Şekil 60) 77 nolu düğüm noktasının deprem süresince yerdeğişimi	100
Şekil 62. İstinat duvarında sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme dağılımı	101



TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Ağırlık istinat duvarı yerdeğıştirmelerinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerin ortalama değerleri ve standart sapmaları	39
Tablo 2. Etkin yer ivmesi katsayıları	44
Tablo 3. Zemin özellikleri	59
Tablo 4. Zemin emniyet gerilmeleri	64
Tablo 5. İstinat duvarlarının toptan göçme denetiminde kullanılan İsveç dilim yöntemi için hesap çizelgesi.....	69
Tablo 6. Betonarme istinat duvarlar için güvenlik katsayıları	70
Tablo 7. İstinat duvarlarında donma olayına karşı en az temel derinlikleri.....	71



SEMBOLLER DİZİNİ

A.B.Y.Y.H.Y. : Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
C_h	: Zemin basıncının hesabında kullanılan yatay eşdeğer deprem katsayısı
C_v	: Zemin basıncının hesabında kullanılan düşey eşdeğer deprem katsayısı
c	: Zemin kohezyonu (kayma dayanımı)
D	: Duvar kalınlığı
E	: Elastisite modülü
G_b	: Temel zemini kayma modülü
H	: Toplam üniform zeminin yüksekliği yada tabakalı zemin durumunda tabaka kalınlıklarının toplamı
h_t	: Zemin en üst tabakasının kalınlığı
I	: Yapı önem katsayısı
i	: İstinat duvarının aktif yada pasif basınç yüzlerindeki zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açı
K_o	: Sükunetteki zemin basıncı katsayısı
K_{as}	: Statik aktif basınç katsayısı
K_{ad}	: Dinamik aktif basınç katsayısı
K_{at}	: Toplam aktif basınç katsayısı
K_{ps}	: Statik pasif basınç katsayısı
K_{pd}	: Dinamik pasif basınç katsayısı
K_{pt}	: Toplam pasif basınç katsayısı
N	: Temeldeki normal kuvvet
P_{as}	: Zemin kütlelerinden doğan statik aktif basınç gerilmelerinin bileşkesi
P_{ps}	: Zemin kütlelerinden doğan statik pasif basınç gerilmelerinin bileşkesi
P_{ad}	: Zemin kütlelerinden doğan dinamik aktif basınç gerilmelerinin bileşkesi
P_{pd}	: Zemin kütlelerinden doğan dinamik pasif basınç gerilmelerinin bileşkesi
$P_{ad(z)}$: Zemin kütlelerinden doğan dinamik aktif basıncın derinlikle değişimi
$P_{pd(z)}$: Zemin kütlelerinden doğan dinamik pasif basıncın derinlikle değişimi
$P_{v(z)}$: Düşey zemin basıncının derinlikle değişimi

Q_{ad}	: Eşit yayılı ek yükten doğan dinamik aktif basınç gerilmelerinin bileşkesi
Q_{pd}	: Eşit yayılı ek yükten doğan dinamik pasif basınç gerilmelerinin bileşkesi
$q_{ad(z)}$: Eşit yayılı ek yükten doğan dinamik aktif basıncın derinlikle değişimi
$q_{pd(z)}$: Eşit yayılı ek yükten doğan dinamik pasif basıncın derinlikle değişimi
q_0	: Eşit yayılı ek yükün şiddeti
R_{za}	: İstinat duvarlarının kesit hesaplarında kullanılan dinamik kuvvetlerin elde edilmesi için kullanılan azaltma katsayısı (süneklik katsayısı)
z	: Zemin serbest yüzeyinden itibaren derinlik
z_{cd}	: Aktif yada pasif basınç gerilmeleri bileşkesinin zemin üstünden itibaren derinliği
λ	: Toplam aktif yada pasif basınç katsayılarının hesabında eşdeğer deprem katsayılarına bağlı olarak hesaplanan açı
φ	: Zeminin iç sürtünme açısı
\emptyset	: Donatı çapı
α	: İstinat duvarı yüzlerinin düşeyle yaptığı açı
δ	: Zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı
γ	: Zeminin birim ağırlığı
γ_b	: Su altındaki zeminin birim ağırlığı
γ_c	: İstinat duvarının birim ağırlığı
γ_d	: Zeminin kuru birim ağırlığı
γ_s	: Suyu doymuş zeminin birim ağırlığı
μ_s	: Sürtünme katsayısı

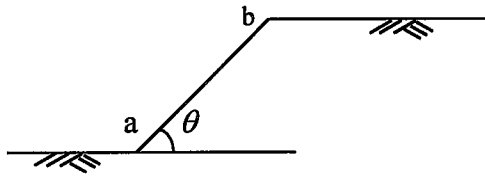
1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlu basit istinat yapılarını belki de varlığından itibaren kullanmaktadır. Gerçekten Çin'de Han Sülalesinin zemine iki sıra bambu kazığı çakıp su sızıntısını durdurmak amacıyla araya kil doldurmuş olmaları bu düşünceyi desteklemektedir. Orta Çağdan beri derin siperlerin istinat yapılarıyla desteklenmesinin askeri mühendislerin sürekli uğraştıkları bir konu olduğu da bilinmektedir [1].

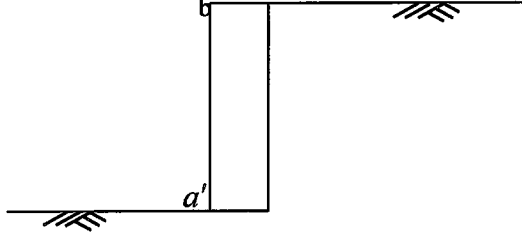
İstinat yapıları bugün de binaların çevresinin güvenliğinin sağlanması, düşey kazıların sürekli yada geçici desteklenmesi ve zemin basıncının karşılanması amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu uygulamalar için zemin mekanikçiler çeşitli yaklaşımlar geliştirmiş ve başarılı bir şekilde kullanmış ve kullanmaktadır. Bu yapıların davranışlarının iyileştirilmesinde metal, polimer ve geotekstil gibi malzemelerde kullanılmaktadır.

Doğal zeminlerin ve agrega yığını gibi dolgu malzemelerin farklı yükseklikteki iki noktasını birleştiren ab çizgisi genellikle düşey değildir (Şekil 1). Bu ab çizgisinin yatayla yaptığı θ açısına zeminin doğal şev açısı adı verilmektedir. Bu durumda φ iç sürtünme açısı olmak üzere $\theta > \varphi$ için bir önlem almadan zemin ve/veya dolgu malzemesinin dengesini sağlamak mümkün olmamaktadır.



Şekil 1. Zemin yada dolgunun doğal durumu

Diğer bir deyişle bu ab çizgisinin düşey yada düşeye yakın olması istendiğinde zeminin dengede tutmak için bir yapı inşa etmek zorunlu olmaktadır. İnşaat mühendisliğinde bu tür yapılara “İstinat Duvarları” adı verilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Zemin dengesini sağlamak için yapılan istinat duvarı

Bugüne kadar istinat duvarlarına ilişkin yapısal çözümler ve stabilite denetimleri genellikle statik yükler dikkate alınarak yapılmıştır. Oysa deprem bölgelerindeki istinat duvarlarının söz konusu çözümler ve denetimlerinin dinamik olan deprem yüklerine göre de yapılması gerekmektedir. Bir istinat duvarının deprem yüklerine göre projelendirilmesindeki en önemli husus, deprem kuvvetlerinin tahmininin de kullanılan modele ilişkin yöntem ve emniyet payı gibi özelliklerini belirlemektir. Deprem yükleri altında istinat duvarlarında büyük gerilmeler dolayısıyla da şekil değiştirmeler meydana gelmekte ve böylece problem kompleks bir zemin-yapı etkileşimi problemine dönüşmektedir. Bu duvarlara deprem sırasında etkiyecek statik ve dinamik basınçların belirlenmesi için birçok ülke yönetmeliğinde Mononobe- Okabe yönteminin kullanılması önerilmektedir [2].

Zemin mekaniğinde istinat duvarı stabilite denetimleri, iç sürtünme açısı (φ), arazinin eğimi (i), duvar ile zemin arasındaki sürtünme açısı (δ), yer altı suyunun varlığı ve zeminin birim ağırlığı (γ) dikkate alınmak suretiyle, statik yükler için, yapılmaktadır.

Oysa bu duvarların stabilite denetimlerinin depremden doğan dinamik yüklere göre de sağlanması gerekmektedir. Zira istinat duvarlarının bir çok depremde hasar gördüğü de bilinmektedir [3,4,5]. Bunların söz konusu depremlerde hasar görmesi, deprem emniyetlerinin Çağdaş yönetmeliklerde öngörülen düzeyde olmadığını dolayısıyla da

inşaatlarının özenle yapılmış olması halinde sözkonusu emniyeti sağlamada kullanılan yöntemlerin gerçeği yansıtmadığını göstermektedir.

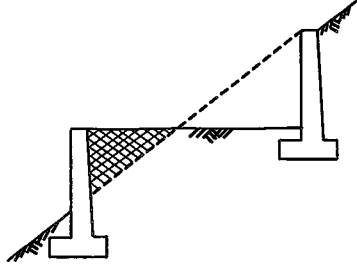
Depremlerde istinat duvarlarının hasar görmesi yada yıkılması; Köprü ve liman duvarlarının kullanım dışı kalmasına, yolların tahrip olmasına, büyük çaplı arazi kaymalarının meydana gelmesine sebep olabilmektedir [6,7,8]. Bu nedenle yapım ve fonksiyonları yönünden özellik arzeden bu tür mühendislik yapılarının da depreme dayanımlı olarak yapılmaları kaçınılmaz olmaktadır.

İstinat duvarları genellikle taban ve gövde olmak üzere başlıca iki kısımdan meydana gelmektedir. Projelendirme duvarı bir bütün olarak dikkate almak suretiyle yapılabildiği gibi, duvar kısımlarını ayrı ayrı almak suretiyle de yapılabilmektedir.

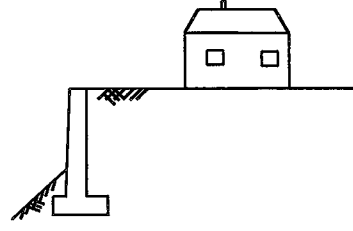
İstinat duvarlarının inşasında çeşitli ülkelerin standart ve yönetmelikleri drenaj içinde gerekli hususları belirtmektedir [9,10,11,12,13].

1.2. İstinat Duvarlarının Kullanım Amaçları

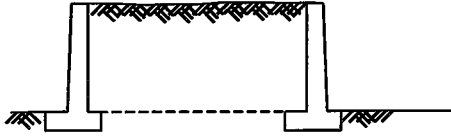
İstinat duvarları ulaşım yapıları, köprüler, kanallar, limanlar ve su depoları gibi amaçla kullanılmaktadır (Şekil 3). Demiryolu yada karayolu temelini oluşturmak için belirli kesitlerde yarma, dolgu, yada her ikisi de yarmalarda uygulanmaktadır (Şekil 3a, 3b ve 3c). Endüstri bölgelerinde kısıtlı olan depolama alanlarında mümkün olan fazla hacimdeki malzemeyi saklamak için ise başvuru olan yol Şekil 3e’de verilmektedir. Yağışlar sebebiyle erozyona uğrayan akarsulara karışıp gitmesini önlemek için Şekil 3h’daki istinat duvarı kullanılabilir. Bir limanda palplanşlar çakıldıktan sonra, deniz dibinin taranması sırasında çıkan zemin palplanşlar arasına doldurulmakta böylece rıhtım için gerekli alan ve de derinlik elde edilmektedir (Şekil 3k).



a) Ulaşım yolu kazı ve dolgusu



b) Bina güvenliği



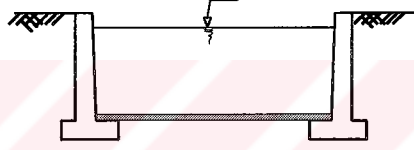
c) Dolgu gerektiren yollar



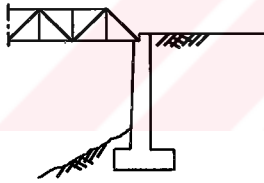
d) Kazı gerektiren yollar



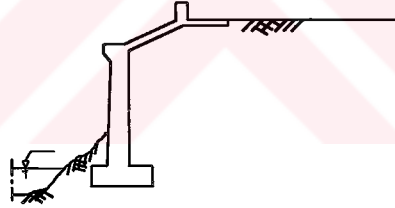
e) Cevher depolanması



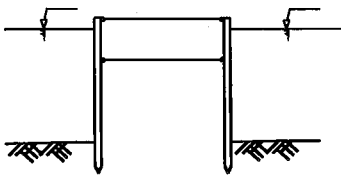
f) Kanal ve su deposu



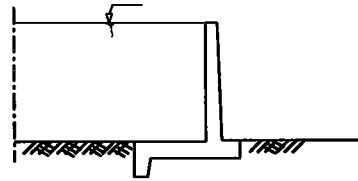
g) Köprü kenar ayaklarında



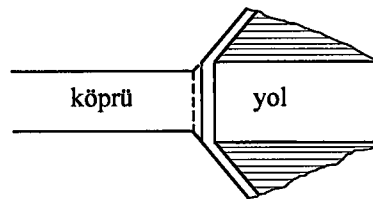
h) Erozyon önlemede



k) Rıhtım duvarları



l) Taşkın önleme duvarları



m) Köprü yaklaşım yapısı

Şekil 3. İstinat duvarlarının kullanım amaçlarına örnekler

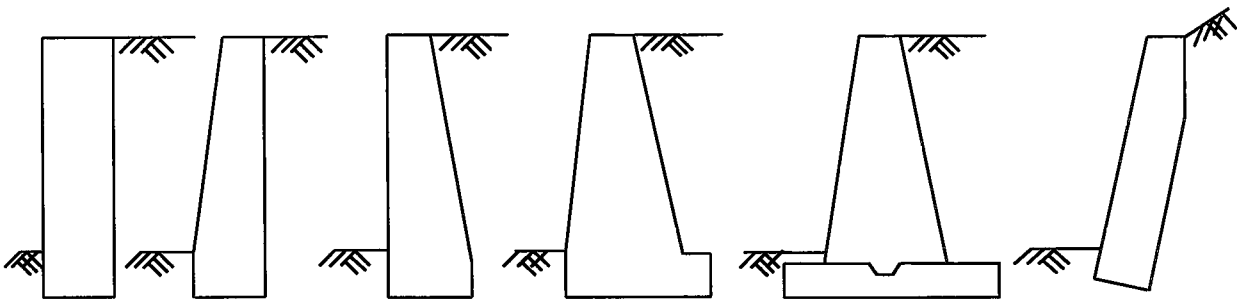
1.3. İstinat Duvarı Türleri

Günümüzde inşa edilen istinat duvarlarının tipine, gerekli duvar yüksekliği, kullanılacak olan malzeme türü, yer altı suyu durumu, dolguda kullanılacak zemin cinsi, kullanım amacı ve gerekli güvenlik sayısı dikkate alınmak suretiyle karar verilmektedir. Diğer yapılarda olduğu gibi istinat duvarlarında da ekonomik olmak koşulu aranmaktadır. Gerçekten uzunluğu genellikle yüzlerce metreyi bulan duvarlarda güvenlikten taviz vermeden tip seçiminin yanlışlığı ve/veya gereğinden büyük kesitlerin kullanılması maliyetin yükselmesine neden olmaktadır.

İstinat duvarları çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada yapılarına göre sınıflandırılan istinat duvarları üzerinde durulmaktadır.

1.3.1. Ağırlık İstinat Duvarları

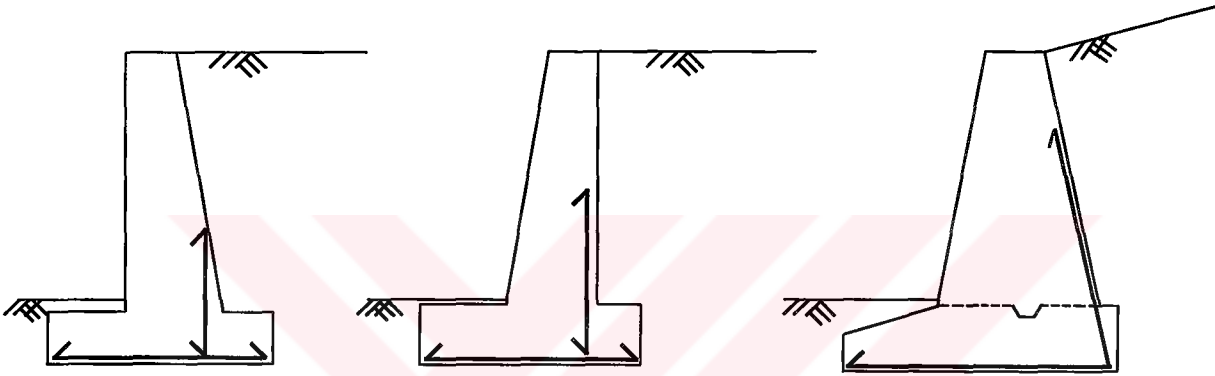
Kargir yada betondan yapılan bu tür duvarlar zemin basıncını kendi ağırlıkları ile dengelemektedirler. Bu nedenle yüksekliklerinin genellikle $h \leq 4.5m$ olması gerekmektedir. Zira yükseklikleri artıka bu duvarlar ekonomik olmamaktadırlar. Bu tür duvarların hiçbir kesitinde çekme gerilmesi oluşmasına izin verilmemektedir. Basınç gerilmelerinin de kullanılan malzemenin izin verilen dayanımını aşmaması gerekmektedir. Ağırlık duvarlarının en yaygın olarak uygulanan tipleri Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4. Ağırlık istinat duvarı enkesit tipleri

1.3.2. Yarı Ağırlık İstinat Duvarları

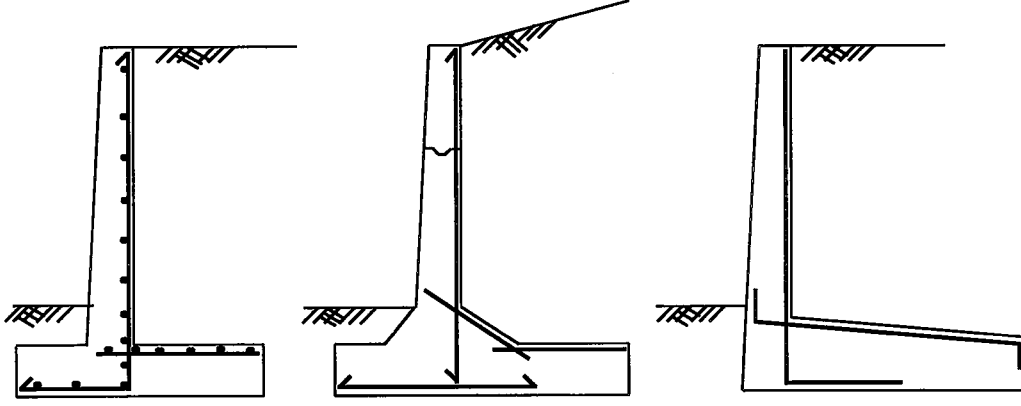
Oluşmalarına izin verilebilen küçük çekme gerilmelerini karşılamak için bir miktar donatı kullanmak suretiyle beton ağırlık duvarlarının boyutlarını küçültmek mümkün olabilmektedir. Bu şekilde inşa edilen istinat duvarlarına teknik literatürde yarı ağırlık istinat duvarları adı verilmektedir (Şekil 5). Bunların inşası duvar yüksekliğinin $4.5 < h \leq 6m$ sınırları arasında kalması durumunda ekonomik olmaktadır [14,15].



Şekil 5. Yarı ağırlık istinat duvarı enkesit tipleri ve asal donatı şemaları

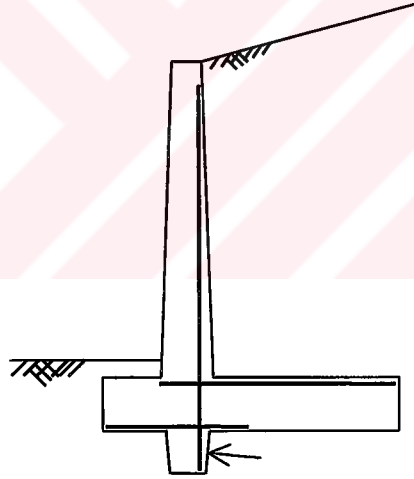
1.3.3. Konsol İstinat Duvarları

Genellikle betonarme olarak inşa edilen bu duvarlar en yaygın olarak kullanılan istinat duvarlarıdır. Bunlar ise genellikle duvar yüksekliğinin $6 < h \leq 8m$ sınırlarını sağlaması durumunda ekonomik olmaktadır. Bu duvarlar genellikle $\perp \perp \perp$ şeklindedirler. Bu tip istinat duvarlarında çekme gerilmelerine tamamen izin verilmekte ve bu gerilmeler donatıyla karşılandığından kesitler küçülmektedir. Bu duvarlara ilişkin enkesit tipleri ve asal donatı şemaları Şekil 6'da verilmektedir.



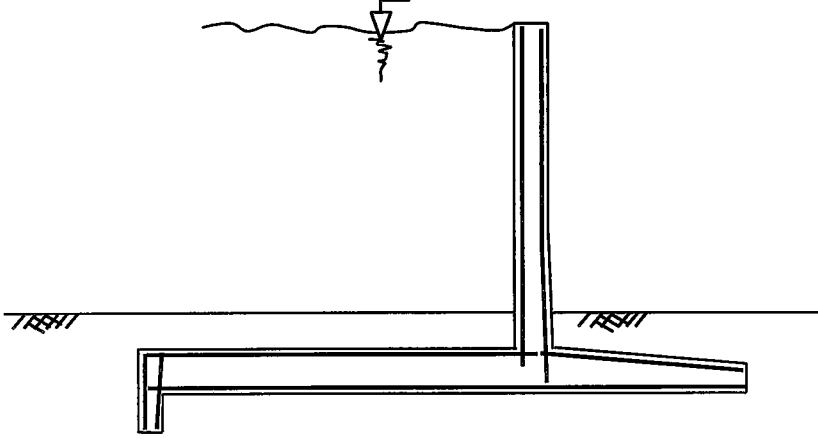
Şekil 6. Konsol istinat duvarlarında enkesit tipleri ve asal donatı şemaları

Duvarın kayma emniyetinin sağlanamaması durumunda Şekil 7'de gösterilen diş temele eklenerek pasif direncin artırılması yoluna gidilebilmektedir.



Şekil 7. Dişli konsol istinat duvarlarında asal donatı şeması

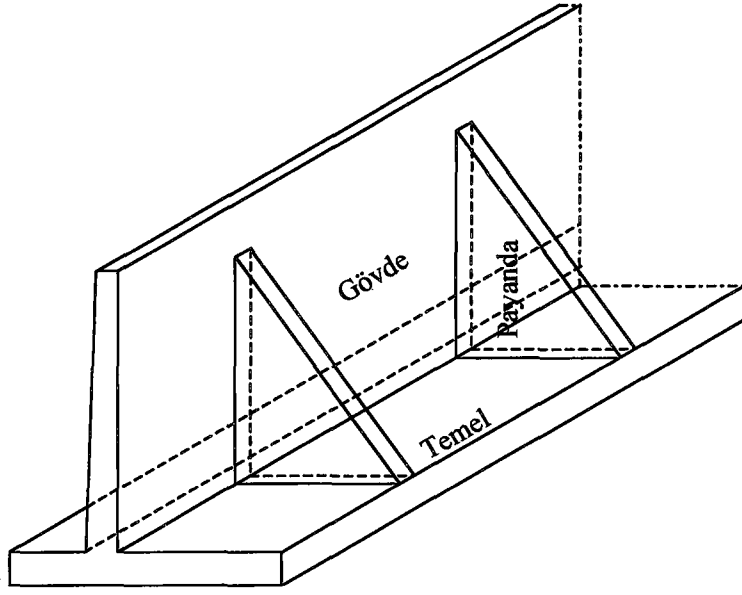
İnşaat alanındaki zemin kazısının yapılamaması durumunda konsol duvarın özel bir şekli taşkın önleme de kullanılmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Taşkın için yapılan konsol istinat duvarı donatı şeması

1.3.4. Payandalı İstinat Duvarları

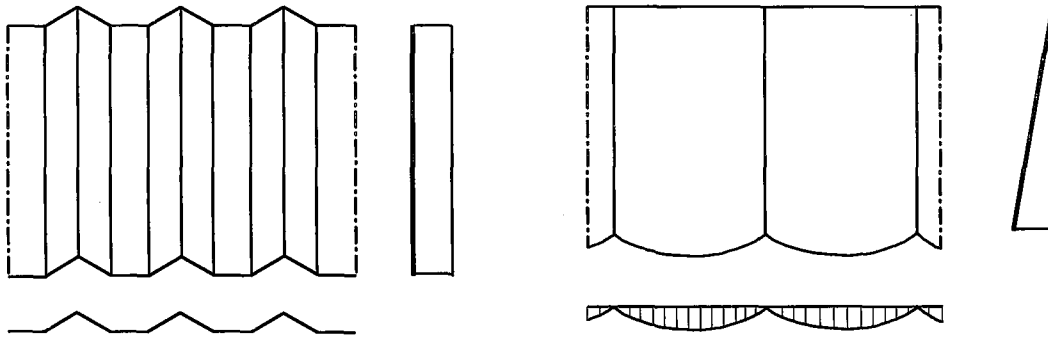
Payandalı istinat duvarlarına teknik literatürde nervürlü istinat duvarları adı da verilmektedir. Bunlar payandalarla güçlendirilmiş konsol istinat duvarlardır (Şekil 9). Bu tip duvarlar genellikle yüksekliklerinin $8 < h \leq 12$ m koşulunu sağlaması durumunda ekonomik olmaktadır. Zira konsol istinat duvarının yüksekliği 8 m'yi geçtiğinde gövde ile taban plağının birleşim yerindeki moment ve kesme kuvvetleri çok büyük değerler almaktadırlar. Bu durum ise payandalı istinat duvarlarının yapılmasını gerekli kılmaktadır. Bu tür duvarda gövde ve temel belirli aralıklarla payandalarla birbirine bağlanmaktadır. Böylece gövde ile temel arakesitinde eğilme momenti azalmakta ve dolayısıyla da karşılanması daha kolay olan merkezi normal kuvvetin oluşması sağlanmaktadır. Payandalar gövdenin her iki yüzüne konulabilmekle beraber görünüş ve yer kaybı gibi nedenlerle bunlar genellikle gövdenin arka yüzeyine konulmaktadır. Sadece yapılacak kazının çok pahalı olması yada kazı imkanının bulunmaması durumlarında kohezyonu fazla olan zeminlerde payandaların gövdenin ön yüzeyine konması tercih edilmektedir.



Şekil 9. Payandalı bir istinat duvarı görünümü

1.3.5. Katlanmış Plak Ve Kabuk Türü İstinat Duvarları

Payandalı istinat duvarlarının kullanılması gerektiği hallerde temel kazısının çok zor olması durumunda katlanmış plak ve kabuk istinat duvarların inşası tercih edilmektedir (Şekil 10).



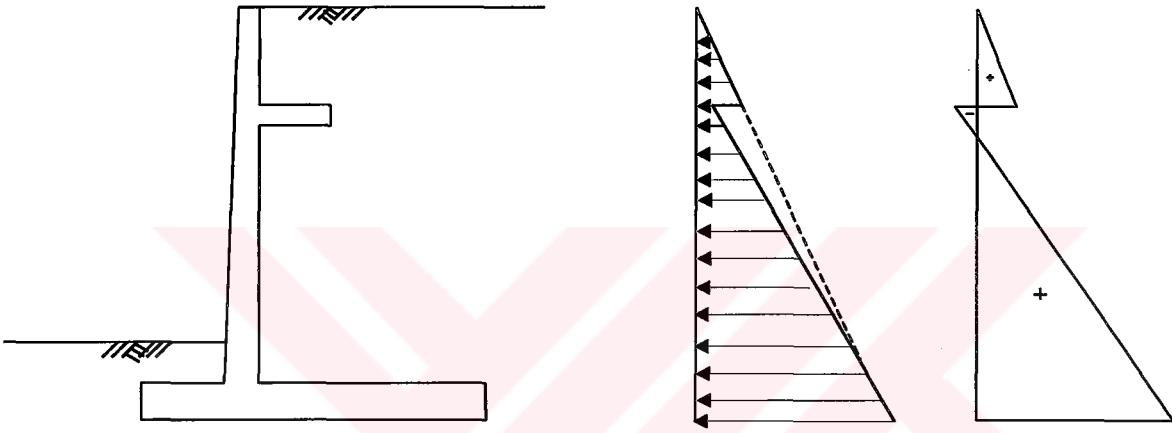
a) Katlanmış plak türü istinat duvarı

b) Kabuk türü istinat duvarı

Şekil 10. Katlanmış plak ve kabuk istinat duvarlarından birer görünüm

1.3.6. Yatay Konsol Plaklı İstinat Duvarları

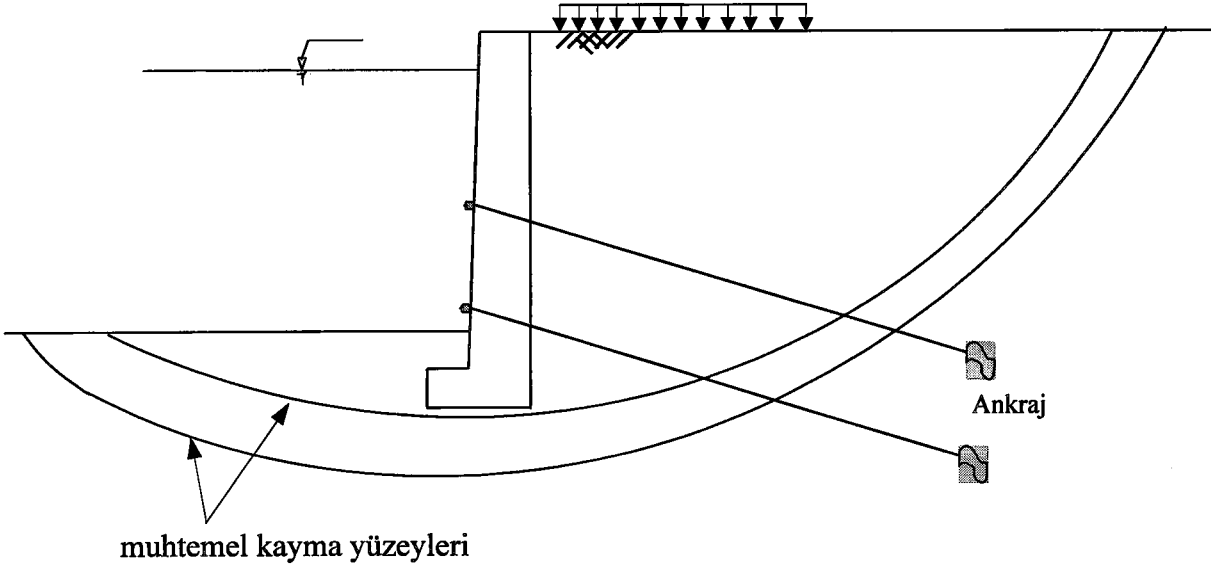
Yüksekliği konsol yada payandalı istinat duvarı gerektiren yerlerde duvarın gövdesinde yatay konsol yaparak gerilmeleri azaltmak suretiyle ekonomik çözümler elde edilebilmektedir [16,17,18]. Zira bu durumda istinat duvarının kritik kesitlerindeki hesap kesit etkileri genellikle azaltılabilmektedir (Şekil 11).



Şekil 11. Yatay konsollu istinat duvarlarına ilişkin bir örnek

1.3.7. Ankrajlı İstinat Duvarları

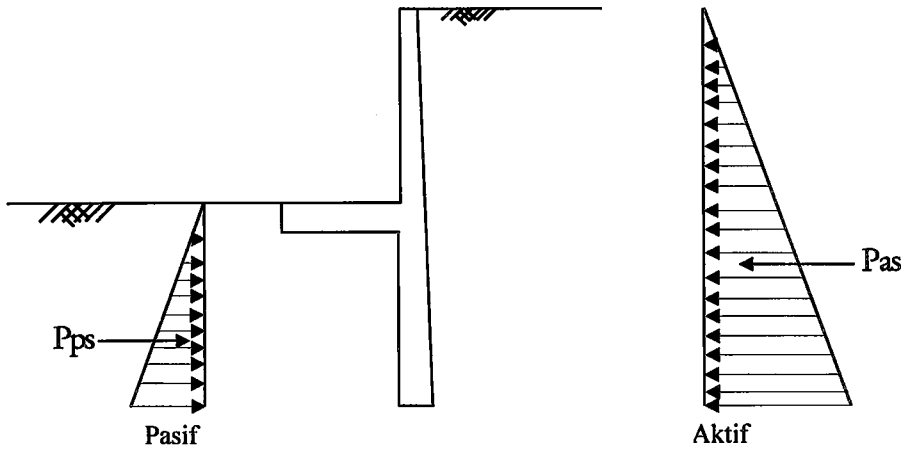
Ankraj istinat duvarlarında ve diğer yapılarda giderek artan bir kullanım alanı bulunmaktadır. Bunların kullanıldığı istinat duvarlarına ankrajlı istinat duvarları adı verilmektedir. Bunlar tünel ve baraj gibi yapılardaki uygulamalardan esinlenerek tüm zeminlerde ve kayalarda istinat duvarı gibi yapıların hafifletilmesi amacıyla kullanılmaya başlamıştır. Sağlam ortam yada kayma bölgesi dışına uzatılan sondaj kanalına enjeksiyon tekniğiyle bağlanan kablo duvarın duraylılığını (stabilizesini) sağlamaktadır (Şekil 12). Ankraj yerlerinin belirlenmesine ilişkin bilgiler teknik literatürde mevcuttur [19,20,21].



Şekil 12. Ankrajlı istinat duvarı enkesiti

1.3.8. Pasif İtkisi İhmal Edilemeyen İstinat Duvarları

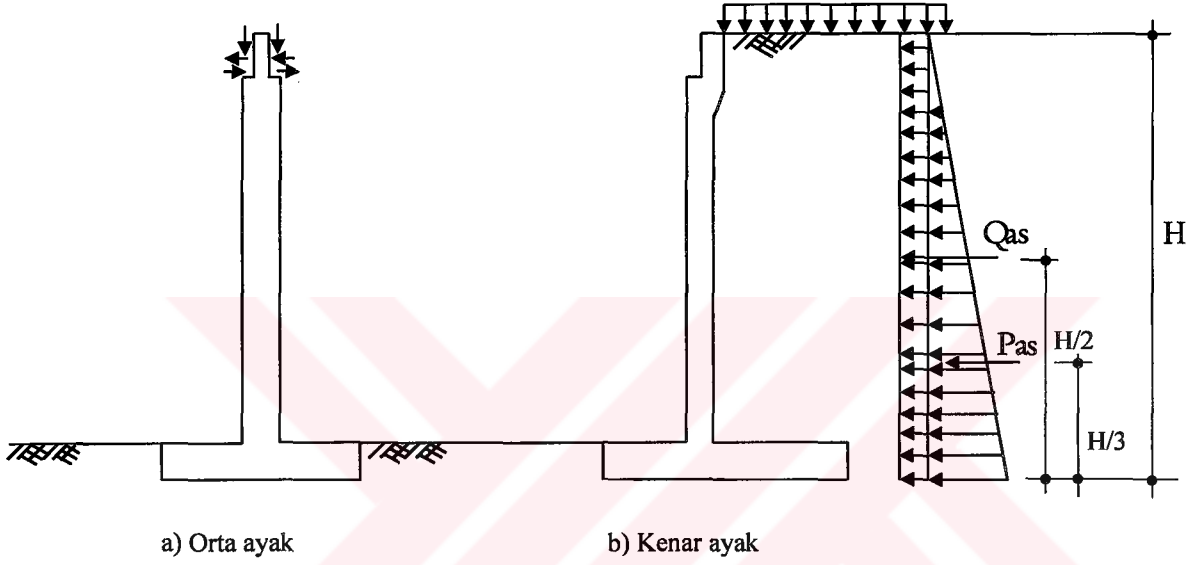
İstinat duvarının taban kısmının, yapılacak kazının çok pahalı yada imkansız olması hallerinde, dolgu tarafında yapılamadığı zaman duvarın stabilitesini sağlamak amacıyla gövde normalden daha fazla miktarda derine indirilmektedir (Şekil 13). Teknik literatürde bu tür duvarlara zemine ankastre istinat duvarları adı verilmektedir [16].



Şekil 13. Pasif itkisi ihmal edilemeyen bir istinat duvarı örneği

1.3.9. İstinat Duvarı Olarak Çalışan Köprü Kenar Ayakları

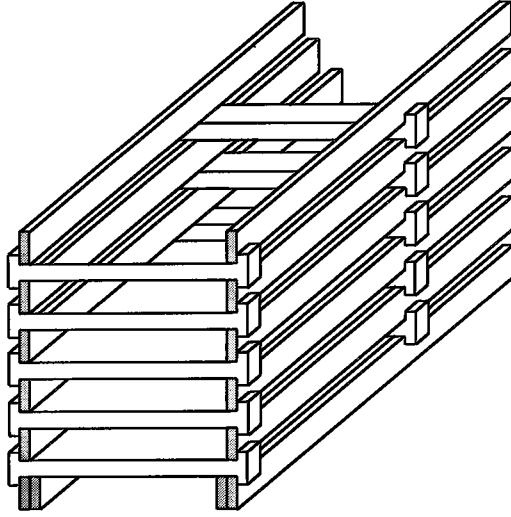
İstinat yapılarının özel bir uygulaması bazı köprülerin ayaklarında görülmektedir. Dolgunun uyguladığı aktif basınç yanında köprü mesnedi görevi yapan bu yapılar düşey ve yatay yükler için projelendirilmektedir. Şekil 14'de değişik iki tip köprü ayağı verilmektedir.



Şekil 14. Konsol köprü ayağı enkesitleri ve bunlara etki eden yükler

1.3.10. Kafes Tipi İstinat Duvarları

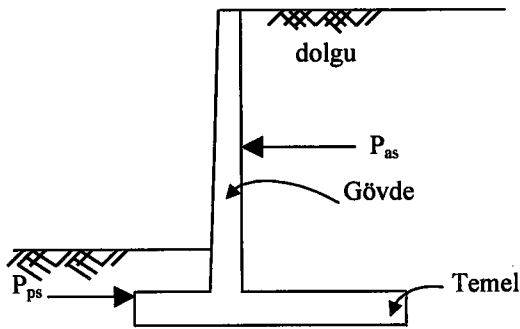
Kafes tipi istinat duvarları prefabrike betonarme kiriş elemanların, bazen ahşap kereste ve metal elemanların, istiflenerek yanları kapalı üstü açık sandıklar şeklindeki bölmelerin içi taş yada zeminle doldurularak teşkil edilmektedirler. Bunların kendi bünyeleri içinde drenajı temin etmeleri, sökülüp takılabilir olmaları, küçük oturmalardan etkilenmemeleri ve bakımlarının kolay olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır (Şekil 15).



Şekil 15. Kafes tipi istinat duvarlarına bir örnek

1.4. İstinat Duvarlarında Zemin İtkileri

Temel hesaplamalarında zemin tepkilerinin belirlenmesindeki zorluklar hemen hemen her mühendis tarafından bilinmektedir. Zemin itkisine maruz yapıların projelendirilmelerinde, yapıya etki eden zemin tabakalarının davranışları önemli olmaktadır. İstinat duvarları gibi yapılarda zemin tabakaların davranışlarını belirlemedeki zorluklara ilaveten yatay zemin itkilerinin belirlenmesindeki zorluklarla da karşılaşmaktadır (Şekil 16). İstinat yapılarına etki eden kuvvetlerin mümkün olduğu kadar doğru bir şekilde belirlenmesiyle duvar hem ekonomik hem de istenilen emniyette projelendirilebilmektedir.



Şekil 16. İstinat duvarlarına etki eden yanal itkiler

Şekil 16'da da görüldüğü gibi zemin etkisindeki yapıların projelendirilmesinde genellikle iki tür zemin itkisi dikkate alınmaktadır [22]. Bu itkilerin belirlenmesinde bir çok parametre etkili olmaktadır. Bunların başlıcaları aşağıda verilmektedir.

a) Gövdeye bağlı olanlar

Duvarın yüksekliği, eğimi, rijitliği, yüzey pürüzlülüğü ve gövdenin geometrik şekli.

b) Zemine bağlı olanlar

Birim ağırlık, zeminin cinsi, sıklığı, iç sürtünme açısı, çökme miktarı, su muhtevası, yeraltı suyunun durumu, yer hareketleri, yatay ve düşey yük etkisi.

c) Temele bağlı olanlar

Dönme , ötelenme v.b...

Burada istinat duvarlarının depreme göre davranışı, deprem sırasında meydana gelen toplam yanal zemin basınçlarına bağlı olmaktadır.

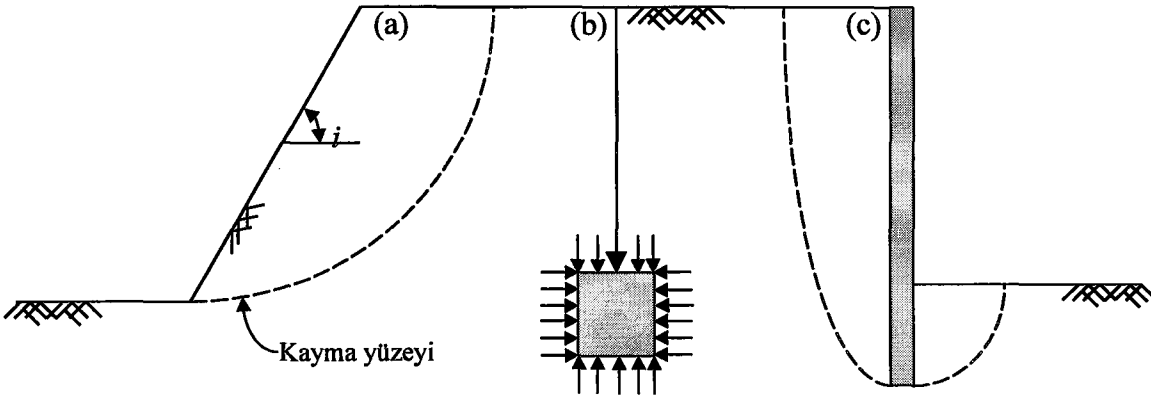
Aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi sonlu kalınlıklı bir zemin yada dolgu ortamı gözönüne alınsın. Ortamın sınırları stabil şevlerle ve istinat elemanları ile çevrili bulunsun. Böyle bir ortamda gerilme durumu bakımından birbirinden farklı

a) Şevlerle çevrili,

b) Sınırlardan yeteri kadar uzakta ve gerilme durumu sınır şartlarından bağımsız,

c) İstinat elemanları ile çevrili,

bölgelerinin mevcut olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 17. Zemin ortamının mümkün olabilen sınırlarına ilişkin şemalar

a bölgesindeki, gerilme durumuna burada değinilmemektedir.

b bölgesinde, zeminin hiçbir şekilde hareketine ve şekil değiştirmesine müsaade edilmediği durumdaki zemin basıncına sükunet durumunda zemin basıncı adı verilmektedir. Bu durumda düşey basınç: γH , yatay basınç: $K_o \cdot H \cdot \gamma$ bağıntısıyla hesaplanabilmektedir. Burada K_o zemin yapısına bağlı bir katsayı olup yaklaşık olarak 0.4~0.6 arasında bir değer olarak alınabilmekte yada $K_o = 1 - \sin \phi$ ifadesi ile hesaplanabilmektedir. H derinliğindeki toplam basınç kuvveti,

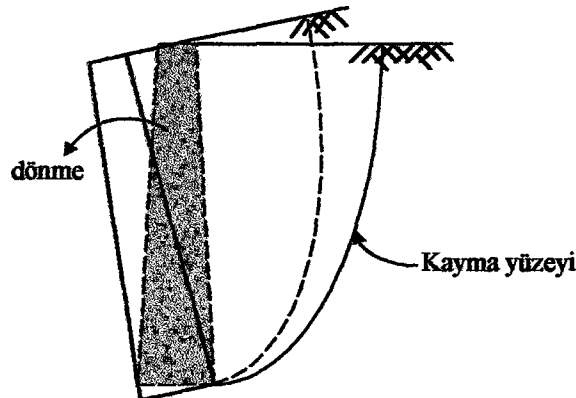
$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot K_o \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (1)$$

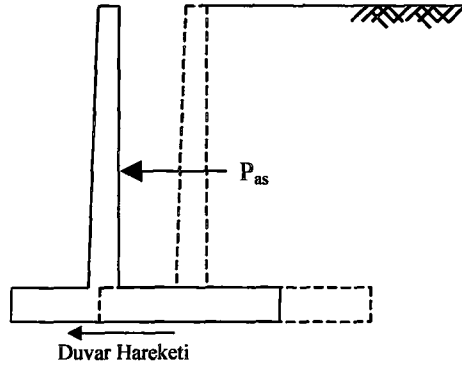
olarak yazılabilmektedir.

c bölgesinde, zeminde çok az bir yanıl genişleme vardır. Bu genişlemeye bağlı olarak zeminde iki tür zemin basıncı meydana gelmektedir.

* Aktif Zemin Basıncı

Temel kayması, gövdenin şekil değiştirmesi ve temelın dönmesi gibi nedenlerle istinat duvarı arkasındaki dolgu zemini önünde çok az bir yer değiştirme yapsın. Bu durumda dolgu zemini de istinat duvarı hareketini takip edecek ve duvarın devrilmesi ile sükunete geçecektir. Ancak bu hareket esnasında dolgu zeminin duvara uyguladığı basınca aktif zemin basıncı denilmektedir. İstinat duvarları çoğunlukla minimum aktif zemin basıncı prensibine göre projelendirilmektedir [22].

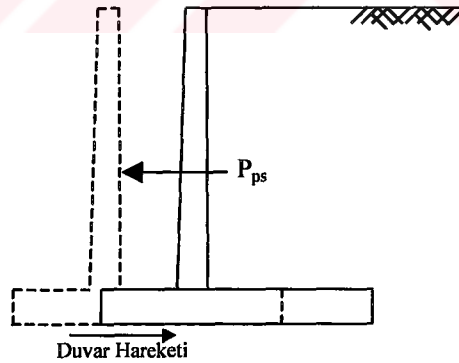




Şekil 18. Duvarın öne doğru hareketi ile oluşan aktif basınç durumları

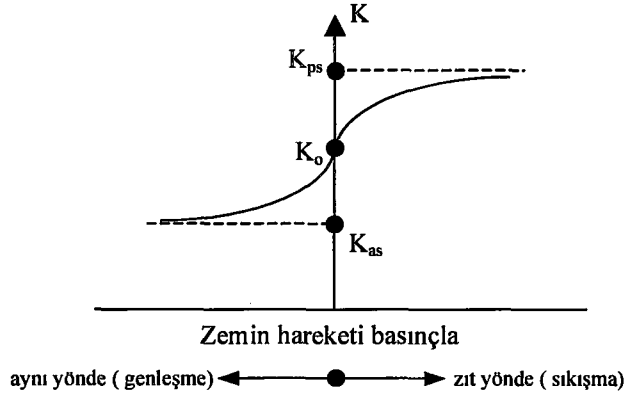
* Pasif Zemin Basıncı

İstinat duvarı, arkasındaki dolgu zeminine doğru itme ve sıkıştırma ile Şekil 19'daki gibi çok az bir hareket ediyorsa pasif zemin basıncı oluşmaktadır. Bu durumda mevcut sükunetteki gerilmelerde bir artma oluşacak ve belli bir sınırı aştıktan sonra zeminde kabarma başlayarak kırılma yüzeyi oluşmaktadır [20].



Şekil 19. Duvarın zemine doğru çok az hareketi ile oluşan pasif basınç durumu

Bu basınçlar kısaca aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi basınç katsayılarına bağlı olarak özetlenebilmektedir.



Şekil 20. Zemin yatay basınç katsayıları

Söz konusu zemin itkileri, zeminin fiziksel ve geometrik özelliklerine, jeolojik geçmişine, yük durumuna, deprem gibi yer hareketlerine bağlı olmaktadır.

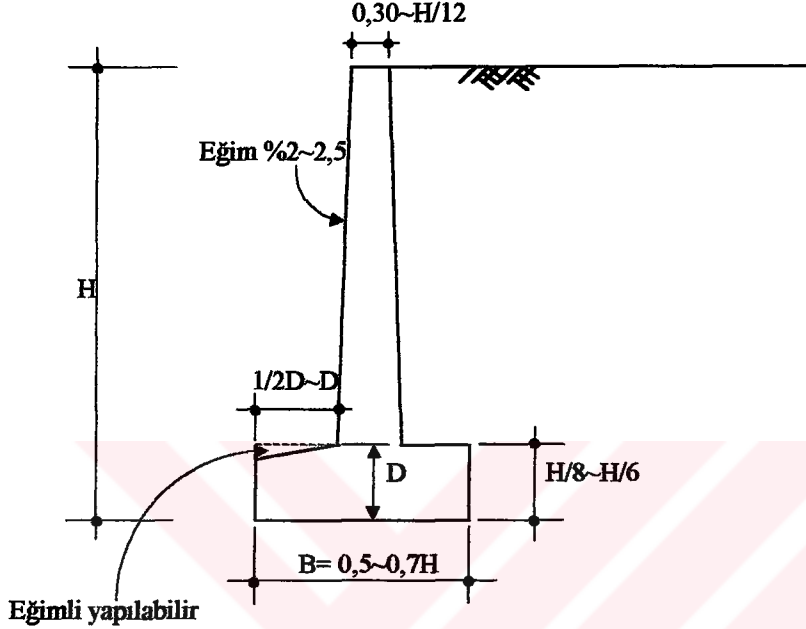
1.5. İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması

Tüm yapılarda olduğu gibi boyutlar için kesit etkilerinin kesit etkileri içinde boyutların bilinmesi gerekmektedir. Bu durum karşısında kesit etkilerinin tahmin edilmesi daha güç olduğundan daha önceki tecrübeler ışığında boyutların tahmin edilmesi yoluna gidilmektedir. Bu şekilde belirlenen boyutlara ön boyutlandırma adı verilmektedir. Ön boyutlarla istinat duvarının stabilite denetimleri yapılmakta, ekonomik bir şekilde sağlanmaları halinde boyutlar kesin boyutlar olarak belirlenmektedir. Aksi halde boyutlar yeniden seçilmek suretiyle hesaplar tekrarlanmaktadır. Eskiden hesaplar elle yapıldığından bu işlemler için çok fazla zaman harcanmaktaydı. Bu günde bilgisayar imkanlarıyla bu işlemlerin çok hızlı bir şekilde yapılabildiği hemen herkesçe bilinmektedir.

1.5.1. Ağırlık İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması

İstinat duvarlarının tümünde olduğu gibi ağırlık istinat duvarlarının ön boyutlandırılması da yüksekliğe bağlı olarak yapılmaktadır (Şekil 21). Bunlarda donatı bulunmadığından kesitlerin hiçbirinde çekme gerilmelerinin oluşmasına izin verilmemektedir. Devrilme emniyetini artırmak amacıyla temel ön çıkması (burun) genellikle arka çıkmaya (topuk) göre daha büyük yapılmaktadır. Diğer taraftan duvarın

stabilitesi bakımından temel altında çekme gerilmelerinin oluşmaması gerekmektedir. Durum böyle olunca temel boyutlarının duvara etkiyen düşey ve yatay kuvvetlerin bileşkesi çekirdek içinde kalacak şekilde seçilmesi zorunlu olmaktadır.



Şekil 21. Ağırlık istinat duvarlarının ön boyutlandırılması

1.5.2. Konsol İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması

Konsol istinat duvarlarının yüksekliğe bağlı olarak ön boyutlamalarına ilişkin bir örnek Şekil 22'de verilmektedir.

Diğer duvarlarda olduğu gibi konsol istinat duvarlarında da yatay ve düşey kuvvetlerin bileşkesinin temel taban çekirdeği içinde kalması gerektiği açıktır. Bunun için temel ön ve arka çıkma uzunlukları arasında

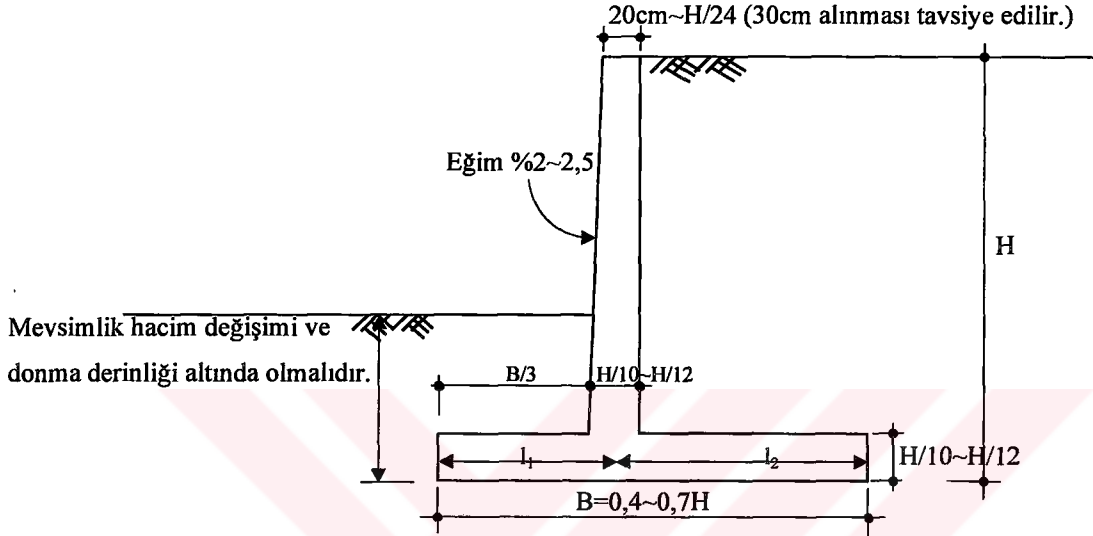
$$l_1 = \frac{H^2 K_{as}}{4.(B+l_2)} + \frac{l_2}{R} - \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{l_2^2}{B+l_2} \right) \quad (2)$$

bağıntısının bulunması gerekmektedir [1]. Diğer taraftan bu duvarlarda gövde üst genişliğinin

$$15\text{cm} + (H - 3) \cdot 3\text{ cm}$$

(3)

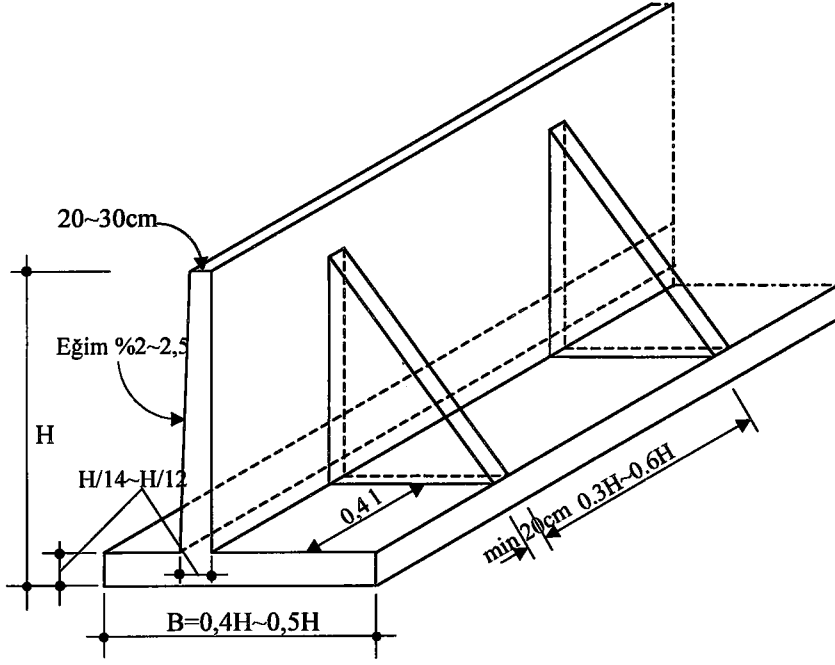
bağıntısını da sağlaması uygun olmaktadır.



Şekil 22. Konsol istinat duvarının ön boyutlandırılması

1.5.3. Payandalı İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması

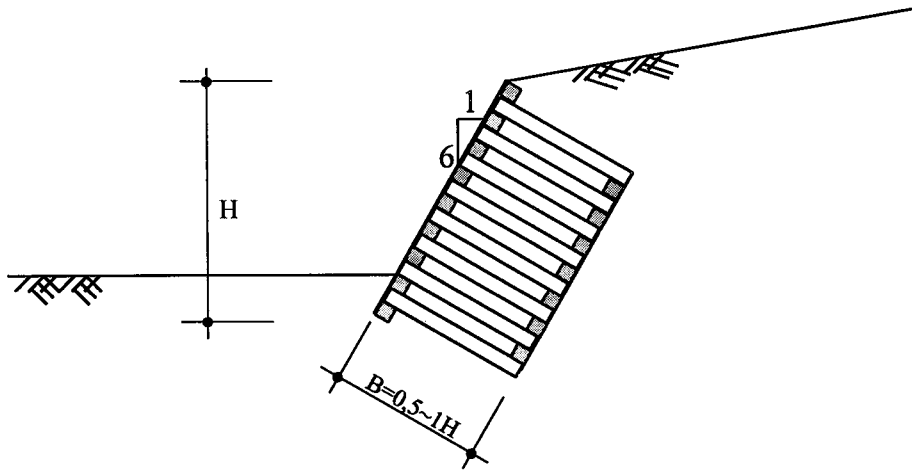
Payandalı istinat duvarları için yüksekliğe bağlı olarak önerilen ön boyutlar Şekil 23'de verilmektedir. Bu şekilde l iki payanda arasındaki mesafeyi göstermek üzere ilk payandanın duvar ucuna mesafesi $0,4l$ olması önerilmektedir. Bu duvarların hesabında analitik yöntemlerden çok sonlu elemanlar yada sonlu farklar yöntemine göre hazırlanan bilgisayar programlarının kullanılması önerilmektedir.



Şekil 23. Payandalı istinat duvarların ön boyutlandırılması

1.5.4. Kafes Tipi İstinat Duvarlarının Ön Boyutlandırılması

Bu tip istinat duvarları son zamanlarda düşey olarak yapılmaya başlamış olmakla beraber yerdeğiştirmelerin minimuma indirgenebilmesi için eğimli olarak yapılması tercih edilmelidir (Şekil 24).

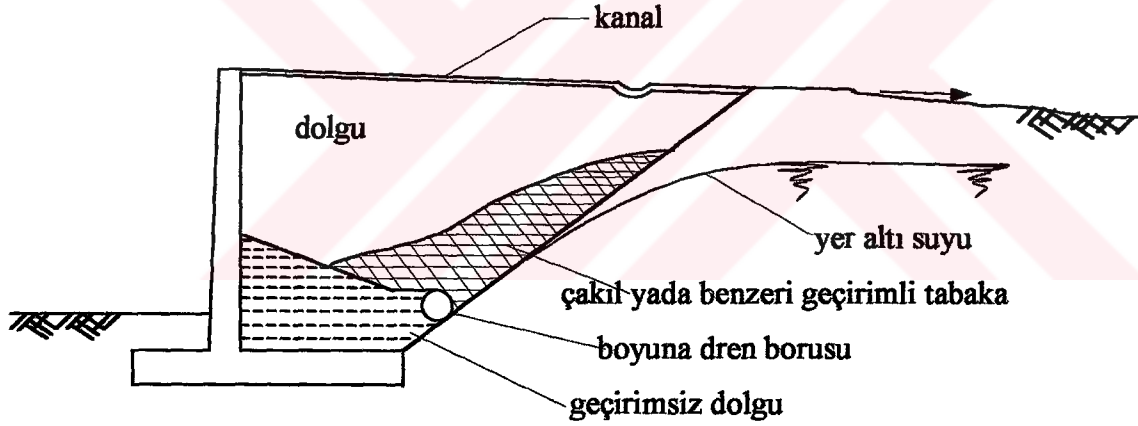


Şekil 24. Kafes tipi istinat duvarların ön boyutlandırılması

1.6. İstinat Duvarlarının Drenajı

İstinat duvarlarında drenaj önemli bir problemdir. Zira duvar arkasındaki dolguya sızan sular buradan tahliye edilmediği takdirde bu sudan dolayı duvara önemli bir hidrostatik basınç gelmekte, bu basınç hesaplarda dikkate alınmadığı takdirde istinat duvarı kullanım dışı kalabilmektedir.

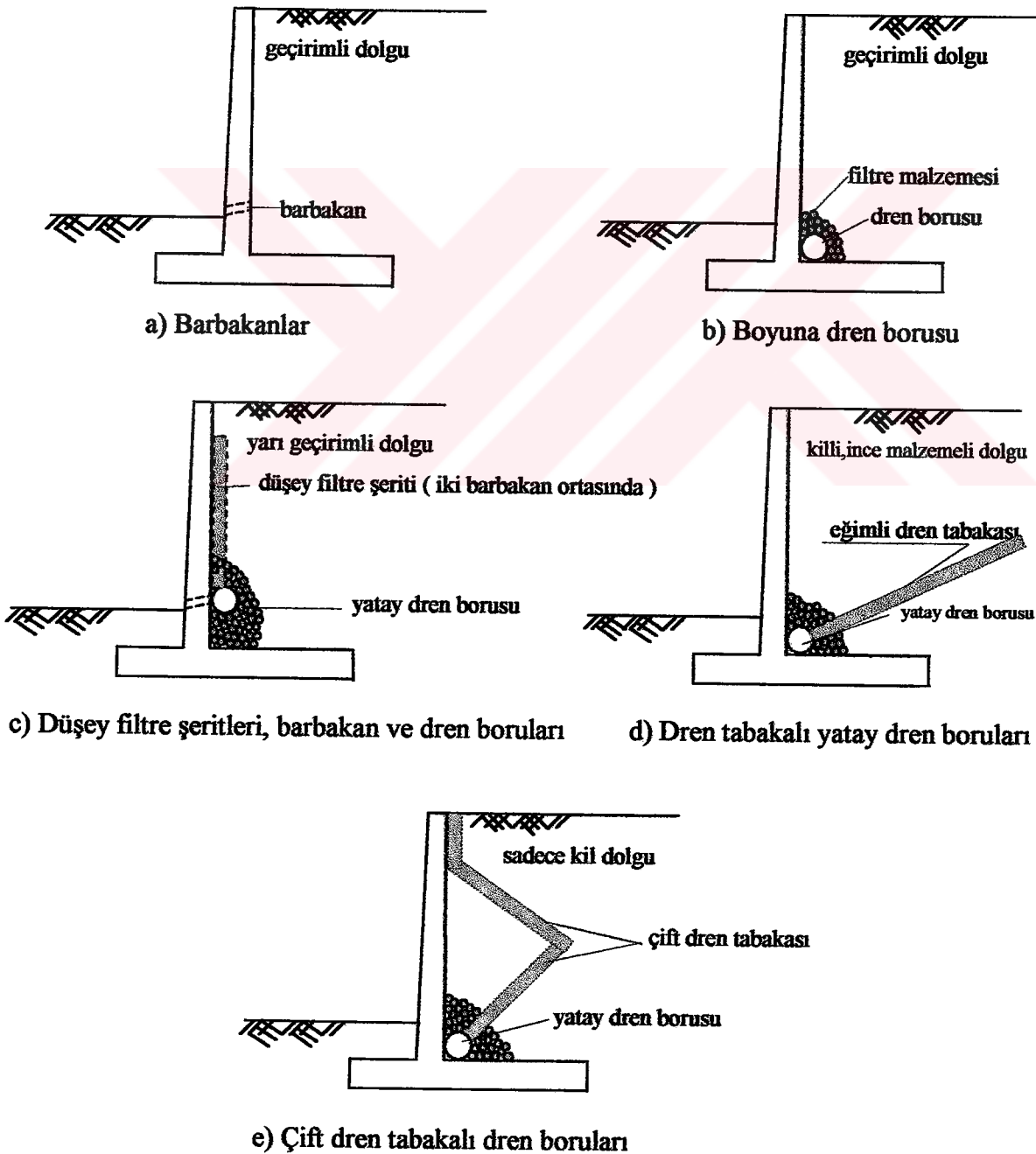
Diğer önemli bir tehlike de, yer altı suyunun duvar temeli üzerinde olması durumunda, kapilarite olayı ile zemin yüzeyine doğru yükselen boşluk suyunun donmasıdır. Zira donma sonucu hacim genişlediğinde duvar ek kuvvetlerin etkisinde kalmaktadır. Duvar drenajının Şekil 25'deki gibi yapılması duvarı sözkonusu olumsuz etkilerden korumaktadır.



Şekil 25. Yeraltı su seviyesinin temel üzerinde olması durumuna ilişkin drenaj örneği

Drenaj sistemi tahliye edilecek olan suyun miktarına, duvar arkasındaki dolgu malzemesinin geçirimsizliğine ve yer altı su seviyesine bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle istinat duvarlarında dolgu malzemesi olarak kohezyonsuz temiz kum ve çakıl kullanılması önerilmektedir. Zira bu tip kohezyonsuz malzemelerin ϕ içsel sürtünme açıları büyük dolayısıyla da aktif zemin itkileri genellikle daha küçük kalmaktadır. Buna karşılık kohezyonlu zeminlerin ϕ içsel sürtünme açıları küçük ve dolayısıyla aktif zemin itkileri de büyüktür. İstinat duvarı arkası dolgu malzemesinin geçirimli olması durumunda, minimum 15cm çaplı yatayda 1~1.5m aralıklı barbakanlar (Şekil 26a) yada arka çıkmanın

birleşim yerindeki duruma göre istinat duvarı boyunca 30x40cm çapında bir dren borusu (Şekil 26b) yerleştirilebilmektedir. Dolgu malzemesinin yarı geçirimli olması durumunda, az miktarda ince kum-silt yada kil ihtiva eden zeminler, dren boruları ve barbakanlara ilave olarak minimum 30x30cm kesitli düşey filtre malzemeli şeritler gerekli olmaktadır (Şekil 26c). Kil, silt gibi ince taneli zeminlerde drenajın sağlanması için dren borularına ilave olarak en az 30cm kalınlıkta bir dren tabakası yada çift dren tabakası gerekli olmaktadır (Şekil 26d ve Şekil 26e).

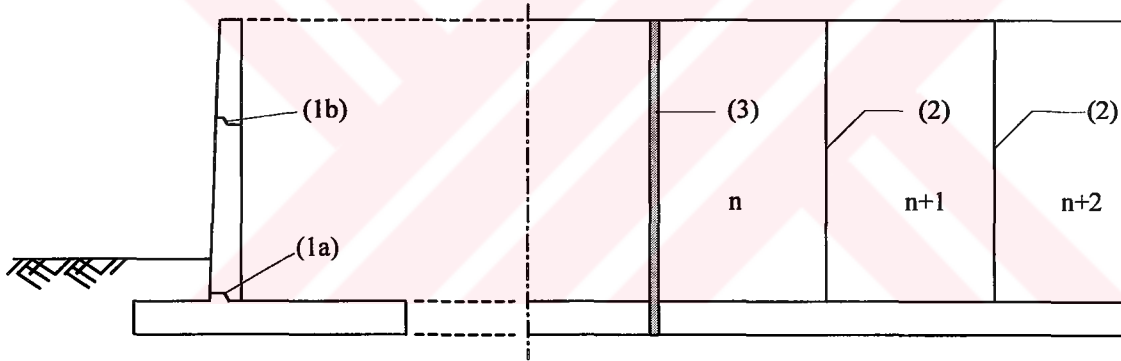


Şekil 26. İstinat duvarlarında çeşitli drenaj uygulamaları

1.7. İstinat Duvarlarının Derzleri

İstinat duvarları genellikle uzun olduğundan, zemin özellikleri genellikle duvar boyunca değişebilmektedir. Bundan dolayı duvar boyunca meydana gelebilecek farklı çökmeleri ve dönmeleri önlemek için genellikle 7~10m aralıklarla düşey derzlerin (çökme derzleri) bırakılması önerilmektedir. Özellikle zeminden kayaya geçiş gibi zemin koşullarının aniden değiştiği kesitlere mutlaka derz bırakılmalıdır. Bu derzler duvarı farklı çökmelere karşı koruduğu gibi sıcaklık ve rötreden oluşan iç gerilmelerden de korumaktadır.

İstinat duvarlarında beton dökümü kısım kısım yapılmaktadır. Kısımların ara kesitine iş derzi adı verilmektedir. Bu iş derzleri yatay ve düşey doğrultularda olabilmektedir (Şekil 27).



Şekil 27. İstinat duvarlarında derzler

Bu şekildeki (1a) ve (1b) nolu derzler yatay, (2) nolu derzler düşey iş derzlerini ve (3) nolu derz ise çökme derzlerinden birini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi yatay iş derzleri dişli olarak yapılmaktadır.

1.8. İstinat Duvarlarında Deprem Yüklerini de İçeren İtkilerin Çeşitli Teori ve Analitik Yöntemlerle Hesabı

Bilindiği gibi istinat duvarlarının depremde davranışları, deprem sırasında meydana gelen yanal zemin basınçlarına bağlı olmaktadır. İstinat duvarlarına bir depremden önce

etkiyen statik basınçlar, duvar ve zemin hareketlerinin karakteristiklerine bağlı kalmaktadır.

Deprem etkisinde kalan istinat duvarlarına zemin tarafından uygulanan dinamik basınç dağılım ve büyüklük olarak statik basınçtan farklı olmaktadır. Deprem etkisiyle meydana gelen basınç dağılımları ve dolayısıyla bunlardan doğan gerilmeler;

- Zemin hareketlerinin karakteristiklerine,
- Dolgu malzemesinin özelliklerine,
- İstinat duvarının fiziksel ve geometrik özelliklerine,
- Yapının önemi ve tasarımda kullanılacak sismik katsayıya,

bağlı olarak belirlenmektedir.

Bu bölümde önce istinat duvarlarına etkiyecek statik basınç dağılımının belirlenmesinde kullanılan;

* Rankine Teorisiyle Hesap,

* Coulomb Teorisiyle Hesap,

irdelenmekte, daha sonra depremden dolayı istinat duvarına etkiyecek dinamik basınç dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan;

* Mononobe- Okabe Yöntemiyle Hesap,

* Steedman-Zeng Yöntemiyle Hesap,

üzerinde durulmaktadır.

1.8.1. Rankine Teorisiyle Hesap

Rankine 1857'de minimum aktif ve maksimum pasif zemin basıncını hesaplamak için pratik bir yöntem geliştirmiştir [21]. Bu teoriye göre, bir duvar arkasındaki zemin plastik dengeye ulaştığında (zeminin her noktasında kırılma olduğunda), aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- 1) Zemin homojen ve izotropdur,
- 2) Zeminin kayma direnci tek bir parametre ile ifade edilebilmektedir,
- 3) Duvar arkasında meydana gelen kırılma da zemin üçgen şeklinde rijit bir kamaştır,
- 4) Duvarla zemin arasında sürtünme yoktur,

5) Kırılma iki boyutlu bir problemdir.

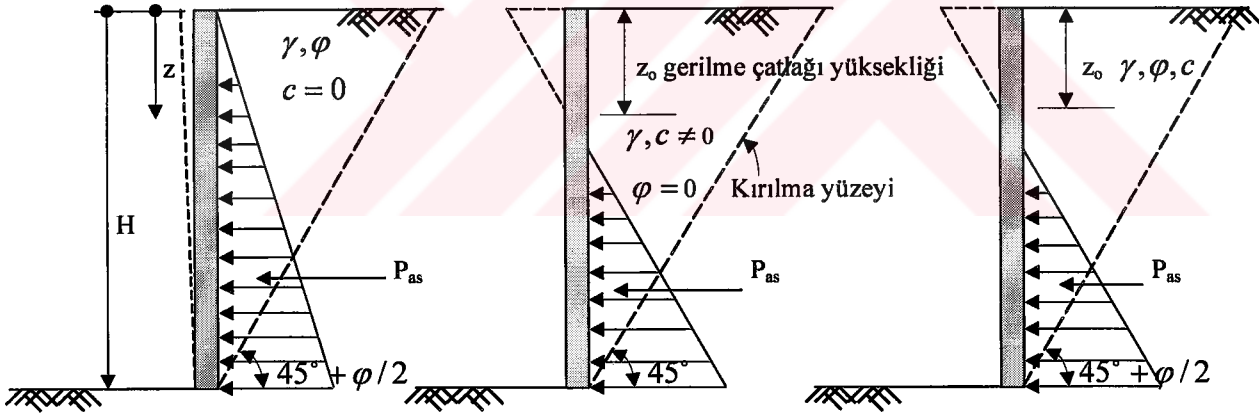
Rankine bu kabulleri yaparak minimum aktif durum için duvara etkiyen basıncı (P_{as}); σ_v düşeyde ilgili noktadaki etkili gerilmeyi, c zemin kohezyonunu, φ iç sürtünme açısını, i zemin yüzeyinin yatayla yaptığı açığı ve aktif zemin basınç katsayısı;

$$K_{as} = \cos i \cdot \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}} \quad (4)$$

olmak üzere

$$P_{as}(z) = K_{as} \cdot \sigma_v - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{as}} \quad (5)$$

şeklinde ifade etmektedir.



a) Kumlu zeminlerde	b) Killi zeminlerde	c) Kum-kil karışımı zeminlerde
$K_{as} = \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2})$	$z_0 = 2c/\gamma$	$z_0 = \left(\frac{2c}{\gamma}\right) \cdot \tan(45 + \frac{\varphi}{2})$
$P_{as}(z) = K_{as} \cdot \gamma \cdot z$	$P_{as}(z) = \gamma \cdot z - 2c$	$P_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2}) - 2c \tan(45 - \frac{\varphi}{2})$
$P_{as} = K_{as} \cdot \gamma \cdot H / 2$	$P_{as} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} - 2c \cdot H + \frac{2c^2}{\gamma}$	$P_{as} = \left(\frac{\gamma \cdot H^2}{2}\right) \cdot \tan^2(45 - \frac{\varphi}{2}) - 2c \cdot H \cdot \tan(45 - \frac{\varphi}{2}) + \frac{2c^2}{\gamma}$

Şekil 28. İstinat duvarlarında aktif Rankine durumuna ilişkin statik basınç dağılımı

Duvarın arka yüzeyi üzerindeki basınç dağılımı denklem 5'de gösterildiği gibi kohezyon ve sürtünme açısının büyüklüğüne bağlı kalmaktadır.

Sonuç aktif zemin itkisi (basınçların bileşkesi)

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (6)$$

olarak yazılmakta ve duvar yüksekliğinin temelden itibaren H/3 noktasından etki etmektedir (Şekil 28). Benzer şekilde pasif basıncın z' derinliği boyunca değişimi,

$$K_{ps} = \cos i \cdot \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi}} \quad (7)$$

olmak üzere

$$P_{ps(z')} = K_{ps} \cdot \sigma_v' + 2c \cdot \sqrt{K_{ps}} \quad (8)$$

bağıntısıyla, sonuç itki (bileşke) ise

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H'^2 \cdot K_{ps} \quad (9)$$

bağıntısıyla hesaplamaktadır (Şekil 29).

Coulomb

- 1) Duvar arkasındaki dolgunun, kohezyonsuz, kuru, homojen ve izotrop olduğu,
- 2) Kayma yüzeyinin istinat duvarının hareketi ile oluştuğu,
- 3) Gerçekte eğri olan kayma yüzeyinin düzlem olduğu,
- 4) Birim yüzeydeki kayma direncinin kayma yüzeyi boyunca aynı olduğu,
- 5) Duvarın arka kısmı ile zemin arasında sürtünmenin olduğu,

kabullerini yapmaktadır.

Coulomb minimum aktif zemin itkisini (P_{as})

$$K_{as} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - i)}{\cos(\delta + \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (10)$$

olmak üzere,

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot K_{as} \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (11)$$

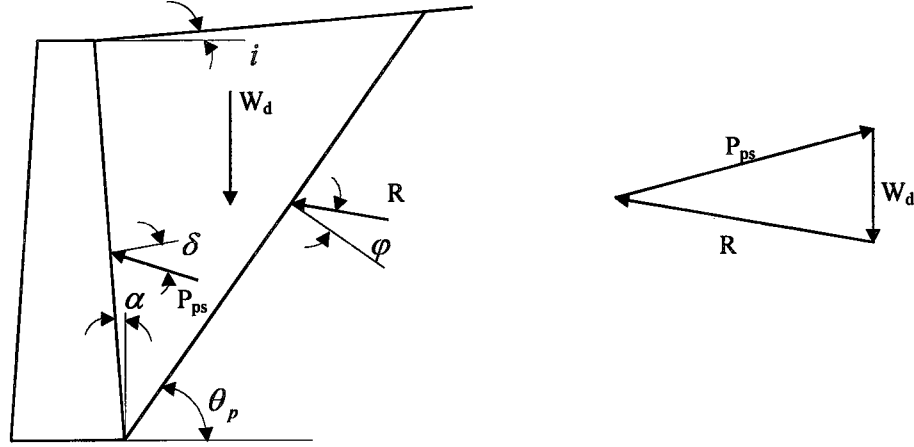
şeklinde ifade etmektedir. Bu itki temel tabanından itibaren H/3 yüksekliğinden etki etmektedir. Coulomb pasif basınç için ise,

$$K_{ps} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + i)}{\cos(\delta - \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (12)$$

olmak üzere

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot K_{ps} \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (13)$$

bağıntısını önermektedir (Şekil 31).



Şekil 31. Coulomb pasif statik basınç durumu için hesap modeli

İstinat duvarlarının depreme göre tasarımında yaygın olarak kabul edilen temel felsefe, deprem esnasında duvar üzerine etkimesi muhtemel yüklerin tahmin edilerek bu yüklere göre emniyetinin sağlanması şeklindedir. Zira deprem esnasında istinat duvarına etkileyen yüklerin belirlenmesi oldukça karmaşıktır. Özellikle esnek duvarların hareketi zemin hareketinden farklı olmakta dolayısıyla da bu tür duvarlara etkileyen dinamik basınç rijit duvarlarınkinden farklıdır. Bilindiği gibi deprem etkisinde kalan rijit istinat duvarlarının her noktası yer hareketini aynen taklit etmekte, esnek duvarlarda ise duvarın her noktasındaki hareket genellikle yer hareketinden farklı olmaktadır. Durum böyle olunca duvar davranışlarının incelenmesinde duvar rijitlik yada esnekliğinin dikkate alınması gerekmektedir.

İstinat duvarlarının dinamik basınçları çoğunlukla yapay statik (eşdeğer statik) yöntemlerle tahmin edilmektedir. Son zamanlarda dolgunun dinamik tepkisi için geliştirilmiş dinamik yöntemler de kullanılmaktadır.

1.8.3. Mononobe- Okabe Yöntemiyle Hesap

Depremden dolayı bir istinat duvarına etkiyecek zemin basıncını belirlemeye yönelik ilk çalışmalar Japonya'da Okabe (1926) ve Mononobe-Matsu (1929) tarafından yapılan çalışmalardır [23,24,25]. Kuru kohezyonsuz dolgu zeminleri için, Coulomb teorisi temel alınarak geliştirilen Mononobe-Okabe yöntemi yapay statik basınç esasına

dayanmaktadır. Bu yöntemde göre modeller üzerinde gerçekleştirilen deneylere de bağlı olarak istinat duvarı üzerinde yapay bir statik basınç hesaplanmaktadır. Kuru kohezyonsuz dolgu zeminlerindeki aktif zemin kaması üzerine etki eden kuvvetler Şekil 32'de gösterilmiştir. Mononobe-Okabe duvara etkiyecek yatay ve düşey ivmeleri sırasıyla $a_h = C_h \cdot g$ ve $a_v = C_v \cdot g$ olarak dikkate almışlardır. Bu araştırmacılar zeminin duvara etkisini, K_{at} toplam aktif zemin basınç katsayısını, λ eşdeğer deprem katsayısını göstermek

$$\lambda = \tan^{-1} \left[\frac{C_h}{(1 - C_v)} \right] \quad (14)$$

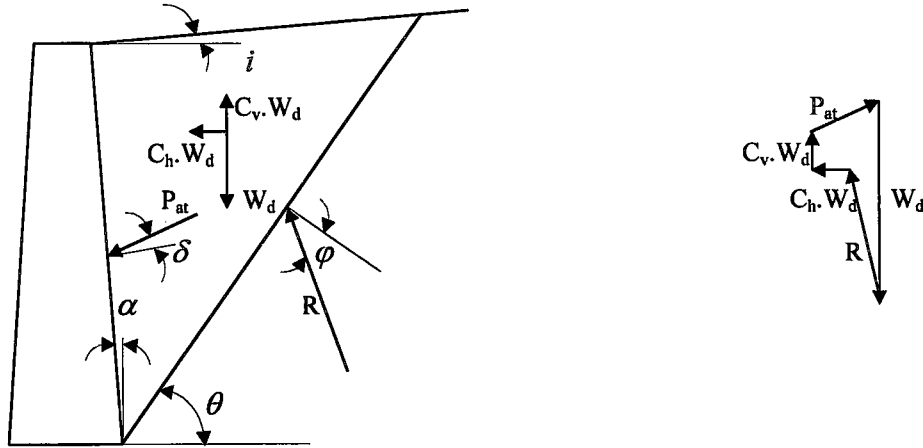
ve

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - i - \lambda)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \cos(i + \alpha)}} \right]^2} \quad (15)$$

olmak üzere,

$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot K_{at} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot (1 \pm C_v) \quad (16)$$

bağıntısıyla ifade etmektedir. Burada toplam aktif itki (P_{at}), statik (P_{as}) ve dinamik (P_{ad}) itki olarak iki kısma ayrılabilir ($P_{at} = P_{as} + P_{ad}$).



Şekil 32. Mononobe-Okabe yönteminde aktif kama üzerine etki eden kuvvetler

$$\lambda_0 = \frac{2\pi V_s}{\omega} \quad (18)$$

rijit bir kamanın aşağıdaki limitteki özel durumu

$$\lim_{\substack{(Q_h)_{\max} \\ V_s \rightarrow \infty}} = \frac{\gamma \cdot H^2 \cdot a_h}{2g \cdot \tan \theta} = \frac{a_h \cdot W}{g} = c_h \cdot W \quad (19)$$

ve

$$\xi = t - \frac{H}{V_s} \quad (20)$$

olmak üzere

$$Q_{h(t)} = \frac{\lambda_0 \cdot \gamma \cdot a_h}{4\pi^2 \cdot g \cdot \tan \theta} \cdot [2\pi \cdot H \cdot \cos \omega \cdot \xi + \lambda_0 (\sin \omega \cdot \xi - \sin \omega t)] \quad (21)$$

bağıntısıyla ifade etmişlerdir. Buna bağlı olarak zeminin basınç dağılımı

$$P_{at}(z,t) = \frac{\gamma \cdot z}{\tan \theta} \cdot \frac{\sin(\theta - \varphi)}{\cos(\delta + \varphi - \theta)} + \frac{C_h \cdot \gamma \cdot z}{\tan \theta} \cdot \frac{\cos(\theta - \varphi)}{\cos(\delta + \varphi - \theta)} \cdot \sin \left[w \left(t - \frac{z}{H} \right) \right] \quad (22)$$

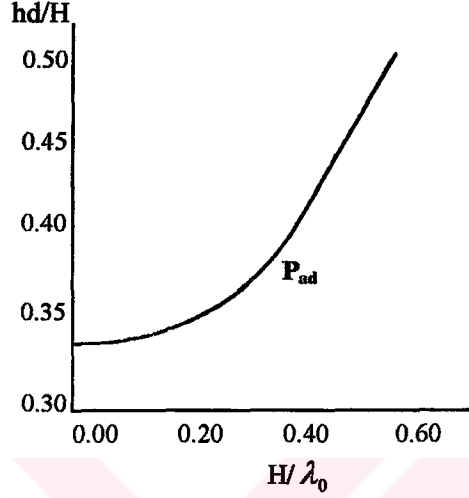
bağıntısıyla, toplam zemin itkisi (statik+dinamik) ise;

$$P_{at} = \frac{Q_{h(t)} \cdot \cos(\theta - \varphi) + w \cdot \sin(\theta - \varphi)}{\cos(\delta + \varphi - \theta)} \quad (23)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Denklem 22'deki ilk terim derinlikle lineer bir şekilde artan ve duvar üzerine etki eden zamanla değişmeyen statik zemin basıncını, ikinci terim ise H/λ_0 oranına bağlı olarak derinliğin fonksiyonu ve lineer olmayan dinamik zemin basıncını göstermektedir. Buna göre dinamik basıncın derinlikle lineer olmayan bir şekilde artmasından dolayı dinamik itkinin yeri de zamanla değişmektedir.

$$h_d = H - \frac{2\pi^2 \cdot H^2 \cdot \cos w \cdot \xi + 2\pi \lambda_0 \cdot H \cdot \sin w \cdot \xi - \lambda_0^2 \cdot (\cos w \cdot \xi - \cos w t)}{2\pi \cdot H \cdot \cos w \cdot \xi + \pi \cdot \lambda_0 (\sin w \cdot \xi - \sin w t)} \quad (24)$$

Ancak burada çok düşük frekans hareketleri için dinamik itkinin uygulama noktasının $h_d = H/3$ olacağını belirtmek uygun olmaktadır. Yüksek frekanslı hareketlerde ise uygulama noktasının yeri Şekil 34 yardımıyla belirlenebilmektedir.



Şekil 34. Yatay eşdeğer deprem katsayısının (C_h)=0.2 değeri için maksimum devrilme momentini veren dinamik itkinin uygulama noktası

1.9. İstinat Duvarlarının Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Deprem Hesabı

İstinat duvarlarına etkiyen dinamik basınçların dağılımı ve depreme göre pratik hesapları madde 1.8'de verilmiştir. Ancak istinat duvarlarının gerçek davranışlarının belirlenmesi için duvar-dolgu zemini ve duvar-taban zemini etkileşiminin de gerçekçi bir şekilde dikkate alınması, diğer bir deyişle depremde istinat duvarlarının gerçek davranışını temsil edebilecek matematik modellerin ortaya konması gerekmektedir. Oysa analitik yöntemlerle sözkonusu etkileşimlerin, özellikle üç boyutlu duvar modelleri için, dikkate alınması kolay olmamaktadır.

Buna karşılık, sonlu elemanlar gibi sayısal yöntemlerle sözkonusu etkileşimleri de dikkate almak suretiyle, istinat duvarlarının davranışlarını belirlemek mümkün olduğundan bu bölümde betonarme konsol ve payandalı istinat duvarlarının sonlu elemanlar yöntemiyle deprem hesabı üzerinde kısaca durulmaktadır.

Bu amaçla önce, sonlu elemanlar yöntemi hakkında bazı hatırlatmalardan sonra SAP90 bilgisayar programı ile çözümü açıklanmaktadır.

1.9.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi Hakkında Bazı Hatırlatmalar

Bilindiği gibi mühendislikte fiziksel bir olay, belirli bir bölge içerisinde geçerli olan, bir diferansiyel denklem yada denklem takımlarıyla gösterilmekte ve bu denklemlerin belirli sınır koşulları altında çözümleri aranmaktadır.

Mühendislik sistemlerinin analizi genel hatlarıyla dört aşamada tamamlanmaktadır.

- a) Sistemin analitik yöntemlerle analiz edilmeye elverişli bir şekle dönüştürülmesi (matematik model) için idealleştirme,
- b) Denge denklemlerinin formülasyonu,
- c) Denge denklemlerinin çözümü,
- d) Sonuçların değerlendirilmesi ve yorumlanması,

şeklinde olmaktadır.

Bu tür mühendislik problemlerinin çözümü, bilgisayarların yaygınlaşmasından önce uzun işlemler gerektiren, sayısal yöntemler yerine analitik yöntemlerle gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Ancak bilgisayarların kullanıma sunulmasından sonra analitik yöntemler yerine, hemen her çeşit problemin çözümüne imkan tanıdıklarından, sayısal yöntemler tercih edilmektedir. Sistemin doğru ve yeterli bir matematiksel modelini oluşturmak önemli olduğundan bu yöntemleri kullanan bir araştırmacının modelleme ve sonuçların değerlendirilmesi hususlarında önemle durması gerekmektedir. Doğru ve yeterli bir matematiksel model oluşturmanın ön koşulu ise kullanılacak yöntemin eksik ve üstün taraflarını iyi bir şekilde tanımaktır.

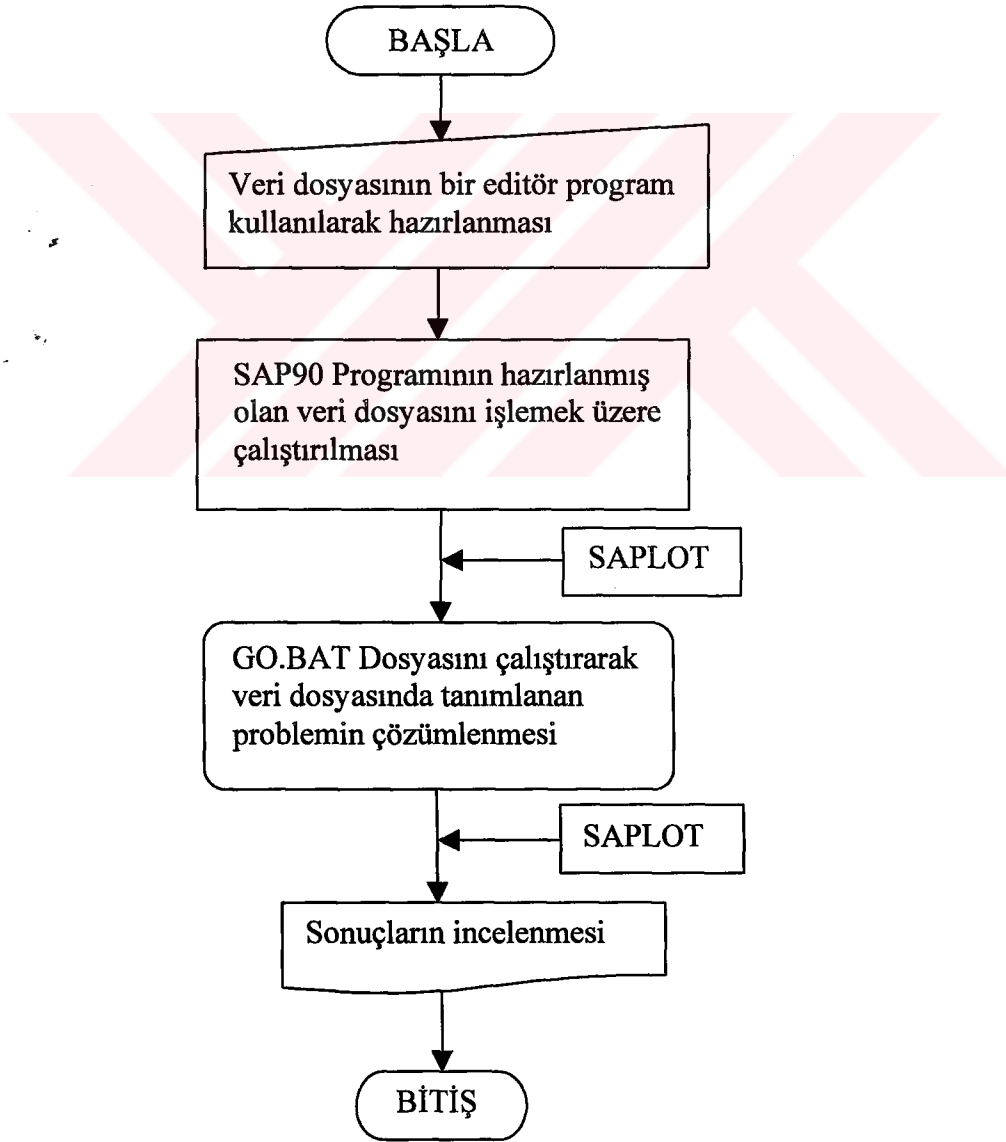
Sonlu elemanlar yönteminde sürekli ortam belirli geometriye sahip elemanlara bölünmekte ve diferansiyel denklem eleman düğüm noktalarındaki değerler cinsinden bir cebrik denklem takımına dönüştürülmektedir.

Sayısal yöntemlerden en yaygın kullanılanının sonlu elemanlar yöntemi olduğunu söylemek mümkündür. Bu yöntemin ilk defa Courant tarafından önerildiği bilinmektedir [31]. Sonlu elemanlar yöntemi adı ilk kez Clough tarafından 1960'da kullanılmış olup [32] yöntemin matematiksel temelini kurması ve sonlu eleman tiplerinin geliştirilmeye başlanması da bu yıllarda olmuştur.

Gerçekten bu konuda çok yoğun olarak bir çok çalışma yapılmış ve çeşitli problemler çözülebilen geniş kapsamlı bilgisayar programları hazırlanmıştır [33]. Söz konusu programların geliştirilmesine bugün de devam edilmektedir.

1.9.2. Yapısal Çözümlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanan Bilgisayar Programı Yardımıyla Gerçekleştirilmesi

Bu çalışmaya konu olan betonarme istinat duvarlarının, statik ve dinamik çözümlerini gerçekleştirebilmek için SAP90 (Structural Analysis Programs) olarak bilinen bir yapısal analiz programı kullanılmaktadır [34]. Programın genel yapısı Şekil 35'de verilmektedir.



Şekil 35. Yapısal çözümleme programının (SAP90) akış şeması

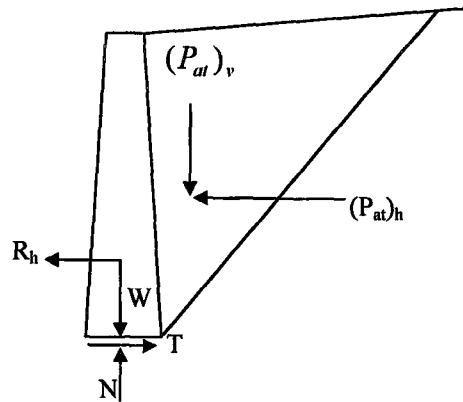
1.10. Deprem Yükleri Altında İstinat Duvarlarının Yerdeğiştirme Hesabına İlişkin Yöntemler

Önceki bölümde tanımlanmış olan (bkz. madde 1.8) çözümleme yöntemleri de istinat duvarları üzerine etki eden deprem yükleri altında duvarlarda depremden dolayı meydana gelebilecek kalıcı şekil değiştirmelerin hesabı üzerinde durulmamıştır. Oysa şekil değiştirmeler duvarın deprem sonrası kullanımı ile yakından ilgilidir. Büyük yerdeğiştirmeler bazı duvarlar için kabul edilebilirken diğerleri için kabul edilmemektedir. Çünkü bu yerdeğiştirmeler duvarı kullanım dışı bırakabilmektedir. Bu nedenle bazı araştırmacılar istinat duvarlarının kalıcı yerdeğiştirmelerini tahmin edebilmek için çeşitli yöntemler önermişlerdir. Çoğu yerdeğiştirme yöntemlerinin esası Newmark (1965) tarafından önerilen blok kayma teorilerine dayanmaktadır.

1.10.1. Richards-Elms Yöntemi

Richards ve Elms müsadde edilen kalıcı duvar yerdeğiştirmelerine dayanan ağırlık duvarlarının depreme göre tasarımı için bir yöntem önermişlerdir [58]. Bu yöntemde kalıcı yerdeğiştirmeler Newmark kayma bloğuna benzer şekilde belirlenen dolgu kayma kamasının, duvarla birlikte hareket eden kayan bir blok olarak kabul edilerek belirlenmektedir.

Richards-Elms yönteminin uygulaması duvar-dolgu sistemi için akma ivmesinin incelenmesini gerektirmektedir. Şekil 36'daki ağırlık duvarı dikkate alınmaktadır. Aktif



Şekil 36. Ağırlık istinat duvarlarına eşdeğer statik ivmenin ve ağırlığın etkisi

kama dolguya doğru bir ivme ile hareket ettiğinde, bileşke atalet kuvvetleri dolgudan uzaklaşacak şekilde (ters yönde) etkir. Duvarın tabanı üzerinde kaymasına ancak sahip ivme akma ivmesi olmaktadır.

Richard ve Elms düşey taban ivmesinin etkilerini de düşünerek maksimum yerdeğiştirmeyi gerçeğe uygun olarak belirleyebilmek için deprem kayıtlarını bir araya toplayarak oluşturulan bir zarfı kullanmışlardır. Bu araştırmacılar en yüksek ivmeden daha küçük başlangıç ivmeleri ile muhtemel duvar hareketi için aşağıdaki bağıntıları önermişlerdir [35]. Bu bağıntılarda a_y akma ivmesi, a_{maks} maksimum yer ivmesini ve V_{maks} maksimum zemin hızı göstermektedir.

$$T = R_h + (P_{at})_h \quad (25)$$

$$N = W + (P_{at})_v \quad (26)$$

$$T = N \cdot \tan \varphi \quad (27)$$

$$R_h = a_y \cdot \frac{W}{g} \quad (28)$$

$$P_{(at)_h} = P_{at} \cdot \cos(\delta + \alpha) \quad (29)$$

$$P_{(at)_v} = P_{at} \cdot \sin(\delta + \alpha) \quad (30)$$

$$a_y = \left[\tan \varphi - \frac{P_{at} \cdot \cos(\delta + \alpha) - P_{at} \cdot \sin(\delta + \alpha)}{W} \right] \cdot g \quad (31)$$

Bu denklem, kayma için emniyetli tarafta tahminde bulunmaktadır (Özellikle

$$\frac{a_y}{a_{maks}} < 0.4 \text{ olduğunda).}$$

Richards ve Elms, P_{at} 'nin Mononobe-Okabe metodunun kullanılması ile hesap edilebileceğini ifade etmişler ve kalıcı bloğun yerdeğiştirmesi için,

$$d = 0,087 \cdot \frac{V_{\max}^2 \cdot a_{\max}^3}{a_y^4} \quad (32)$$

ifadesini önermişlerdir [35].

1.10.2. Whitman ve Liao Yöntemi

Richards-Elms ağırlık duvarlarında meydana gelen yerdeğiştirmelerinin hesaplanması için pratik bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntem dinamik zemin basıncı probleminin çözümünde gerekli bir çok parametreyi ihmal etmektedir. Liao-Whitman Richards-Elms yönteminin kabullerinden kaynaklanan bazı model hatalarını belirtmişlerdir [66,67]. Bunların dolgunun dinamik tepkisinin, kayan dolgu kamasının düşey bileşeninin, dolgunun şekil değiştirme özeliğinin, eğilme ve düşey ivmelerin ihmal edilmesinden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Liao-Whitman devrilme ve kayma etkilerini birlikte dikkate alarak yaptıkları çalışmalarda, devrilme mekanizmalarından meydana gelen duvar yerdeğiştirmelerinin genellikle kayma modellerinden meydana gelenlerden fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Buna göre düşey ivmenin hesaba katılması yada ihmal edilmesi sonuçları çok fazla değiştirmemektedir. Maksimum ivme $a_{\max} \geq 0.5g$ ve $a_y/a_{\max} \geq 0.4$ olduğunda bu etkinin ihmal edilebileceğini göstermişlerdir. Whitman ve Liao \bar{M} ortalama değeri ve $\sigma_{ln m}$ standart sapması ile rastgele değişen ve logaritmik eğri ile gösterilen frekans dağılımı ile model hatalarını tanımlamak için kaynak etkilerinin her birini birleştirmişlerdir.

Bu araştırmacılar 14 yer hareketinin kayma bloğu analizi sonuçlarını kullanarak ortalama kalıcı yerdeğiştirme değerini,

$$\bar{d} = \frac{37 \cdot V_{maks}^2}{a_{maks}} \cdot \exp\left(\frac{-9,4 \cdot a_y}{a_{maks}}\right) \quad (33)$$

şeklinde tanımlamışlardır. Ancak burada yer hareketlerinin istatistiksel değişkenliğine rağmen rastgele değişimin ortalama değeri Q ve standart sapması $\sigma_{\ln Q}$ ile karakterize edilebilmektedir. Özellikle zemin parametrelerinin belirsizliğinin (dolgunun iç sürtünme açısı, duvar-zemin ara yüzeyindeki sürtünme açısı, dolgu-duvar etkileşimi) etkileri araştırılmış ve gerçek değerlerin kullanılması ile akma ivmesi hesaplanmıştır. Bu yöntemde kalıcı yerdeğiştirme; \bar{M} model hatası ortalama değerini ve \bar{Q} yer hareketi ortalama değerini göstermek üzere,

$$\bar{d} = \frac{37Y_{\max}^2}{a_{\max}} \cdot \exp\left(\frac{-9,4 \times \bar{a}_y}{a_{\max}}\right) \cdot \bar{Q} \cdot \bar{M} \quad (34)$$

olarak önerilmektedir.

Zemin mukavemeti, yer hareketi ve model hatası faktörlerinin standart sapmaları ve ortalamalarının önerilen değerleri Tablo 1’de verilmektedir.

Tablo 1. Ağırılık istinat duvarı yerdeğiştirmelerinin belirlenmesinde kullanılan parametrelerin ortalama değerleri ve standart sapmaları

Faktör	Ortalama	Standart Sapma
Model Hatası	$\bar{M} = 3,5$	$\sigma_{\ln M} = 0,84$
Zemin Mukavemeti	$\bar{a}_y = a_y(\bar{\varphi}, \bar{\delta})$	$\sigma_{ay} = 0,04 - 0,065$
Yer Hareketi	$\bar{Q} = 1$	$\sigma_{\ln Q} = 0,58 - 1,05$

1.11. Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe (1998) Göre Zemin İtkileri

Bu yönetmeliğin temel amacı yer hareketine maruz kalacak yapıların tamamının depreme dayanıklı tasarımı için gerekli minimum koşulları tanımlamaktadır.

1.11.1. Kohezyonsuz Zemin Durumu

Kohezyonsuz zeminlerde (kumlu) aktif ve pasif gerilme bağıntılarının da $c=0$ alınması yeterli olmaktadır. Ancak bu durumda iç sürtünme açısı φ 'nin değerinin de kohezyonlu zeminlerdekinden farklı olduğu bilinmelidir.

Depremden doğan büyüklüklerin pozitif ve negatif olabileceği ve hesaplara en elverişsiz sonucu verecek şekilde girmeleri gerektiği açıktır [38].

$$a) P_{at} = P_{as} \pm P_{ad} \quad (35a)$$

$$b) P_{pt} = P_{ps} \pm P_{pd} \quad (35b)$$

a) Depremsiz Durum

Depremsiz durumda duvar arkasındaki kohezyonsuz zemin yada dolgunun istinat elemanına verdiği P_{as} ve P_{ps} basınçları Şekil 30 ve 31'deki gibi eğik bir düzlem kabul edilerek hesaplanmaktadır. Bu hesap şeklinin Coulomb tarafından önerildiği daha önceki bölümlerde belirtilmiştir (bkz madde 1.8.2).

Buna göre söz konusu herhangi bir noktadaki basınçlar, zeminin Şekil 37'de gösterildiği gibi, eleman yüzlerini kesen noktalarından aşağı doğru ölçülen sırası ile (z) ve (z') düşey mesafelerinin fonksiyonları olarak

$$K_{as} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - i)}{\cos(\delta + \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}}\right]^2} \quad (36a)$$

$$K_{ps} = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi + i)}{\cos(\delta - \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}}\right]^2} \quad (36b)$$

olmak üzere

$$P_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} \quad (37a)$$

$$P_{ps}(z') = \gamma \cdot z' \cdot K_{ps} \quad (37b)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bununla birlikte $\delta = 0$, $\alpha_b = 90$, $i = 0$ olması durumunda

$$K_{as} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \quad (38a)$$

$$K_{ps} = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \quad (38b)$$

olarak elde edilebilmektedir.

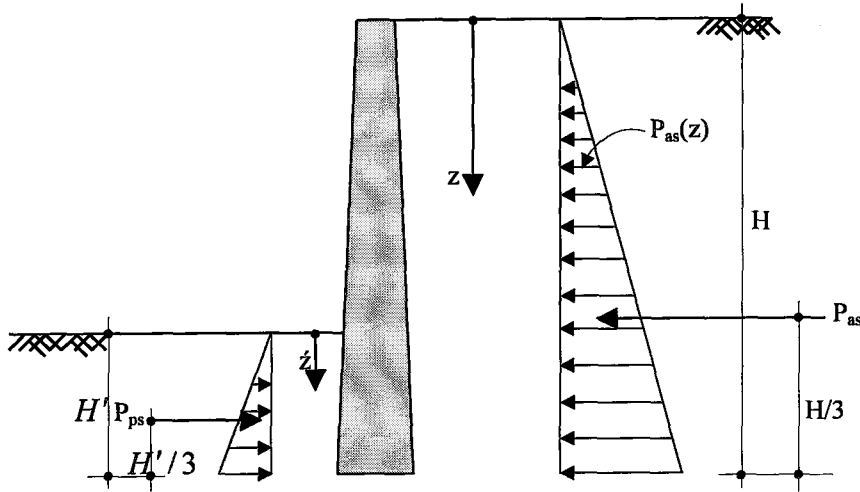
Zemin karakteristiklerinin yükseklik boyunca değişmediği durumda zemin basıncının bileşkesi (itkisi), H, H' zemin üst yüzeylerinin istinat elemanı ile temas noktalarının duvar tabanına mesafeleri olmak üzere;

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (39a)$$

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H'^2 \cdot K_{ps} \quad (39b)$$

olarak hesaplanmaktadır.

Statik aktif ve pasif basınç diyagramları ve bileşkelerin tatbik noktaları Şekil 37'de gösterilmektedir. Basınç dağılımı diyagramlarının üçgen şekilli olması nedeniyle aktif itki duvar tabanından $H/3$ ve pasif itki $H'/3$ noktalarından etki etmektedir.



Şekil 37. Statik aktif ve pasif basınç diyagramları

b) Depremlili Durum

Depremde meydana gelen toplam aktif P_{at} ve toplam pasif P_{pt} basınçları Coulomb teorisinin deprem etkilerini de içerecek şekilde genişletilerek Mononobe-Okabe tarafından hesaplanmış ve bu şekli ile Japonya, Hindistan, Rusya yönetmeliklerinde ve ülkemizde “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte” yer almıştır [38].

Statik zemin basıncı ile depremden oluşan ek dinamik zemin basıncının toplamını hesaplamak için kullanılacak olan toplam aktif basınç katsayısı K_{at} ve toplam pasif basınç katsayısı K_{pt} ,

$$K_{at} = \frac{(1 \pm C_v) \cdot \cos^2(\varphi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \lambda - i)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (40a)$$

$$K_{pt} = \frac{(1 \pm C_v) \cdot \cos^2(\varphi - \lambda + \alpha)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha + \lambda) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \lambda + i)}{\cos(\delta - \alpha + \lambda) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (40b)$$

bağıntılarıyla hesaplanmaktadır.

Kuru zeminlerde λ eşdeğer deprem katsayısına bağlı olarak hesaplanan açı, C_h ve C_v depremin yatay ve düşey ivmesinin yerçekimi ivmesine oranı olmak üzere,

$$\lambda = \arctan \left[\frac{C_h}{(1 \pm C_v)} \right] \quad (41)$$

şeklinde hesaplanacaktır. İfadelerdeki \pm işareti aşağı ve yukarı deprem hareketine karşı gelmekte olup, elverişsiz sonuç verecek şekilde kullanılacaktır. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelikte yatay eşdeğer deprem katsayısı düşey doğrultuda serbest konsol olarak çalışan istinat yapıları için

$$C_h = 0.2(I+1).A_0 \quad (42a)$$

yatay doğrultuda bina döşemeleri yada ankrajlarla mesnetlenmiş istinat duvarı ve yapı elemanları için

$$C_h = 0.3(I+1).A_0 \quad (42b)$$

olarak verilmektedir. Aynı yönetmelikte düşey eşdeğer deprem katsayısı ise

$$C_v = \frac{2.C_h}{3} \quad (43)$$

olarak ifade edilmektedir.

Burada yapı önem katsayısının istinat duvarları için $I=1$ ve A_0 etkin yer ivmesi katsayısı değerlerinin değişik deprem bölgeleri için Tablo 2'den alınması önerilmektedir.

Tablo 2. Etkin yer ivmesi katsayıları

Deprem Bölgesi	Maksimum yerçekimi ivmesi (A_0)
1.	0,40g
2.	0,30g
3.	0,20g
4.	0,10g

Yerçekimi ivmesi $g=9.81m/sn^2$

Depremden oluşan dinamik aktif ve pasif basınç katsayıları

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \quad (44a)$$

$$K_{pd} = K_{pt} - K_{ps} \quad (44b)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Buna göre herhangi bir derinlikteki aktif ve pasif dinamik basınçları z ve z' 'nin bir fonksiyonu olarak

$$E_a = 3 \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot K_{ad} \quad (45a)$$

$$E_p = 3 \cdot \left(1 - \frac{z'}{H'}\right) \cdot K_{pd} \quad (45b)$$

olmak üzere;

$$P_{ad}(z) = \gamma \cdot z \cdot E_a \quad (46a)$$

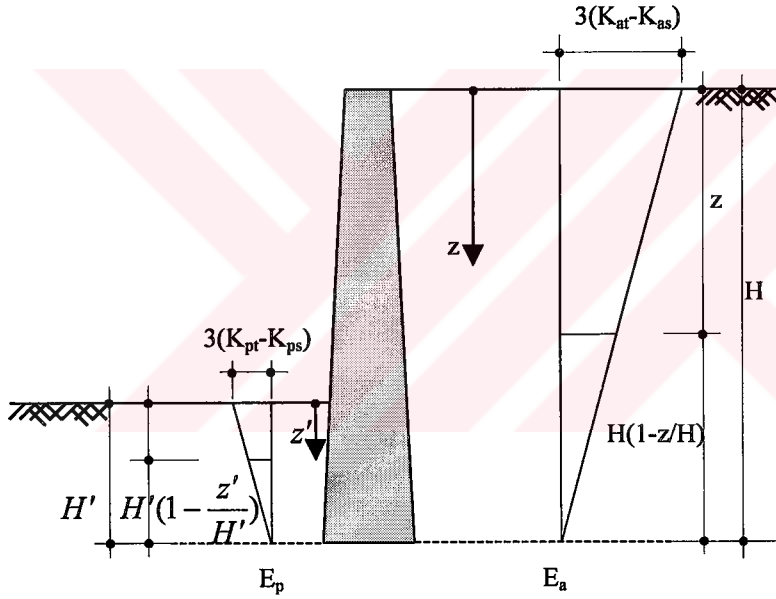
$$P_{pd}(z') = \gamma \cdot z' \cdot E_p \quad (46b)$$

şeklinde hesap edilebilmektedir. E_a ve E_p 'nin diyagramı Şekil 38'de gösterilmiştir. Sonuç olarak E_a ve E_p değerleri denklem 46'da yerine konularak statik zemin basıncına ek olarak oluşan dinamik basıncın duvar yüksekliği boyunca

$$P_{ad}(z) = 3 \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot K_{ad} \cdot \gamma \cdot z \quad (47a)$$

$$P_{pd}(z') = 3 \cdot \left(1 - \frac{z'}{H'}\right) \cdot K_{pd} \cdot \gamma \cdot z' \quad (47b)$$

olarak değiştiği ve bileşkenin

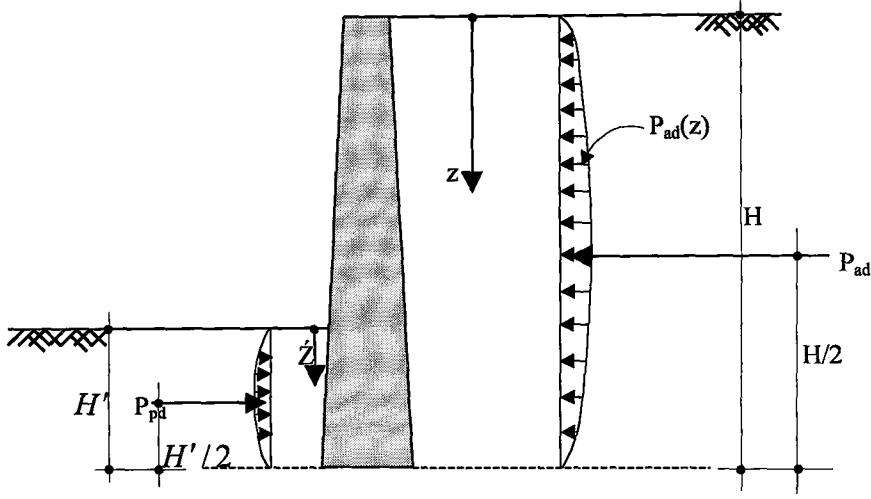


Şekil 38. Aktif ve pasif gerilme katsayılarının değişimi

$$P_{ad} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot K_{ad} \quad (48a)$$

$$P_{pd} = \frac{\gamma \cdot H'^2}{2} \cdot K_{pd} \quad (48b)$$

olduğu kabul edilmektedir (Şekil 39).



Şekil 39. Dinamik zemin itkileri ve uygulama noktaları

Bileşmelerin tatbik noktaları ise z ve z' başlangıç noktalarının fonksiyonu olarak

$$\int_0^H P_{ad} \cdot z \cdot dz \quad (49a)$$

$$\int_0^{H'} P_{pd} \cdot z' \cdot dz' \quad (49b)$$

ifadeleri ile belirlenebilmektedir.

1.11.1.1. Ek Yük Durumu

İstinat duvarları arkasındaki zemin üzerinden ulaşım araçlarının geçmesi, bir yapı yapılması yada buraya bir malzeme depolanması gibi etkiler mevcut zemin itkisinin dışında duvara ilave yükler oluşturmaktadır. Bu durum depremsiz ve depremliler için aşağıda verilmektedir.

a) Depremsiz Durum

q_0 düzgün yayılı dış yükünden dolayı herhangi bir derinlikte oluşan ilave statik aktif ve pasif zemin basınçları

$$B_a = \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \quad (50a)$$

$$B_p = \frac{\cos \alpha'}{\cos(\alpha' - i')} \quad (50b)$$

olmak üzere;

$$q_{as} = q_0 \cdot K_{as} \cdot B_a \quad (51a)$$

$$q_{ps} = q_0 \cdot K_{ps} \cdot B_p \quad (51b)$$

ifadeleri ile hesap edilebilmektedir. B_a ve B_p ifadeleri zemin yüzünün yatay ve duvarın arka yüzünün dik olması durumunda sifıra eşit olmaktadır. Zemin özelliklerinin değişmediği durumda ise bu basınçların bileşkesi

$$Q_{as} = q_0 \cdot K_{as} \cdot H \cdot B_a \quad (52a)$$

$$Q_{ps} = q_0 \cdot K_{ps} \cdot H \cdot B_p \quad (52b)$$

olarak verilmektedir. Bu bileşkelerin etkime noktası duvar tabanından itibaren $H/2$ olarak belirlenmiştir. Zemine etkileyen statik ve dinamik basınçlar Şekil 40'da gösterilmektedir.

b) Depremlili Durum

Deprem durumunda statik zemin basıncına ilave olarak zemin yüzündeki q_0, q'_0 düzgün yayılı dış yükünden oluşan dinamik aktif ve pasif zemin basınçlarının duvar yüksekliği boyunca z ve z' 'nin fonksiyonları olarak değişimi

$$q_{ad}(z) = 2 \cdot q_0 \cdot K_{ad} \cdot \left(1 - \frac{z}{H}\right) \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \quad (53a)$$

$$q'_{pd}(z') = 2 \cdot q'_0 \cdot K_{pd} \cdot \left(1 - \frac{z'}{H'}\right) \cdot \frac{\cos \alpha'}{\cos(\alpha' - i')} \quad (53b)$$

şeklindedir (Şekil 40). Zemin özelliklerinin üniform olması durumunda statik basınca ek olarak depremin katkısı ile oluşan aktif ve pasif zemin basıncı bileşikleri

$$Q_{ad} = q_0 \cdot K_{ad} \cdot H \cdot \frac{\cos \alpha}{\cos(\alpha - i)} \quad (54a)$$

$$Q_{pd} = q'_0 \cdot K_{pd} \cdot H' \cdot \frac{\cos \alpha'}{\cos(\alpha' - i')} \quad (54b)$$

olarak hesaplanmaktadır. Bunun etkime yüksekliği z zemin üst yüzünden itibaren derinliği göstermek üzere,

$$z = \frac{H}{3} \quad (55)$$

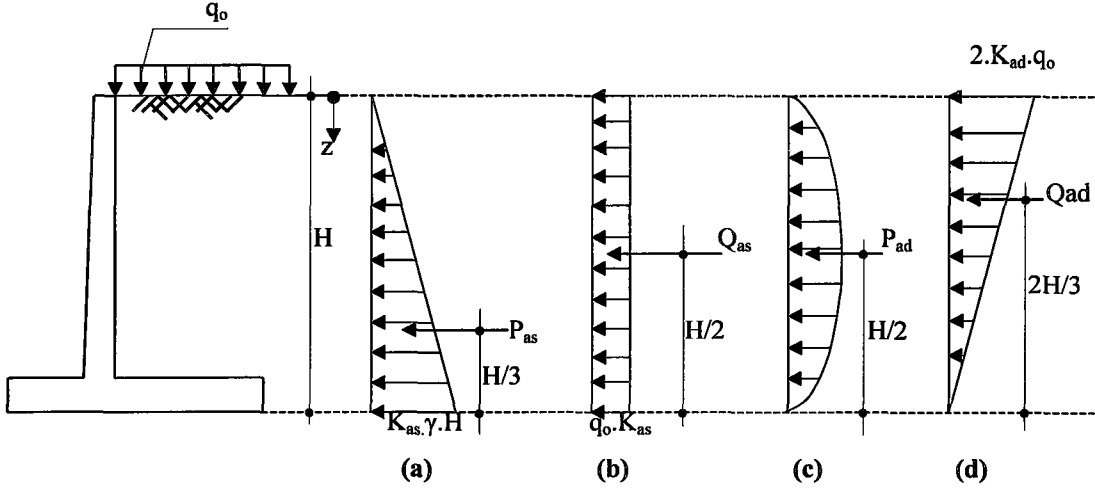
olarak hesaplanmaktadır.

Bu bileşkenin verdiği basınçlar ise tabanları yukarıda yani zemin üst yüzeyinde ve tepeleri aşağıda olan üçgenlerle temsil edilmektedir. Ek yükten oluşan dinamik basınç dağılımının zemin üst yüzeyindeki değeri (t_a) Q_{ad} itkisine eşitlenerek,

$$q_0 \cdot K_{ad} \cdot H \cdot B_a = \frac{t_a \cdot H}{2} \quad (56)$$

$$t_a = 2 \cdot q_0 \cdot K_{ad} \cdot B_a \quad (57)$$

olarak bulunmaktadır (Şekil 40).



Şekil 40. Ek yükün düzgün yayılı olması durumunda istinat duvarına etki eden statik (a ve b) ve dinamik (c ve d) yükler

1.11.1.2. Tabakalı Zemin Durumu

Şekil 41'deki zemin durumları dikkate alınmaktadır. H_1, H_2, H_3 ile tabakaların kalınlıkları, $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ ile iç sürtünme açıları, $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ ile birim ağırlıkları ve z_1, z_2, z_3 ile her tabakanın üst yüzünden itibaren ölçülen ordinatları gösterilmektedir.

Zeminin tabakalı olması durumunda her tabaka için o tabakaya ait K_{as}, K_{ps}, K_{ad} ve K_{pd} katsayıları kullanılmakta ve z derinliği daima serbest zemin yüzünden duvar tabanına doğru alınmaktadır.

a) Depremsiz Durum

$\gamma_1 > \gamma_2 > \gamma_3$, $\varphi_1 > \varphi_2 > \varphi_3$ ise tabakalı zeminlerdeki basınçlar aşağıdaki gibi verilmektedir.

$$P_{as}^I = \gamma_1 \cdot z_1 \cdot K_{as}^I \quad (58)$$

N_1 noktasında

$$P_{as}^I(N_1) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^I \quad (59)$$

II nolu tabakaya geçildiğinde

$$P_{as}^{II}(N_1) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{II} \quad (60)$$

herhangi bir z_2 noktasında

$$P_{as}^{II}(z_2) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{II} + \gamma_2 \cdot z_2 \cdot K_{as}^{II} \quad (61)$$

N_2 noktasında

$$P_{as}^{II}(N_2) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{II} + \gamma_2 \cdot H_2 \cdot K_{as}^{II} \quad (62)$$

III nolu tabakaya geçildiğinde

N_2 'de ($z_3=0$)

$$P_{as}^{III}(N_2) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{III} + \gamma_2 \cdot H_2 \cdot K_{as}^{III} \quad (63)$$

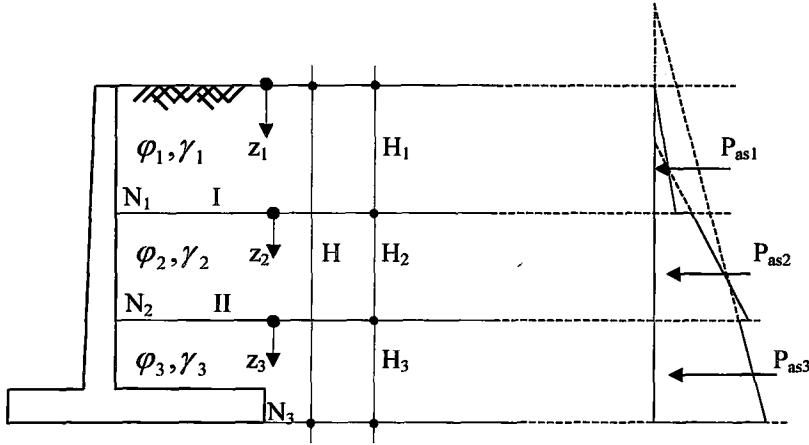
herhangi bir z_3 noktasında

$$P_{as}^{III}(z_3) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{III} + \gamma_2 \cdot H_2 \cdot K_{as}^{III} + \gamma_3 \cdot z_3 \cdot K_{as}^{III} \quad (64)$$

N_3 noktasında

$$P_{as}^{III}(N_3) = \gamma_1 \cdot H_1 \cdot K_{as}^{III} + \gamma_2 \cdot H_2 \cdot K_{as}^{III} + \gamma_3 \cdot H_3 \cdot K_{as}^{III} \quad (65)$$

olarak ifade edilmektedir. Bu üç diyagram Şekil 41'de görülmektedir.



Şekil 41. Tabakalı zemin durumunda istinat duvarına etki eden statik aktif itkiler

b) Depremlı Durum

Tek bir zemin olması halindeki depremden oluşan basınçların şekline benzer olarak burada da aşağıdaki yol önerilmektedir.

Burada her tabaka için K_{at} ve K_{pt} değerleri hesaplanır. Daha sonra her tabakanın depremden oluşan dinamik aktif ve pasif katsayılarının değerlerinin

$$K_{ad}^I = K_{at}^I - K_{as}^I \quad (66a)$$

$$K_{ad}^{II} = K_{at}^{II} - K_{as}^{II} \quad (66b)$$

$$K_{ad}^{III} = K_{at}^{III} - K_{as}^{III} \quad (66c)$$

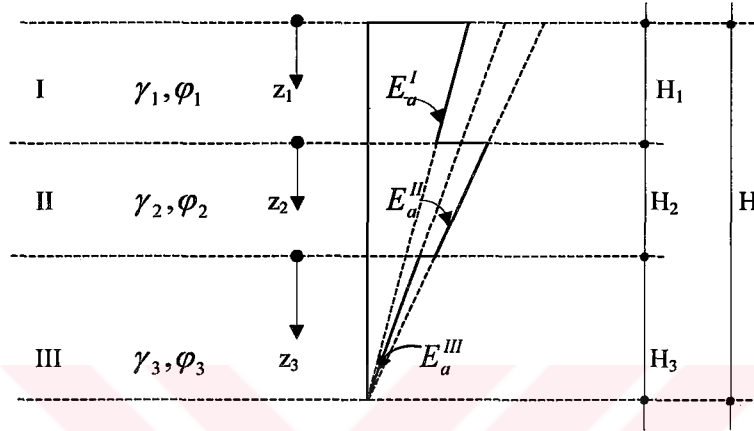
olarak elde edilmesiyle

$$E_a^I = 3 \cdot \left(1 - \frac{z_1}{H}\right) \cdot K_{ad}^I \quad (67a)$$

$$E_a^{II} = 3 \cdot \left(1 - \frac{z_2 + H_1}{H}\right) \cdot K_{ad}^{II} \quad (67b)$$

$$E_a^{III} = 3 \cdot \left(1 - \frac{z_3 + H_1 + H_2}{H}\right) \cdot K_{ad}^{III} \quad (67c)$$

fonksiyonları elde edilebilmektedir. E_a fonksiyonları diyagramları Şekil 42'de verilmektedir.



Şekil 42. Aktif gerilme katsayısının değişimi

Bu diyagramlar üzerinde bir noktada belirtilen yatay boy, o noktadaki E_a değeridir. Bu değer o noktadaki basınçla çarpımı o noktadaki dinamik basıncı vermektedir.

Buna göre herhangi bir derinlikteki dinamik basınçlar

I nolu tabaka için

$$P_{ad}^I(z_1) = 3 \cdot \left(1 - \frac{z_1}{H}\right) \cdot K_{ad}^I \cdot \gamma_1 \cdot z_1 \quad (68)$$

N_1 noktasında

$$P_{ad}^I(N_1) = 3 \cdot \left(1 - \frac{H_1}{H}\right) \cdot K_{ad}^I \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \quad (69)$$

II nolu tabakaya geçildiğinde

$$P_{ad}^{II}(N_1) = 3 \cdot \left(1 - \frac{H_1}{H}\right) \cdot K_{ad}^{II} \cdot \gamma_1 \cdot H_1 \quad (70)$$

herhangi bir z_2 noktasında

$$P_{ad}^{II}(z_2) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{H_1 + z_2}{H}\right) \cdot K_{ad}^{II} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot z_2) \quad (71)$$

N_2 noktasında

$$P_{ad}^{II}(N_2) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{H_1 + H_2}{H}\right) \cdot K_{ad}^{II} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot H_2) \quad (72)$$

III nolu tabakaya geçildiğinde

$$P_{ad}^{III}(N_2) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{H_1 + H_2}{H}\right) \cdot K_{ad}^{III} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot H_2) \quad (73)$$

herhangi bir z_3 noktasında

$$P_{ad}^{III}(z_3) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{H_1 + H_2 + z_3}{H}\right) \cdot K_{ad}^{III} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot H_2 + \gamma_3 \cdot z_3) \quad (74)$$

N_3 noktasında

$$P_{ad}^{III}(N_3) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{H_1 + H_2 + H_3}{H}\right) \cdot K_{ad}^{III} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_2 \cdot H_2 + \gamma_3 \cdot H_3) \quad (75)$$

olarak elde edilebilmektedirler. Benzer hesap şekli ile dinamik pasif basınçlar da (P_{pd}) bulunabilmektedir.

1.11.1.3. Suyu Doygun Zemin Durumu

Zeminin suya doymu olmasu durumunda basuıç ve itkiler hesaplanırken daha önceden verilen denklemlerde zeminin birim hacim ağırlığı (γ) yerine γ_s ve δ yerine $\delta/2$ yazılarak aynen kullanılması önerilmektedir [38].

1.11.1.4. Zeminin Su Altında Bulunması Durumu

Zeminin su altında olması durumunda aktif dinamik basuıç P_{ad} ve pasif dinamik basuıç P_{pd} 'nin hesabında γ yerine γ_b (batık birim hacim ağırlık) dikkate alınacak ve ayrıca bu durumda hidrodinamik basuıncın hesaplanmaması önerilmektedir.

a) Depremsiz Durum

$$\gamma_b = \gamma - 1 \quad (76)$$

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_b \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (77a)$$

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_b \cdot H'^2 \cdot K_{ps} \quad (77b)$$

ve suyun ilave hidrostatik basuıncı ise

$$P_\omega = \frac{1}{2} \cdot \gamma_\omega \cdot H_\omega^2 \quad (78)$$

olarak hesap edilebilmektedir.

b) Depremlu Durum

Depremlu durumda K_{at} ve K_{pt} katsayılarının hesabında δ yerine $\delta/2$ alınacak ve

$$\lambda = \arctan \left[\frac{\gamma_s \cdot C_h}{\gamma_d (1 + C_v)} \right] \quad (79)$$

olarak hesaplanarak denklemlerde yerlerine konulmaktadır [38]. Burada ayrıca suyun hidrodinamik basıncı hesaplanmayacaktır. Su altındaki zeminin dinamik basınçları

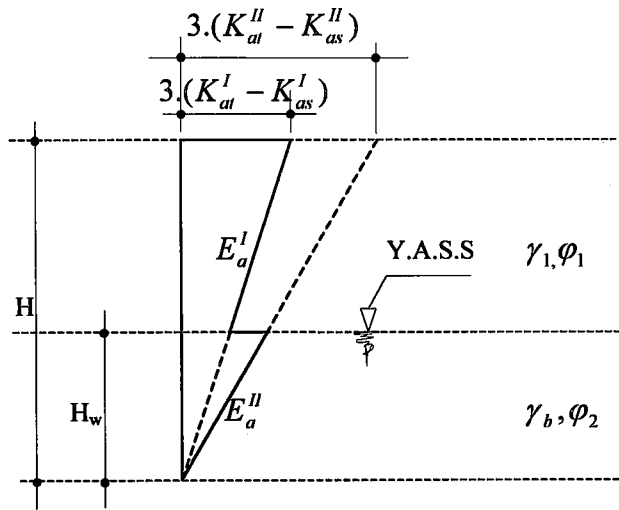
$$P_{ad} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_b \cdot H^2 \cdot K_{ad} \quad (80a)$$

$$P_{pd} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_b \cdot H'^2 \cdot K_{pd} \quad (80b)$$

olarak hesaplanabilmektedirler.

1.11.1.5. Zeminin Bir Kısımının Su Altında Bulunması Durumu

Zeminin bir kısmı H_w yükseklikli yer altı suyu altında bulunsun (Şekil 43). Üsteki I tabakasının K_{as} ve K_{at} katsayıları denklem 36 ve 40 yardımıyla hesaplanmaktadır. II tabakası deprensiz ve depremliler için aşağıda incelenmektedir.



Şekil 43. Zeminin bir kısmının su altında bulunması durumunda aktif gerilme katsayısının değişimi

a) Depremsiz Durum

Yeraltı suyu bulunan II tabakasında statik durumda aktif statik basınç hesaplanırken denklemden γ yerine γ_b ve δ yerine $\delta/2$ konulması önerilmektedir. Ancak bu durum da suyun aktif basıncı

$$P_{\omega} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_{\omega} \cdot H_{\omega}^2 \quad (81)$$

olarak ilave edilmektedir.

b) Depremlili Durum

Bu durumda I ve II tabakalarına ait P_{ad}^I ve P_{ad}^{II} basınçlarının hesabında tabakalı zeminler için verilen hesap şekli kullanılabilir. II. tabakada P_{ad}^{II} 'nin hesabında γ yerine γ_b alınacağı daha önce belirtilmiştir. Buna göre P_{ad}^{II} basıncı

$$P_{ad}^{II}(z_2) = \left[3 \cdot \left(1 - \frac{z_2 + H_1}{H} \right) \cdot K_{ad}^{II} \right] \cdot (\gamma_1 \cdot H_1 + \gamma_b \cdot z_2) + (\gamma_{\omega} \cdot H_{\omega}) \quad (82)$$

olarak hesaplanmaktadır. Burada ayrıca suyun hidrodinamik basıncı hesaplanmamaktadır.

1.11.2. Kohezyonlu Zemin Durumu

Kohezyonlu zeminlerde kohezyonsuz zeminlere ilave olarak formüllerde zemin kohezyonunu (c) ihtiva eden terim ilave edilmektedir. Bilindiği gibi ideal killi zeminlerde iç sürtünme açısı $\varphi = 0$ 'dır. Fakat böyle bir durumda $\varphi = 0$ almak yerine arazi deneyleri ile mutlaka c ve φ değerlerinin araştırması önerilmektedir.

a) Depremsiz Durumda

Kohezyonlu durumda herhangi bir derinlikteki basınçlar

$$P_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} - 2c\sqrt{K_{as}} \quad (83a)$$

$$P_{ps}(z') = \gamma \cdot z' \cdot K_{ps} + 2c\sqrt{K_{ps}} \quad (83b)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi zemin karakteristiklerinin yükseklik boyunca değişmediği durumda, zemin itkisi

$$P_{as} = \frac{H}{2} \cdot (\gamma \cdot H \cdot K_{as} - 2c\sqrt{K_{as}}) \quad (84a)$$

$$P_{ps} = \frac{H'}{2} \cdot (\gamma \cdot H' \cdot K_{ps} + 2c\sqrt{K_{ps}}) \quad (84b)$$

olarak hesaplanmaktadır.

b) Depremlı Durumda

Kohezyonlu durumda depremden oluşan dinamik aktif ve pasif basınç katsayıları

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \quad (85a)$$

$$K_{pd} = K_{pt} - K_{ps} \quad (85b)$$

olmak üzere zemin itkisi

$$P_{ad} = \frac{H}{2} \cdot (\gamma \cdot H \cdot K_{ad} - 2c\sqrt{K_{ad}}) \quad (86a)$$

$$P_{pd} = \frac{H'}{2} \cdot (\gamma \cdot H' \cdot K_{pd} + 2c\sqrt{K_{pd}}) \quad (86b)$$

olarak hesaplanmaktadır.

1.12. İstinat Duvarlarının Hesap Sırası

İstinat duvarının türü ne olursa olsun projelendirilmesinde genellikle aşağıdaki yol izlenilmektedir.

1. Genel bilgilerin temini,
 2. Zemin özelliklerinin belirlenmesi,
 3. Ek yük ve deprem yüklerinin belirlenmesi,
 4. Duvar türünün seçimi ve ön boyutlandırma,
 5. İstinat duvarı etkilerinin hesabı,
 6. Stabilité denetimlerinin yapılması,
 7. Donma derinliğinin belirlenmesi,
 8. İstinat duvarlarının etkiyen yük kombinasyonlarına göre hesabı ve konstrüktif kuralları,
 9. Farklı yer değiştirmelerin bulunması,
- şeklinde olmaktadır.

Bu başlık altında betonarme istinat duvarlarının projelendirilmesi üzerinde durulmaktadır.

1.12.1. Genel Bilgilerin Temini

Arazinin topografik durumunun belirlenmesi, mevcut yapılar, yollar, arazinin sınırları, kıyı istinat duvarları için erozyon derinliği ve duvar alt kotu ile üst kotunun saptanması gerekli olmaktadır [10].

1.11.2. Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi

Duvar arkasındaki doğal zemin yada dolgunun cins ve özelliklerinin tespiti için arazi incelemelerine, sondaj ve laboratuvar deneylerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tespit edilecek zemin özellikleri,

- a) Zemin üst yüzünün topografik durumu,
 - b) Zeminin birim ağırlığı (γ),
 - c) Zeminin iç sürtünme açısı (φ),
 - d) Duvarın arka yüzü ile dolgu malzemesi arasındaki sürtünme açısı (δ),
 - e) Duvarın oturacağı zeminin emniyet gerilmesinin (σ_{em}) gerilmesinin belirlenmesi,
 - f) Duvarla temel arasındaki sürtünme katsayısının (μ_s) belirlenmesi,
 - g) Duvar yüksekliği boyunca zemin değişik tabakalardan meydana geliyorsa, bu tabakaların derinlik ve özelliklerinin belirlenmesi,
 - h) Varsa yeraltı suyu seviyesinin ve bu seviyenin mevsimlere göre değişimi,
 - i) Zemin kohezyonunun (c) belirlenmesi,
- şeklinde sıralanabilmektedir.

Kohezyon zeminin kayma mukavemetini karakterize etmektedir. Kum ve tahl gibi granüler malzemede $c=0$ alınabilmektedir.

Zeminlerin özelliklerinin değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Zemin özellikleri

Zemin Cinsi	Birim Ağırlığı (t/m^3)	İç Sürtünme Açısı (φ°)	Duvarla Temel Arasındaki Sürtünme Katsayısı (μ_s)
İnce kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	1,8-1,9	30-40	0,40-0,60
İri kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	1,8-2,0	35-40	0,50-0,70
Siltle karışık kum yada çakıl	1,8-2,0	25-35	0,40-0,50
Siltli kum, çok killi kum yada çakıl	1,8-2,0	23-30	0,30-0,40
Orta sertlikte kil	2,1-2,2	25-35	0,20-0,40
Bitkisel toprak	1,7-1,8	25-30	0,20-0,30
Sağlam kaya	2,5-5	-	0,60

1.12.3. Ek Yük ve Deprem Yüklerinin Belirlenmesi

İstinat duvarı arkasındaki zemin üzerinde fonksiyonları gereği ilave yük yada dış yükler de tesir edebilmektedir. Bunlar ulaşım araçlarının bulunması, bina yada diğer yapılar, karayolu, demiryolu, malzeme depolanması ve benzeri kullanma biçimlerinden meydana gelebilecek ek yükler ile deprem kuvvetleri saptanması şeklindedir.

1.12.4. Duvar Türünün Seçimi ve Ön Boyutlandırma

Yukarıda verilen temel bilgiler ışığı altında şartlara uygun bir istinat duvarı türü seçilmekte ve bölüm 1.5'deki gibi ön boyutları saptanmaktadır.

1.12.5. İstinat Duvarı Etkilerinin Hesabı

İstinat duvarına tesir eden zemin itkisi, ek yük ve su etkisi daha önce (bkz. madde 1.11) açıklandığı gibi hesaplanmaktadır.

1.12.6. Stabilite Denetimi

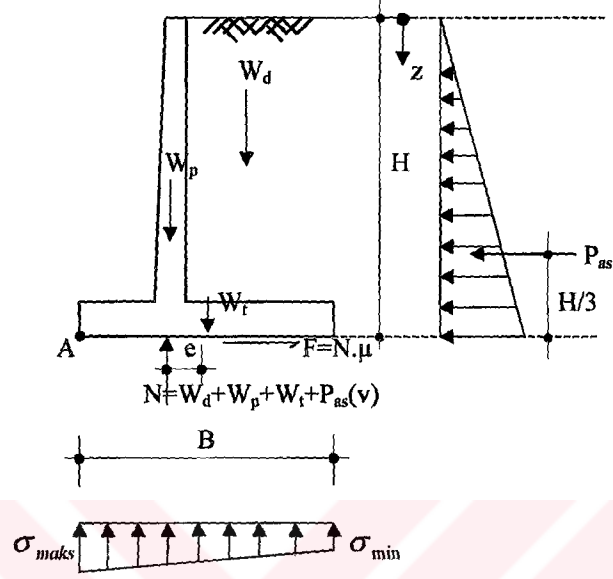
İstinat duvarlarının projelendirilmesinde muhtemel göçme mekanizmalarının araştırılması gerekmektedir. Statik durumda istinat duvarları kütleleriyle ilgili kuvvetler, zemin basınçları ve dış kuvvetlerin etkisindedir. Deprem etkisinde kalması halinde atalet kuvvetleri de etkili olmakta ve zemin basınçları değişmektedir.

Betonarme konsol ve payandalı istinat duvarlarına tesir eden kuvvetler sırasıyla Şekil 44 ve Şekil 45'de verilmektedir. Bu şekillerdeki F sürtünme kuvvetini ve N ise toplam düşey kuvvetleri göstermektedir. Duvar yapıldıktan sonra duvarın önündeki zemin kazılır yada taşınır ise pasif basınç durumu artık geçerli olmayacağından emniyetli tarafta kalmak için hesaplarda pasif zemin itkisi ihmal edilebilmektedir.

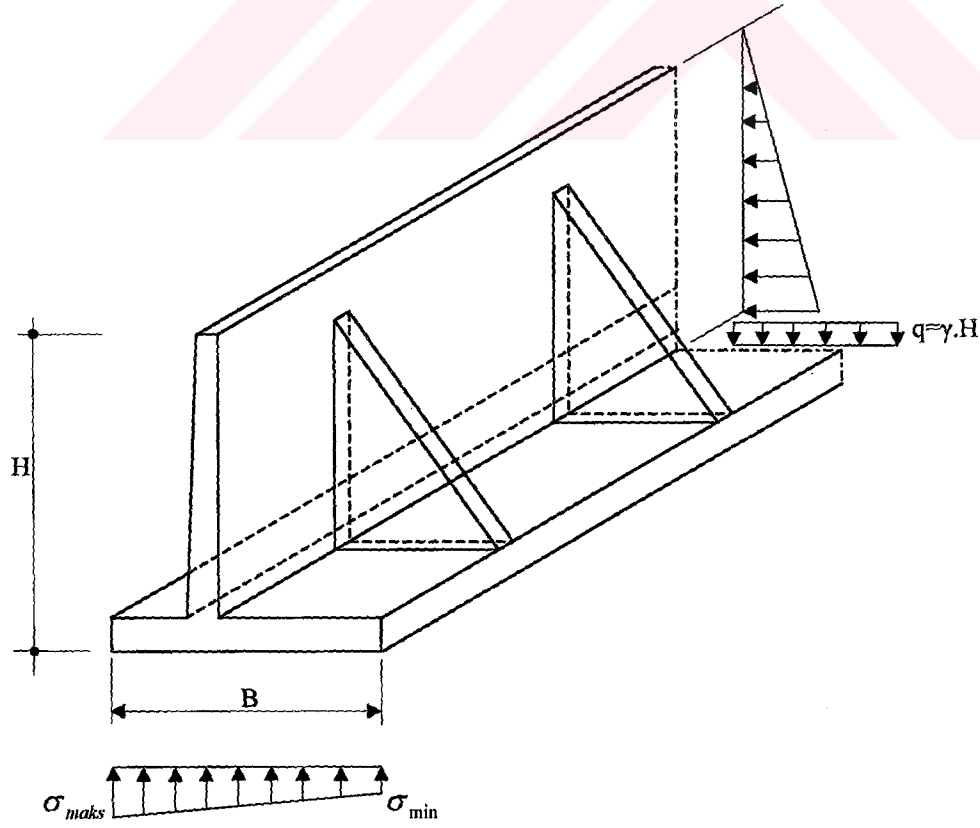
İstinat duvarlarının stabilite hesaplarında yapılan denetimler aşağıda verilmektedir.

- 1) Kayma Denetimi
- 2) Devrilme Denetimi

- 3) Taban Gerilmelerinin Denetimi
- 4) Toptan Göçme Denetimi



Şekil 44. Konsol istinat duvarlarına etki eden statik kuvvetler



Şekil 45. Payandalı istinat duvarlarına etki eden statik kuvvetler

1.12.6.1. Kayma Denetimi

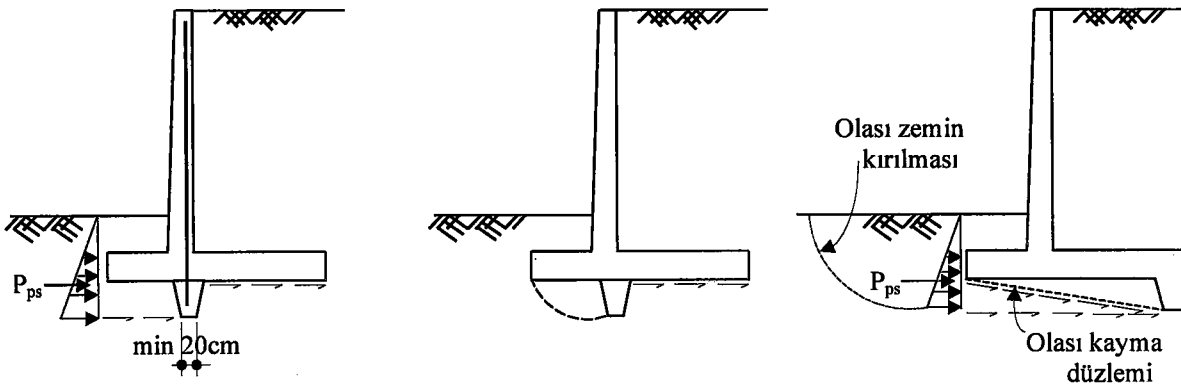
Duvara gelen aktif itki aynı zamanda duvarı temel zemini üzerinde kaydırmaya çalışmaktadır. Ortaya çıkan bu kayma kuvveti taban ile zemin arasındaki sürtünme kuvveti ve duvarın önündeki zeminin pasif itkisiyle karşılanmaktadır. Ancak burada pasif itki emniyetli tarafta kalınması açısından ihmal edilmektedir.

Kaymanın istinat duvarının tabanında meydana geldiği kabul edilerek duvarın kaymaya karşı güvenliği için,

$$G_s = \frac{\Sigma N \cdot \mu_s}{\Sigma P_{ah}} \geq 1.5 \quad (87)$$

koşulunun sağlanması gerekmektedir. Burada $\mu_s = \tan \varphi$ alınması ve kayma güvenliğinin depremli durumda ise 1,1'den küçük olmaması önerilmektedir [38].

Kayma güvenliğinin sağlanamadığı durumlarda istinat duvarı taban plağı altına dış yapılabilmektedir (Şekil 46). Zira istinat duvarına bir dış eklenmesi pasif itkinin hesaba katılabilmesini mümkün kılabilir. Ancak bu dışın kaya yada sert bir zemine gömülmesi gerekmektedir. Diğer taraftan taban plağının boyunu büyüterek taban normal kuvvetini dolayısıyla sürtünme kuvvetini artırarak yada taban plağı biraz eğimli yapılarak da kayma güvenliği sağlanabilmektedir.



Şekil 46. İstinat duvarlarında kaymaya karşı kullanılan dış tipleri

Kaymaya göre güvenliğin sağlanması halinde genellikle devrilmeye karşı güvenlik de sağlanmaktadır.

1.12.6.2. Devrilme Denetimi

İstinat duvarı arkasındaki zemin ve ilave yüklerin meydana getirdiği aktif zemin itkisinden dolayı duvar A noktası etrafında dönerek devrilme eğilimindedir (Şekil 44). Bu devrilme kendi duvarın ağırlığı ve duvar arka çıkması üzerindeki zemin ağırlığı ile karşılanmalıdır. Bunun için duvarın A noktası etrafında dönmesine karşı koyan koruyucu moment (M_k), A noktası etrafında döndüren devirici momentten (M_d) belli bir güvenlik katsayısı kadar daha büyük olmalıdır. Devrilmeye karşı güvenliğin sağlanabilmesi için,

$$G_s = \frac{\Sigma M_K}{\Sigma M_D} \geq 1.5 \sim 2.0 \begin{cases} \text{kohezyonlu zemin için 2,0} \\ \text{kohezyonsuz zemin için 1,5} \end{cases} \quad (88)$$

koşulunu sağlaması gerekmektedir. Statik ve dinamik zemin basınçlarının birlikte etkilediği depremler durumunda devrilme güvenliği en az 1,3 olmalıdır [38].

Devrilme güvenliğinin sağlanamadığı durumda devrilmeye karşı koyan kuvveti artırmak için taban plağının boyutunun büyütülmesi yada temel zeminin iyileştirilmesi düşünülebilir.

1.12.6.3. Taban Gerilmelerinin Denetimi

İstinat duvarı temel zeminin taşıma gücünün aşılması sık sık meydana gelmektedir. Bu nedenle duvara tesir eden yüklerden dolayı duvarın temel tabanında meydana gelen zemin gerilmeleri her zaman Tablo 4'deki zemin emniyet gerilmelerinden küçük olmalıdır.

Taban plağının O orta noktasına göre 1m duvar uzunluğu dikkate alınarak, duvarın kendi ağırlığı, taban çıkmaları üzerinde kalan zemin ağırlıkları ve sürşajdan meydana gelen itkilerin ΣM_0 toplam momenti ve düşey ağırlıkların toplamı ΣN normal kuvveti bulunmaktadır. Taban orta noktasına göre dış merkezlik

$$e = \frac{\sum M_o}{\sum N} \quad (89)$$

Tablo 4. Zemin emniyet gerilmeleri

Zemin cinsi	$\sigma_{zem}(t/m^2)$
Çamur ve bataklık	0
Dolgu zeminleri (mekanik olarak sıkışmamış)	0-10
Yumuşak kil	7,5-10 (<7,5 sakıncalı)
Orta sert kil	10-15
Sert kil	15-30
Çok sert taşlı kil	30-60
Gevşek kum	10 (<10 sakıncalı)
Orta sıkı kum	10-30
Sıkışmış kum	30
Gevşek kum-çakıl	20-30
Orta sıkı kum-çakıl	30-40
Sıkışık kum-çakıl	40-60
Yumuşak kaya (kiltası, kumtaşı, tuf vb.)	100
Sert kaya (şist vb.)	300-350
Çok sert kaya (ayrışmamış granit ve bazalt vb.)	500-1000

Not: Yer altı suyu mevcut ise tablodaki değerlerin yarısı alınır.

olarak belirlenmektedir. B toplam taban genişliği olmak üzere

$$e \leq \frac{B}{6} \quad (90)$$

ise zemin küçük dışmerkezlilik durumunda olup, kenarlardaki zemin emniyet gerilmelerinin değerleri

$$\sigma_{maks} = \frac{N}{A} + \frac{6\Sigma M_o}{B^2} < \sigma_{zem} \quad (91a)$$

$$\sigma_{min} = \frac{N}{A} - \frac{6\Sigma M_o}{B^2} > 0 \quad (91b)$$

şartlarını sağlaması gerekmektedir. Ancak

$$e > \frac{B}{6} \quad (92)$$

ise zeminde büyük dışmerkezlilik meydana gelmektedir. Bu durumda çekmeye dayanıksız olan malzemeler için geçerli bağıntıların kullanılması gerekmektedir. Bu durumda maksimum zemin gerilmesi;

$$c = \frac{B}{2} - e \quad (93)$$

olmak üzere

$$\sigma_{maks} = \frac{2N}{3c} \quad (94)$$

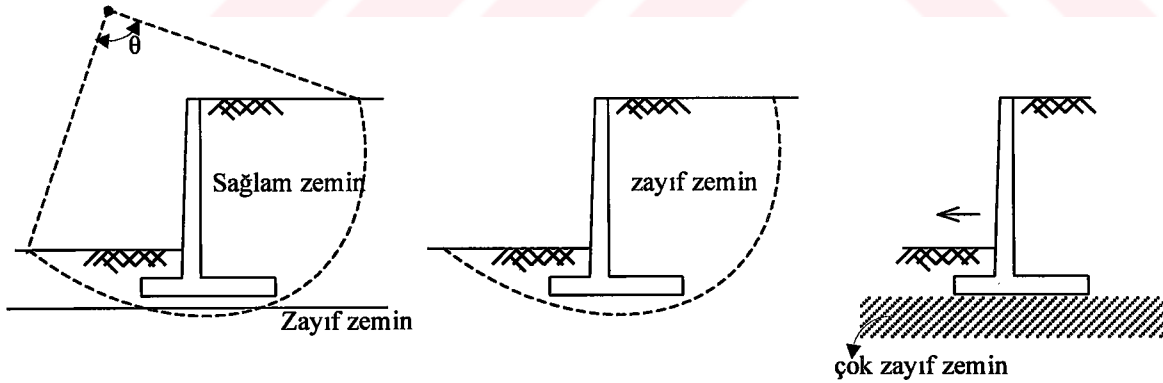
bağıntısıyla hesaplanmaktadır. İstinat duvarları tabanında büyük dış merkezlilik durumuna yalnızca kaya türü zeminlerde izin verilebilmektedir. Ancak çeşitli araştırmacılar tarafından istinat duvarının zeminde çekme gerilmesi meydana gelmeyecek şekilde projelendirilmesi önerilmektedir.

Zemin emniyet gerilmesi denetimlerinin sağlanmaması durumunda taban plağı alanının büyütülmesi yada taban plağının kazıklara oturtularak emniyetin sağlanması düşünülmelidir.

1.12.6.4. Toptan Göçme Denetimi

İstinat duvarları için tüm stabilite denetimleri yapıldığında güvenlik sayıları istenen değerleri sağlasa da kazı, yeraltı suyu ve deprem gibi nedenlerle duvarın yapıldığı bölgede zemin dengesini kaybederek duvar ile birlikte alt zemin tabakası üzerinde kaymakta ve böylece toptan göçmektedir. Özellikle zayıf zemin tabakasının kalınlığı tabandan itibaren istinat duvarı yüksekliğinin 1~1.5 katından fazla ise temel zeminin stabilitesi bu zayıf tabandan geçen bir kayma yüzeyi olabileceği gözönüne alınarak incelenmelidir. Şekil 47'de duvarın yapıldığı bölgede mümkün olabilecek göçme çeşitleri özetlenmektedir. Görüldüğü gibi problem ana görünümüyle bir yamaç stabilitesi problemi niteliğini taşımaktadır. Zemin kayma yüzeyi duvar temeli altından geçmediği müddetçe duvar toptan göçmeye karşı emniyetli olmaktadır.

Kayma yüzeyinin dairesel bir silindir yüzey olduğu kabul edilerek, bir çok parametreye bağlı olan belirsiz kritik durumu belirleyebilmek için çok sayıda kayma dairesi durumunun incelenmesi gerekmektedir [1]. Kritik göçme yüzeyi en küçük güvenlik katsayısını veren yüzeydir. İstinat duvarlarının toptan göçme hesaplarında en çok kullanılan yöntem İsveç dilim yöntemidir [20].



Şekil 47. İstinat duvarlarında mümkün olabilecek göçme türleri

İsveç dilim metodunda, kayma yüzeyinin bir O merkezi etrafında dönen silindirik yüzey olarak kabul edilmektedir (Şekil 48). Genel olarak göçme dairesinin istinat duvarını da içine alacak şekilde duvarın arka ucundan geçtiği kabul edilmektedir. Daire merkezinin yeri seçildikten sonra O noktası etrafında zemin ağırlığından dolayı kaydıran kuvvetlerin

momentleri $M_o=W.d$ olarak belirlenmektedir. Kaymaya karşı koyan momentler ise kayma yüzeyi boylarının zemin kohezyonu ile çarpımı şeklinde hesaplanmaktadır. Kayma yüzeyi boyunun uzunluğu

$$L = 2.\pi.R.\theta / 360 \quad (95)$$

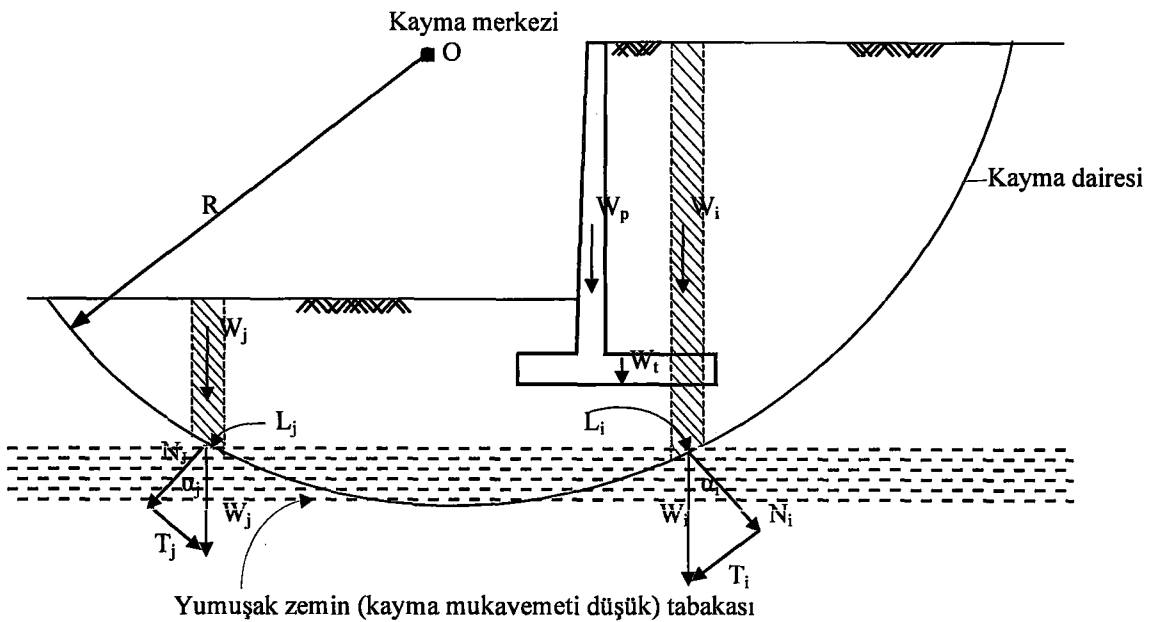
olmak üzere toptan göçme emniyeti

$$G_s = \frac{c.L.R}{W.d} \quad (96)$$

olarak ifade edilebilmektedir. Burada zemin bloğu ağırlığı ve O noktasına uzaklığı d'nin belirlenmesinde güçlük bulunmaktadır. Bu kayma alanının ağırlık merkezi, L kayma dairesini düşey doğrularla prizmalara ayırmak suretiyle belirlenebilmektedir. Bu dilimler sabit genişlikli (1~2m) olarak teşkil edilebilmektedir [16,20]. Bu W_i ağırlığı L_i taban yayı orta noktasında N_i normal ve T_i teğet bileşenlerine ayrılabilir.

$$N_i = W_i \cdot \cos \alpha_i \quad (97)$$

$$T_i = W_i \cdot \sin \alpha_i \quad (98)$$



Şekil 48. İstinat duvarlarının toptan göçme denetiminde kullanılan İsveç dilim yöntemi

Her bir zemin dilimi Şekil 48'de görüldüğü gibi kuvvetlerin etkisi altında kalmaktadır. Bu durumda koruyucu momentin O dönme merkezine göre değeri

$$M_k = R.(c.L_i + N_i . \tan \varphi) \quad (99)$$

ve dilimi kaydıran T teğetsel kuvvetlerinin O dönme merkezine göre momenti

$$M_d = R.T_i \quad (100)$$

olarak ifade edilmektedir. Göçmeye karşı emniyet katsayısı, α_i her dilimin yatayla yaptığı açığı göstermek üzere;

$$G_s = \frac{\Sigma(c.L_i + N_i . \tan \varphi)}{\Sigma T_i} \quad (101)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Bu ifadede kohezyon (c) sabit, tüm dilimlerin boylarının toplamı da L kayma yüzeyi alınırsa,

$$G_s = \frac{c.L + \Sigma N . \tan \varphi}{\Sigma T} \geq \begin{cases} 2,0 & (\text{kumlu zeminlerde}) \\ 3,0 & (\text{killi zeminlerde}) \end{cases} \quad (102)$$

şekline gelmektedir. Bu ifade için bir tablo teşkil edilebilmektedir. Bu tabloda ΣT cebirsel bir toplamdır. O merkezinden geçen düşey doğrunun sağındaki T_i 'ler kaydıran (+), solundaki T_i 'ler ise kaymaya karşı koyan (-) terimlerdir.

İsveç Dilim Yöntemi genel bir yöntem olup, homojen zemin, tabakalı zemin, tamamen yada kısmen su altındaki zemin, doğrusal olmayan zemin yüzü ile su akımı ve boşluk suyu basıncı olması durumlarında da kullanılabilir [20].

Tablo 5 .İstinat duvarlarının toptan göçme denetiminde kullanılan İsveç dilim yöntemi için hesap çizelgesi

Dilim No	b_i (m)	h_i (m)	Dilim Ağırlığı $W_i = b_i \cdot h_i \cdot \gamma$ (t/m)	α_i°	$N_i = W \cdot \cos \alpha_i$ (t/m)	$T_i = W \cdot \sin \alpha_i$ (t/m)
1
2
3
.
					ΣN	ΣT

Yukarıdaki 102 bağıntısı istinat duvarlarında depremlili ve depremsiz durum için genelleştirilmek istenirse, önce P_{as} ve P_{as}^q itkileri hesaplanır ve yerleri belirlenir. Bu durumda O noktası etrafında dönerek kaydırmaya çalışan kuvvetler

- P_{as}, P_{as}^q, P_{ad} aktif itkileri
- T_i teğetsel kuvvetlerdir.

a) Depremsiz Durum

Depremsiz durumda söz konusu olan şart, y_a statik aktif basıncın ve y_q statik ek yükün moment kolunu göstermek üzere;

$$G_s = \frac{cL + \Sigma N \cdot \tan \varphi}{\Sigma T + P_{as} \cdot y_a + P_{as}^q \cdot y_q} \quad (103)$$

olarak ifade edilmektedir.

b) Depremlili Durum

Depremlili durumda sözkonusu şart W_p gövde ağırlığını, y_{ad} dinamik aktif basıncın, y_{qd} dinamik ek yükün ve $y_p = W_p \cdot C_h$ 'nin moment kolunu göstermek üzere;

$$G_s = \frac{c.L + \Sigma N \cdot \tan \varphi}{\Sigma T + P_{as} \cdot y_a + P_{as}^q \cdot y_q + P_{ad} \cdot y_{ad} + P_{ad}^q \cdot y_{qd} - W_p \cdot c_h \cdot y_p} \quad (104)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir.

Bulunan sonucun öngörülen şartı sağlamadığı durumlarda tabanın arka kısmı uzatılarak kayma dairesi büyütme suretiyle şartın sağlatılması önerilmektedir. Bu durumda da gerekli şart sağlanamadığı takdirde duvar tabanın daha derinlerde yapılması tavsiye edilmektedir.

Güvenlik sayısı kavramı büyük eleştiri konusu olmasına rağmen günümüzde yine bu değerlerin kullanıldığı görülmektedir. İstinat duvarlarında kullanılan güvenlik sayıları aşağıdaki tabloda özetlenmektedir.

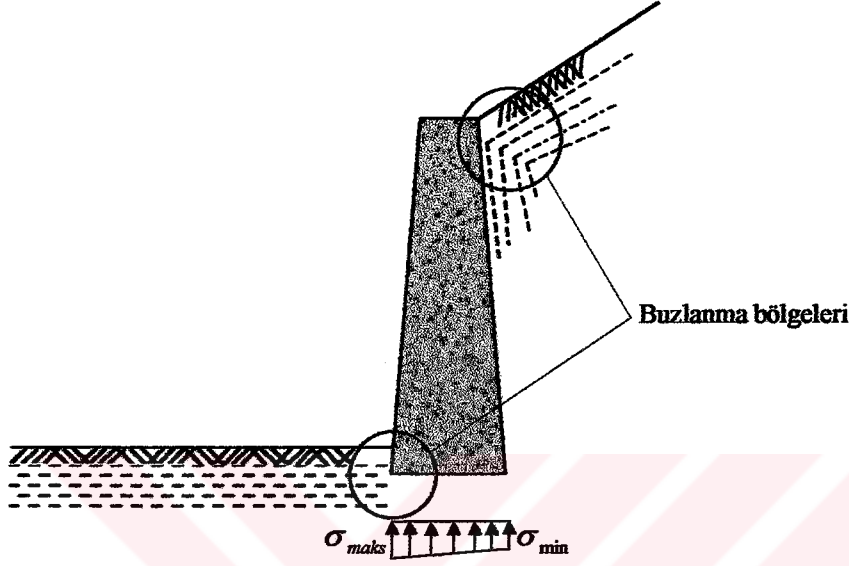
Tablo 6. Betonarme istinat duvarlar için güvenlik katsayıları

Göçme Durumu		Güvenlik Katsayısı (G _s)	
		Depremsiz Durum	Depremlili Durum
Kayma	Kil	2,0	1,1
	Kum	1,5	1,1
Devrilme	Kil	2,0	1,3
	Kum	1,5	1,3
Toptan Göçme	Kil	3,0	1,2
	Kum	2,0	1,2

1.12.7. Donma Derinliğinin Belirlenmesi

Zeminin suya doymun yada yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda, özellikle soğuk iklim bölgelerinde zemin belirli bir derinliğe kadar donmaktadır. Bu durumda duvar arka kısmı ve temel zeminindeki boşluklarda mevcut su buzlanmakta ve hacimce genişlemektedir (Şekil 49). İlkbaharda buzların erimesiyle zemin yumuşamakta ve bilhassa toprak kısmındaki gerilmelerin yüksek olması nedeni ile bu bölgelerde büyük

oturmalar meydana gelmektedir. Bu olay bazen duvarın kullanım dışı kalmasına da sebep olabilmektedir. Aşağıda tablo 7'de zemin sıcaklık derecesine bağlı olarak donma derinlikleri verilmektedir [14].



Şekil 49. İstinat duvarlarında muhtemel buzlanma bölgeleri

Zeminde yeterli bir şekilde sağlanacak drenaj, muhtemel don tesirlerine karşı alınacak tedbirlerin en uygunu olmaktadır.

Tablo 7. İstinat duvarlarında donma olayına karşı en az temel derinlikleri

Kışın en düşük sıcaklık derecesi	≥ -7	$-7 \sim -18$	$-18 \sim -27$	< -27
En az temel derinliği (cm)	60	90	120	≥ 150

1.12.8. İstinat Duvarlarında Dikkate Alınan Yük Kombinasyonları, İstinat Duvarlarının Hesabı ve Konstrüktif Kurallar

İstinat duvarlarının ön boyutları stabilite yönünden uygun olduğu anlaşıldıktan sonra, belirlenen bu uygun ön boyutlara göre duvarın statik ve betonarme hesapları yapılmaktadır. Burada betonarme konsol ve payandalı istinat duvarlarının hesap esasları kısaca açıklanmaktadır.

1.12.8.1. İstinat Duvarlarında Dikkate Alınan Yük Kombinasyonları

Betonarme istinat duvarlarının kırılma ve büyük çatlaklara karşı emniyetinin temini için bu elemanlarda kesit zorlarının en olumsuz değerlerinin hesap edilmiş olmaları gerekmektedir.

Kesit zorlarının hesabında kullanılacak yük katsayılarının değerleri yapıya etkileyen yüklerin nitelik ve niceliğine göre değişmektedir. Öngörülen yük katsayıları ve değişik yük türlerinin birlikte etkidikleri durumlarda dikkate alınması gereken yük kombinasyonları TS 500'deki notasyonlarla $H=(P_{as} + P_{as}^q)$ itkisini, $H_{ad}=(P_{ad} + P_{ad}^q)$ itkisini ve E Betonarme elemanda deprem sebebiyle meydana gelen yük etkisinin kuvvetini göstermek üzere;

Depremsiz durumda

$$1,4G + 1,6Q + 1,6H \quad (105a)$$

$$1,4G + 1,6Q \quad (105b)$$

$$0,9G + 1,6H \quad (105c)$$

Depremlili durumda

$$G + Q + H + H_{ad} + E \quad (105d)$$

$$0,9G + H + H_{ad} + E \quad (105e)$$

$$1,4G + 1,6Q \quad (105f)$$

$$0,9G + E \quad (105g)$$

olarak belirlenmekte ve kesit hesapları bunlardan en elverişsizinin meydana getirdiği kesit etkilerine (eğilme momenti ve kesme kuvveti) göre yapılmaktadır [39].

1.12.8.2. İstinat Duvarlarının Hesabı

a) Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Hesabı

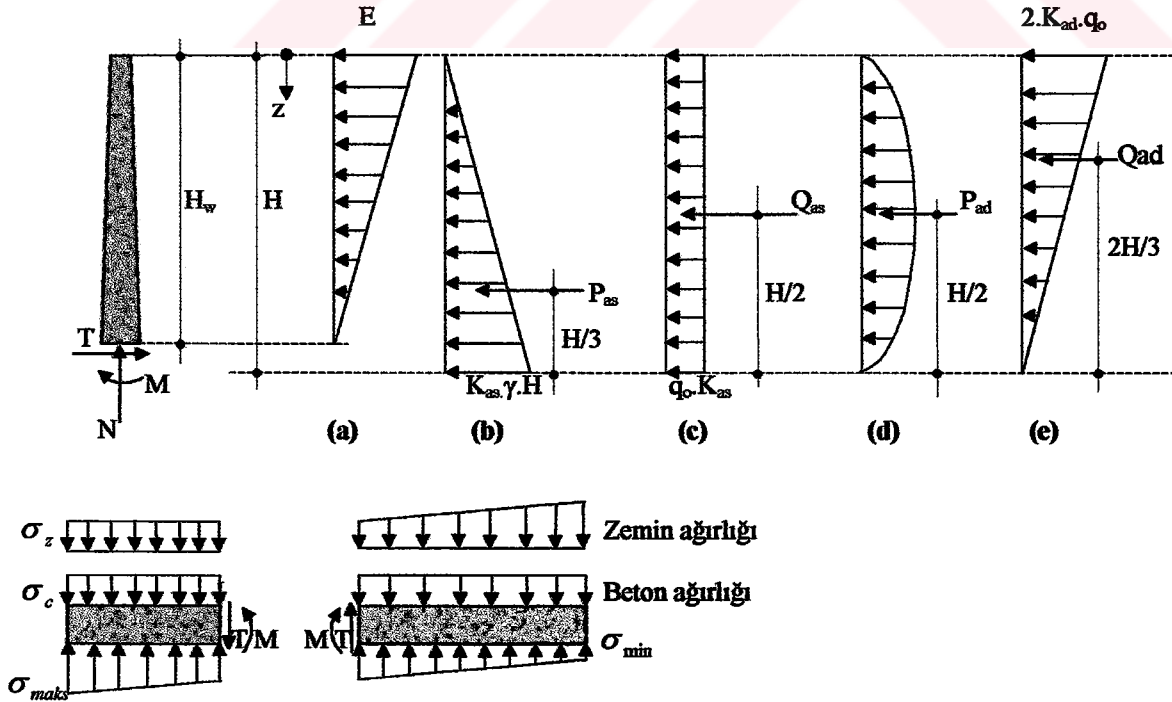
Betonarme konsol bir istinat duvara etkileyen yatay yayılı yükler daha önce Şekil 40'da gösterilmiş ve bu yüklerin nasıl hesaplanacağı bölüm 1.11'de açıklanmıştı.

Betonarme konsol istinat duvarları gövde ve taban olmak üzere iki taşıyıcı elemandan meydana gelmektedir. Gövde tabana ankastre düşey bir konsol plak olarak hesaplanmaktadır. Taban plağı ise, ön ve arka çıkma (ampatman) diye adlandırılan ve gövde plağına ankastre iki yatay konsola ayrılarak incelenmektedir. Bazen bu çıkmalardan biri ihmal edilmektedir (Şekil 50).

Bütün bu elemanlarda boyutlandırmaya esas olan statik ve dinamik yükler bulunduğundan sonra birim duvar boyu için beton gerilmelerinin ve donatının belirlenmesinde bu konsollar 1m genişliğinde dikdörtgen plaklar olarak dikkate alınmaktadır.

Taban ön ve arka çıkmaları; zemin gerilmeleri, kendi ağırlığı ve üzerindeki zemin ağırlığı gözönüne alınarak hesaplanmaktadır. Ön çıkmada çekme gerilmeleri alt yüzde meydana geleceğinden asal donatı alt yüz, arka çıkmada üzerindeki zemin ağırlığı etkisiyle çekme gerilmeleri üst yüzde oluşacağından asal donatı üst yüz konulmaktadır.

Gövde plağında çekme gerilmeleri zemin itkileri nedeniyle arka yüzde oluşacağından asal donatı çekme gerilmesi olan arka yüzeye yerleştirilmektedir.

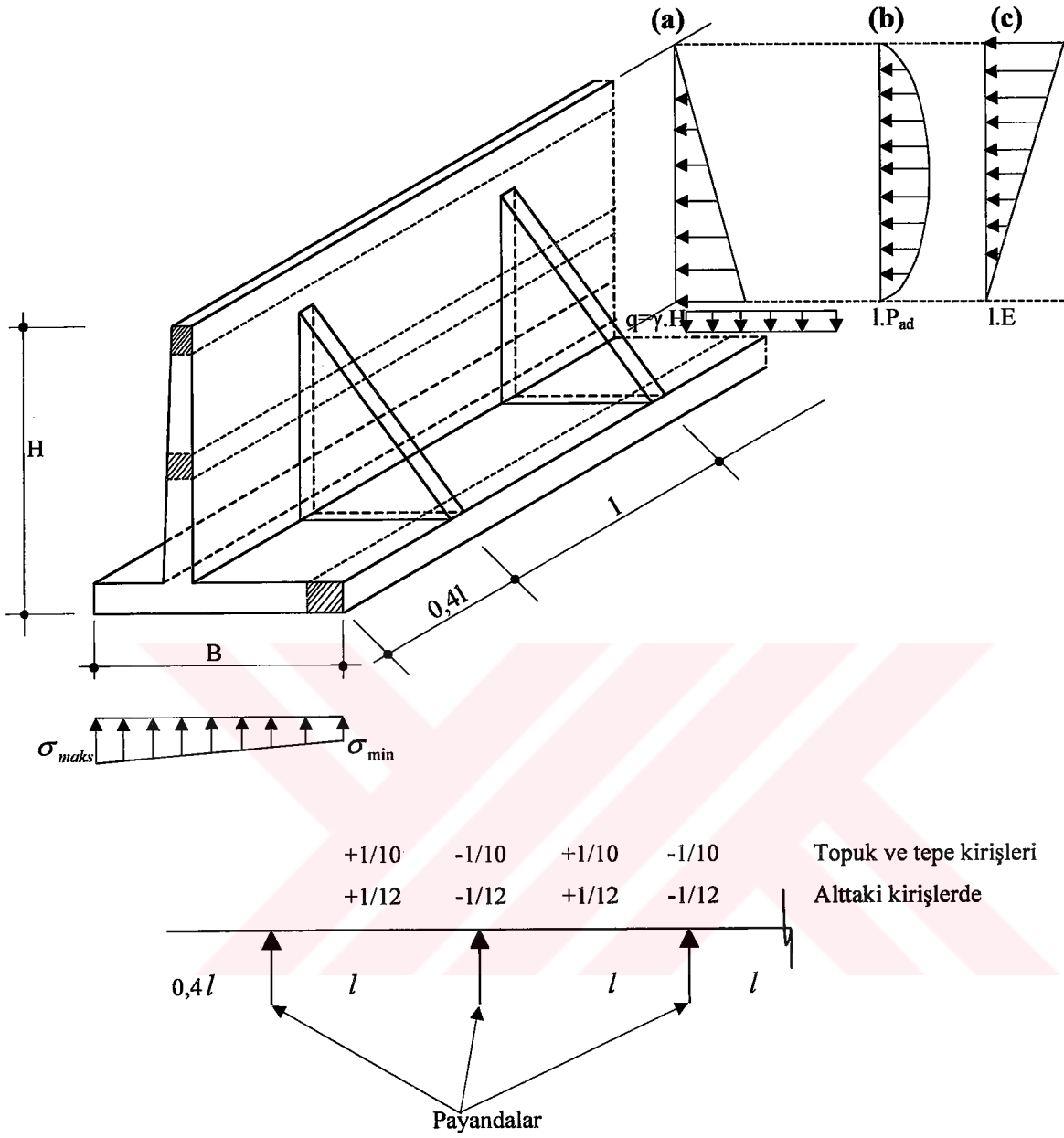


b) Betonarme Payandalı Duvarlarının Hesabı

Payandalı istinat duvarları gövde, taban ve bunları belirli aralıklarla destekleyen değişken kesitli payanda kirişlerinden dolayı hiperstatik bir özeliğe sahiptirler. Payandalar çoğu zaman yer kaybı ve görünüş bakımından duvarın arka kısmında yapılmaktadırlar [1,16].

Payandalı istinat duvarlarında, betonarmenin aldığı kesme kuvvetleri ve eğilme momentlerini hesaplamak için çözüm plak teorisinden faydalanılarak elde edilse de uygulamada daha çok yaklaşık yöntemlerin kullanılması tercih edilmektedir. Şekil 51’de gösterildiği gibi basitleştirilmiş yöntemde gövde ve payanda bulunmayan çıkma plağı üç kenardan mesnetli sürekli plaklar şeklinde çalışmaktadır. Bazı durumlarda gövde üstünde ve taban plağı kenarında yapılacak kirişlerle bu plaklar dört kenarından mesnetli sürekli plaklar olarak da hesaplanabilmektedir. Payandanın ağırlığı hesaplamalarda genellikle ihmal edilmektedir.

Gövde ve tabana etkiyen yüklerin üniform olmaması nedeniyle bu sürekli plakların her iki yöndeki kesit tesirlerinin bulunmasında kullanılacak birim genişlikli eşdeğer kirişlerin duvar tepesiyle duvar-taban birleşim yerinde iki veya üç noktada seçilmesi önerilmektedir [17].



Şekil 51. Deprem esnasında betonarme payandalı istinat duvarı elemanlarına etki eden statik (a) ve dinamik (b ve c) yükler

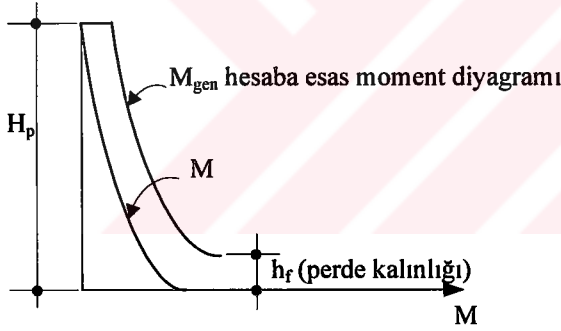
Dikkat edileceği gibi diğer tip istinat duvarlarında hesaplamalar birim uzunluk için yapılırken payandalı istinat duvarlarında komşu payandalar merkezleri arasında hesap yapılmaktadır.

Sürekli plakta, alttaki kirişler temele bağlı olduğundan $q.l^2/12$ ve $q.l^2/14$, gövdedeki kirişler ise $q.l^2/9$ ve $q.l^2/10$ katsayıları ile hesaplanmaktadır. Emniyetli bir

çözüm için aynı katsayılar hem pozitif hem de negatif momentler için kullanılabilir. Taban plağında payandanın bulunmadığı kısımdaki çıkmanın hesabı konsol istinat duvarlarında olduğu gibi yapılmaktadır.

Payanda kirişleri gövde plağının arka yüzünde bulduklarında tablalı kiriş gibi, ön yüzünde bulduklarında ise dikdörtgen kesitli kiriş gibi çalışmaktadırlar. Payandalara gelen yükler 1m genişlik için gövdeye gelen basınçların payanda eksenleri arasındaki uzaklık ile çarpılmasıyla elde edilmektedir (Şekil 51). Bu elemanlar mesnet oldukları gövde plaklarından gelen yükleri taşıyan ve yüksekliği boyunca değişken kesitli taban plağına ankastre mesnetli konsol bir kiriş olarak hesaplanmaktadır.

Payandaların kesit hesaplarında genişletilmiş moment diyagramı kullanılmalıdır. H_p plak yüksekliği boyunca genişletme miktarı h_f Şekil 52’de verilmektedir.



Şekil 52. Payanda hesabında kullanılan genişletilmiş moment diyagramı

1.12.8.3. Konstrüktif Kurallar

İstinat duvarlarında pas payı en az 5cm olarak seçilmelidir. ρ_b dengeli donatı oranı olmak üzere plak kalınlıklarının asal donatı oranı (ρ)

$$\rho \leq 0.5 \rho_d \quad (106)$$

olacak şekilde seçilmiş olması, plağın rijitliği ve ekonomisi bakımından uygun olmaktadır. Ayrıca çatlak genişliklerine etkisi bakımından donatı çapları büyük seçilmemelidir.

Asal çekme donatının kabul edilebilir en küçük donatı oranı (ρ_{\min})

$$S220 \text{ için } \rho_{\min} \geq 0.0035 \quad (107a)$$

$$S420 \text{ için } \rho_{\min} \geq 0.0025 \quad (107b)$$

$$S500 \text{ için } \rho_{\min} \geq 0.0020 \quad (107c)$$

değerlerine eşit olması gerekmektedir. Donatı aralığı h_f plak kalınlığı olmak üzere

$$s \leq \begin{cases} 1,2h_f \\ 20cm \end{cases} \quad (108)$$

olarak ifade edilmektedir.

Bir doğrultuda çalışan plaklarda dağıtma donatısı hesaplanan ana donatıya dik yönde ve esas çekmeye maruz yüzde teşkil edilmelidir. Bu donatının

$$A_{sd} \geq A_s / 5 \quad , \quad s \leq \begin{cases} 2h_f \\ 25cm \end{cases} \quad (109)$$

şartını sağlaması gerekmektedir.

İki doğrultuda çalışan plaklarda küçük olan doğrultuda bütün çelik cinsleri için

$$\rho_{\min} \geq 0.002$$

olmalıdır. İstinat duvarı tabanında üniform gerilme yayılımı tercih edilmelidir. Ancak zeminin üniform olmaması nedeniyle alt yüze duvar boyuna paralel bir konstrüktif donatı konulması gerekli olmaktadır. Ayrıca arka çıkmanın alt yüzünde bazen çekme gerilmeleri oluşabileceğinden $\rho = 0.0015$ oranında konstrüktif bir donatının konulması uygun olmaktadır.

İstinat duvarlarında gövde ön yüzü ile arka yüzü arasındaki sıcaklık farkından doğan gerilmeleri önlemek için gövdeye yatay ve düşey doğrultuda ilave rötire ve sıcaklık değişimi donatısı konulmalıdır. Bu donatı yatay doğrultuda olan 1m düşey şerit için en az

$$A_{sy} = 0.0025.100.h_f \text{ (cm)} \quad (110)$$

olmalıdır. Bunun 2/3'ü ön yüze ve 1/3'ü arka yüze konulmaktadır. Düşey doğrultuda 1m'lik yatay boy için

$$A_{sd} = 0.0015.100.h_f \text{ (cm)} \quad (111)$$

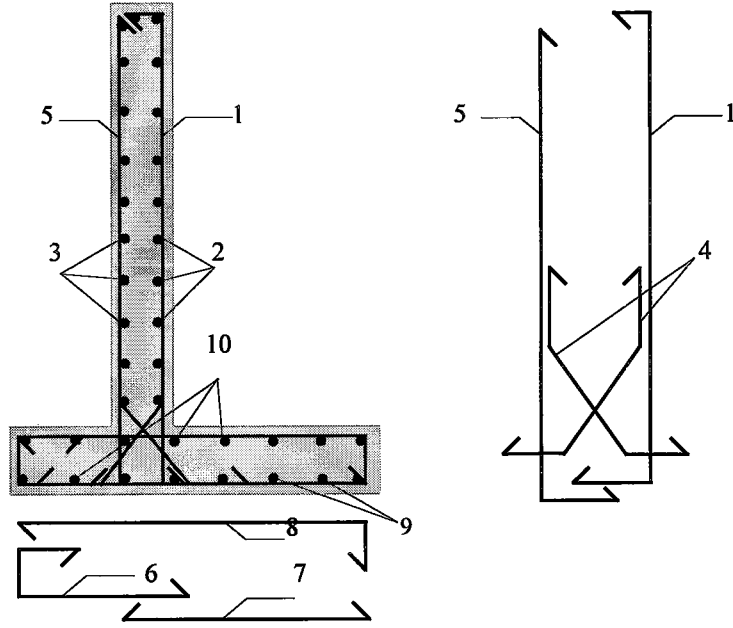
olmalı ve bu donatının tümü ön yüze konmalıdır. Bu donatı aralığı

$$s_y = s_d \leq \begin{cases} 2h_f \\ 40cm \end{cases} \quad (112)$$

şartını sağlaması gerekmektedir.

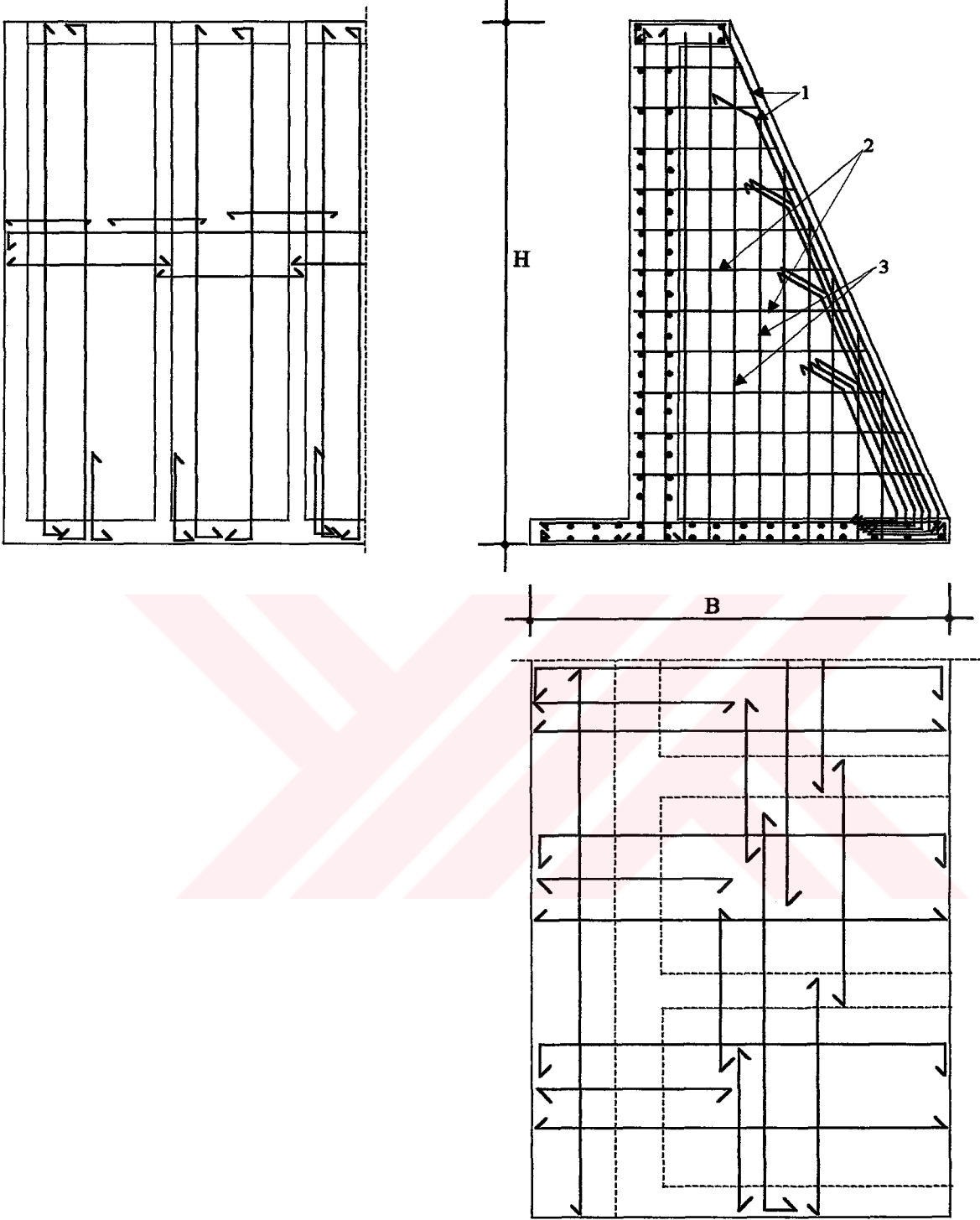
Payandalı istinat duvarlarında gövde ve arka çıkmanın mesnet reaksiyonları, gövde için yatay ve arka çıkma için düşey askı çubukları ile payandaların arka kenarına taşınmalı ve payanda çekme donatısı tabana itina ile ankre edilmelidir.

Betonarme istinat duvarlarının uygun bulunan bazı donatı şemaları aşağıda verilmektedir.



Şekil 53. Betonarme konsol istinat duvarların donatı şeması

- 1: Gövde asal donatısı
- 2: Gövde arka yüz dağıtma, rötne ve sıcaklık değişimi donatısı
- 3,5: Gövde ön yüz dağıtma, rötne ve sıcaklık değişimi donatısı
- 4: Köşe birleşim yeri donatısı
- 6: Ön çıkma asal donatısı
- 7,9: Arka çıkma konstrüktif donatıları
- 8: Arka çıkma asal donatısı
- 10: Temel dağıtma donatıları



Şekil 54. Betonarme payandalı istinat duvarların donatı şeması

- 1: Payanda asal donatısı
- 2: Yatay etriye ve askı çubukları
- 3: Düşey etriye ve askı çubukları

1.12.9. İstinat Duvarlarında Farklı Mesnet Çökmelerinin Hesabı

Zemin üzerinde oturan diğer yapılarda olduğu gibi istinat duvarlarında da belirli ölçüde çökme olması beklenmektedir. Özellikle tabanın oturduğu kalın zemin tabakalarından birinin yumuşak yada orta sertlikte kil olması durumunda istinat duvarlarında önemli çökmeler ve dönmeler meydana gelmektedir. Bu nedenle istinat duvarlarında belirli aralıklarla derzler bırakılmaktadır (bkz. Bölüm 1.7). Bu konudaki ayrıntılı bilgi için zemin mekaniği konusundaki çeşitli kitaplara başvurulabilir [20].

1.13. İstinat Duvarları Konusunda Son Yetmiş Yılda Yapılan Bazı Çalışmalar

Teknik literatürde payandalı[40,41], konsol[23,24,42,43,44], ağırlık[3,6,7], donatılı zemin [45,46,47], ankrajlı [48,], kafes [1,19], öngerilmeli beton istinat duvarlarının hesap ve inşaa tekniklerini [17,19] içeren bir takım çalışmalar mevcuttur.

Seed ve Whitman [49], K_{at} 'nin düşey ivmesinin sıfır olduğu durumdaki değerlerini araştırmışlar ve sonuç olarak basit lineer bir yaklaşımı önermişlerdir.

$$K_{at}=K_{as}+0.75C_h \quad (113)$$

Bu denklem pratik durumlardaki C_h değerleri için geçerli olmaktadır.

Prakash ve Basavanna [50], Steedman ve Whitman yaklaşımına bazı ilave tahminler yaparak bileşke kuvvet yüksekliğini tahmin etmişlerdir. İtkinin dinamik bileşkesinin yeri için üst limit; dolgunun üniform ve elastik kabulünden belirlenmektedir.

Seed ve Whitman [9], çeşitli sonuçları inceledikten sonra dinamik itki için $0.6H$ yüksekliğini önermişlerdir.

Sherif ve Frank [91], deneylerinde dolguyu tabandan sarsarken duvarı da kontrollü bir şekilde dışa doğru yavaşça hareket ettirmişlerdir. Sonuç olarak sallanma sırasında bileşke kuvvet yüksekliğinin yukarı doğru hareket ettiğini ve $0.45H$ yüksekliğine ulaştığını bulmuşlardır. Burada bütün dolguda ivme aynı ve duvar hareketi tüm kayma direncini

oluşturacak şekildedir. Buna benzer olarak pasif basınçların da oluşturulabileceğini, maksimum itkinin taban ivmesinin dolgudan dışarı doğru hareket ettirilmesi ile oluştuğu ve bu itkinin taban ivmesinin artması ile azaldığını da göstermişlerdir.

Wood [52], elastik teoriyi kullanmış ve malzeme özelliklerinin derinlikle sabit olduğunu kabul ederek dinamik itkinin yaklaşık $\gamma \cdot H^2 \cdot a/g$ değerine eşit olduğunu bulmuştur. Wood bileşke itkinin yüksekliğini tabandan 0,63H yukarda ve zemin basıncının değişimini ise yaklaşık olarak parabolik olarak belirtmiştir.

Nadim [53], sonlu elemanlarla yaptığı ve zemin elastisite modülünün derinlikle artırdığı bir analizin de dinamik itkinin %5 ile %15 kadar küçük ve bileşke yüksekliğinin ise yaklaşık 0.5H kadar olduğu sonucuna varmıştır.

Yong [54], yaklaşık 0,5m yüksekliğinde bir duvarla sarsma tablası deneyleri yapmıştır. Bulduğu sonuçlar Wood'un teorisini desteklemektedir. Bu ölçülen kuvvetlerin Mononobe-Okabe denkleminin 2-3 katı olduğu gözlemlenmiştir.

Whitman ve Chirstian [55], su seddeleri boyunca kütle duvarların genelde gevşek dolgudaki sıvılaşıma yüzünden düşük performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Westergard [56], depremden dolayı bir duvara gelen su basınçlarının, sabit derinlikli sonsuz uzunluktaki rezervuarı tutan düşey duvara gelen dinamik basınçların bileşkesini,

$$P = \frac{7}{12} \cdot C_h \cdot \gamma_w \cdot H^2 \quad (114)$$

olarak tanımlamıştır. Bu denklem ayrıca doygun dolgulu duvarlara gelen dinamik boşluk suyu basıncının etkisinin tahmin edilmesi için de kullanılmıştır.

Steedman ve Zeng [26], dolgunun permeabilitesi düşükçe efektif basınçların hesaplanmasının zorlaştığını ve bundan dolayı sıvılaşımanın oluşabileceğini söylemişlerdir. Bu durum dolgu zemini kaba kumlu olduğunda geçerli olmaktadır.

Lai [5,57], eğilmesiz kayma durumuna göre boyutlandırılmış ve bir kum tabaka üzerine oturtulmuş bir duvarı sarsma tablası deneyine tabi tutmuştur. Deney sonunda kaymanın adımlar halinde olduğunu ve duvarın üst noktasındaki en büyük ivmenin sarsma masası ivmesinden daha küçük olduğunu gözlemlemiştir.

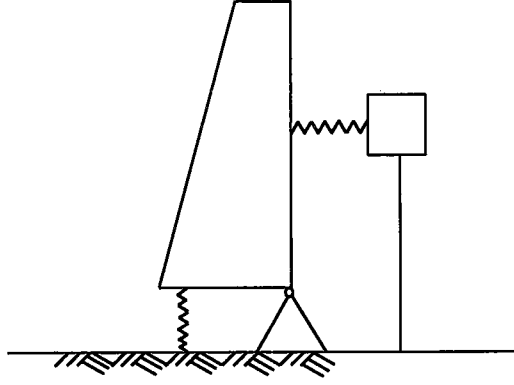
Steedman [28], oldukça sıkı bir kum kullanarak, kayan bir duvarın santrifüj model deneylerini yapmıştır. Bu deneylerle dolgunun iç sürtünme açısının azalmasının kayma üzerindeki etkisini araştırmıştır.

Bir istinat duvarı depremde dışa doğru hareket ederse, dolgu kaması sadece dışa doğru hareketle kalmayıp aynı zamanda kinematik şartları sağlamak için aşağı doğru da hareket etmektedir.

Zerabi [58], kinematik şartların sağlanmasının, yani ani kayma ile taban ivmesi sıfır olsa bile kamanın düşey ivmesinin oluşması, etkilerini araştırmış ve ivmenin düşey bileşenin ihmal edilmesi durumunda dinamik etkinin oldukça aşırı değerde hesaplanacağını ortaya koymuştur.

Nadim[53], Coulomb kama düzlemlerinin dolgu tarafından yüzeye doğru paralel bir şekilde uzandığını kabul eden ve geleneksel rijit-plastik kabulüne bağlı kalan bir model kullanmıştır. Nadim'in çalışmasının ana sonucu yatay bileşke kuvvetin duvarın alttan 1/3 noktasının altına düştüğü anda sallanırken değiştiğini vurgulamaktadır.

Whitman [59], çok basit fazlanma olgusunu araştırmak ve anlamak için Şekil 55'deki sistemi kullanmıştır. Sağdaki kütle ve yay dolgunun dinamik davranışını temsil etmekte, soldaki yay duvarın dönmeye karşı direncini sağlamakta ve kütleler arasındaki yay ise dolgu-duvar etkileşimini yansıtmaktadır. Burada etkileşim yayındaki kuvvet, ivme dolgudan dışa doğru iken maksimum ve ivme dolguya doğru iken minimum olmaktadır. Bu durum ise Mononobe-Okabe sonuçlarının tam tersidir.



Şekil 55. Whitman deney modeli

Yong [54], rijit duvarlarla yaptığı deneylerde sarsıntı öncesi durgun halde sükunetteki zemin basıncı katsayısını $K_0 = 0,41$ bulmuş olmasına rağmen gevşek kumun tekrarlı sallanmasında bu değer 0,74 ve sıkı kumun sarsılmasında ise 0,89'a çıktığını göstermiştir.

Andersen [60], sallanma sırasında kalıcı kuvvetlerin yaklaşık olarak maksimum kuvvetler kadar büyük olduğunu bulmuştur.

Nadim ve Whitman [61], duvar tabanı için kaymaya karşı sınırlı bir sürtünme direnci ile birlikte moment dönme ilişkisinden bir göçme noktası da kabul ederek kayma ve eğilmenin ikisinin birden herhangi bir problemde önemli olduğu sonucuna varmışlardır.

Lia ve Dig [57], kalıcı artımlarla ilgili olarak arazide (ankrajlı duvarlarla) gözlemler yapmışlardır. Sallanma ve vibrasyon olduğunda bu artımların beraberinde kumların sıkışmasını ve küçük asal gerilmenin arttığını söylemişlerdir.

Al Homoud [62], sonlu elemanlar yöntemini kullanarak bir analiz gerçekleştirmiştir. Buna göre istinat duvarını kum dolguyu tutacak ve bir kum tabakası üzerine oturacak şekilde modellemiştir. Çalışma sonunda aşağıdaki sonuçlara varmıştır.

- Duvardaki basıncın zamana bağlı değişimi duvarın alt ve üst kısımlarında farklı olmakta ve kalıcı basınçlar üst kısımda maksimum çıkmaktadır.
- Duvar tabanında moment dönme ilişkisi, tabanın moment kapasitesinin yaklaşık 1/3'üne kadar lineer kalmaktadır.

- c) Duvar tabanını en iç kısmında yükselme olur ise moment dönme ilişkisi kompleks hale gelmektedir.

Newmark [63], kayma için tasarımda yaygın olarak kullanılan bir yaklaşım önermiştir. Newmark yanal ivmeler bağlı olarak düzlem üzerinde bir bloğun kayma yerdeğiştirmesinin düzlem ve bloğun bağlantılı hızının tamamlanması ile hesaplanabileceğini belirtmiştir. Daha sonraları bu yaklaşım Richard ve Elms tarafından istinat duvarları için tasarımda gerekli olan ana prensip olarak genişletilmiştir.

Nadim ve Whitman [61], dolgunun şekil değiştirme özeliğini de hesaba katarak yaptıkları araştırmalarda sürekli duvar şekil değiştirmelerinin rijit-cisim kayması olarak düşünülmesi durumundakinden daha fazla olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu durum sarsma frekansı, dolguyu oluşturan tabakanın frekansına yaklaştıkça artan bir hata ile oluşmaktadır.

Cia ve Bathurst [46], sağlam temeller üzerinde yapılmış ve geosentetikle kuvvetlendirilmiş istinat duvarlarının sismik etki sebebi ile daimi yerdeğiştirmelerini hesaplamak için geleneksel yerdeğiştirmelerin uygulamalarını incelemişlerdir. Sonuç olarak güçlendirilmiş istinat duvarı kısmına ait 3,2m geosentetik yüksekliği boyunca tepki ivmelerin en yüksek değerlerinde genellikle değişmelerin küçük olduğunu sonlu elemanlar yöntemi ile de göstermişlerdir.

Zhao ve Chongbin [40,64], deprem sırasında payandalı istinat duvarlarının dinamik analizi için basit bir yöntem sunmuşlardır. İstinat duvarı arkasındaki dolgu malzemesinin durumuna ve düzlem gerilme kabulüne dayandırılan bu yöntemde dinamik analiz zemin-istinat duvarı etkileşimini de dikkate alarak ve sistemi çeşitli bölgelere ayırarak yapmışlardır. Bu yöntemin en büyük faydası payandalı istinat duvarının tepkisine etkisi olan bütün önemli faktörleri içine almasıdır. Sonlu elemanlar yöntemiyle SV ve P dalgaları altında payandalı istinat duvarının analizinden bazı sayısal sonuçlara dayanılarak duvar arkasındaki dolgu zeminin yüksek frekanslı dalgaya maruz kaldığında duvar üzerinde önemli etkiler doğurduğu ortaya koyulmuştur. Böylece dolgu zeminin mekanik uygunluğunun değişmesinin istinat duvarı projelerinin depreme göre tasarımında önem kazandığı ifade edilmiştir.

Steedman ve Zeng [27], rıhtım duvarı üzerindeki hidrodinamik basıncın etkisini araştırmışlardır. Bunlar zemin-duvar sisteminin rijitliğinin yüksek olması durumunda deniz yönü üzerindeki hidrodinamik basıncın Westergard çözümünün kullanılması ile bulunabileceğini göstermişlerdir.

Matsuzawa [65], duvarın esnek olması durumunda duvarın dolgu tarafı üzerindeki hidrodinamik basınçlarının hesaplanmasının daha da güçleşeceğini göstermiştir. Çünkü hidrodinamik basınç yalnızca yapı ile sıvının etkileşimine bağlı değil aynı zamanda zemin içindeki boşluklar arasındaki sıvının hareketine de bağlı olmaktadır. Burada hidrodinamik basıncın büyüklüğü zeminin permeabilitesine (geçirimsizliğine) bağlı olacağından, zemin iskeletinin ataletinin fonksiyonu olan dinamik zemin kuvvetinin de ilave edilmesi gereğini ortaya çıkarmıştır. Dinamik zemin kuvveti toplam birim ağırlık ve doygunluk ile orantılıdır. Bu durum önemli bir şekilde büyük bir sismik açı ve de sonuç olarak büyük bir yanal zemin basıncı katsayısı vermektedir.

Sınırlandırılmış durum için sismik açı;

$$\theta_r = \tan^{-1} \cdot \left[\frac{\gamma_d \cdot C_h}{\gamma_b \cdot (1 - C_v)} \right] \quad (115.a)$$

Serbest durum için sismik açı ;

$$\theta_f = \tan^{-1} \cdot \left[\frac{\gamma_d \cdot C_h}{\gamma_b \cdot (1 - C_v)} \right] \quad (115.b)$$

şeklindedir. Sonuç olarak $C_h=0.25$ için sınırlandırılmış durumdaki zemin basıncı serbest durumdakinden yaklaşık %40 daha büyük olmaktadır.

Whitman ve Ting [89], yaptıkları model deneyler hidrodinamik gözenek suyu basıncının etkilerini anlamak için önem sağlamaktadır.

Bolton [67], yaptığı deneylerde, sıkı kumlarda aktif durumların %90'ında duvar yüksekliğinin %0.1 kadar yerdeğiştirmeler elde etmiştir.

Steedman, Bolton ve Murph [68], duvarlar için düzlemsel kayma yüzeylerini model deneylerle incelemiş ve kayma kamalarının kinematığıne başvurmadan pürüzlü duvar ile zeminin denge şartından sağlanabileceğini deneylerinde göstermişlerdir.

İnagaki [69], görünen büyük daimi yerdeğıştirmeleri açıklamak için deprem sarsıntısı sırasında boşluk suyu basınçlarının fazlalığındaki artışın ilerlemesinden dolayı dayanımın düşmesi ve temel malzemelerinin rijitliğini incelemiştir.

Nadim [61], duvarların görünen hareketini, bu devrilme duvarlar için %50'den daha büyük, sadece kayma ile zorlanmış ve devrilme ile olandan %50'den daha büyük daimi yerdeğıştirmeyi önermiştir. Bununla birlikte bir ağırlık duvarında davranışın kritik modu duvarın dönmesidir. Bu durum Newmark'ın kayma mekanizmasını kullanmak suretiyle dönmeye ait yerdeğıştirmeyi hesaplamak için uygun olmamaktadır.

Scout [70], winker yayı-istinat duvarı sistemi kesme kirişini bir model ile temsil ederek, duvar- dolgu arasındaki etkileşimi tanımlamak ve deprem sırasında duvarı dinamik etkilerini araştırmak için kullanmıştır. Sonuç olarak duvar hareketinin etkisi, depremin sebep olduğu kuvvet ve momentin değerlendirilmesi için gerekli olduğunu ortaya koymuştur.

Chongbin, Zhao ve T.P.Xu [40,64], payandalı bir istinat duvarının sismik analizini sonlu elemanlar yöntemini kullanarak gerçekleştirmiştir. Bu çalışmadan çıkarılan sayısal sonuçları aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- a) Zemin rijitliğinin payandalı istinat duvarının deprem tepkileri üzerinde sınırlı etkisi olduğunu,
- b) Sonlu elemanlar yönteminin payandalı istinat duvarlarının depreme göre tasarımında çok uygun olduğunu,
- c) Düşey P deprem dalgasının payandalı istinat duvarlarının sismik tasarımı için çok önemli olduğunu,
- d) Gelen deprem dalgalarının tiplerinin payandalı istinat duvarı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu,
- e) Düşey SV ve P deprem dalgaları payandalı istinat duvarının yüksekliği boyunca yatay ivme yayılımının farklı modellere yol açacağını,

göstermiştir.

Neelakantan, Budhu-Muniram ve Richards [43], deprem yüklerine maruz kalan ankrajlı istinat duvarının stabilitesini kırılmanın önceden tahmin edilen bir modu için analiz etmişler ve bunu yaptıkları model deneylerin sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda pasif kenar üzerindeki duvar sürtünmesinin deprem yükleri altında eğilen istinat duvarlarının stabilizesini önemli bir şekilde artırdığını ortaya koymuşlardır. Böylece kuru kohezyonsuz zeminlerle desteklenmiş eğilen istinat duvarları deprem sırasında çok iyi performans göstermektedir. Bununla birlikte ϕ 'nin değerinin her artımı için sistemin geometrisindeki değişim gözlemlenememiştir.

Steedman [71], C_1 yapı-zemin etkileşimi sabitini boyutsuz olarak incelemiştir.

1.14. Bu Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın temel amacı betonarme istinat duvarları konusunda bir sentez çalışması hazırlamak suretiyle yerli, yabancı kaynaklarda dağınık ve çoğu zaman yetersiz durumdaki bilgileri birleştirerek pratikte çalışan teknik elemanlara uygulamalarda kullanabilecekleri bir kaynak oluşturmak, diğer taraftan deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarının Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğine uygun olarak bilgisayar yardımıyla projelendirilmeleri için bir program geliştirmekten ibarettir (EK-A). Bu amaçla ilgili yönetmeliğe uygun olarak örnek bir analitik çözüm verilmekte, elde edilen sonuçla sonlu elemanlar yöntemiyle dinamik davranışların karşılaştırmalı olarak incelenmesini içermektedir.

Bu amaçla gerçekleştirilen çalışma üç asıl ve bir ek bölüm olmak üzere toplam dört bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölüm giriş bölümü olup, istinat duvarları hakkında genel bilgileri içermektedir. Bu bilgileri takiben bu duvarların çeşitli analitik yöntemlerle hesap esasları üzerinde durulmaktadır.

İkinci bölümde birinci bölümdeki bilgiler ışığı altında betonarme istinat duvarların sayısal çözümlerini ve elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak irdelenmesini içermektedir.

Çalışmanın bütününden çıkartılan bazı sonuç ve öneriler üçüncü bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar listesiyle betonarme konsol istinat duvarların Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe uygun olarak pratik deprem hesabı için geliştirilen bir bilgisayar programının verildiği ek bölüm izlemektedir.

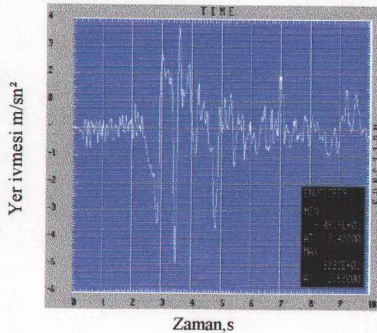


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR ve İRDELEMELER

2.1. Giriş

Bu başlık altında deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarının bilgisayar yardımıyla projelendirilmesi üzerinde durulmaktadır. Bunun için bugün yürürlükte bulunan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe (ABYYHY) göre konsol istinat duvarlarının deprem hesabını yapan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilmiş olan bu programın listesi Ek-A'da verilmektedir. Programın doğruluğu, teknik literatürde çözümlü yapılmış olan istinat duvarlarını ve bu çalışmada verilen elle çözümlü yapılmış olan duvarını bu programla çözüp, sonuçların karşılaştırılması suretiyle gösterilmiştir. Burada geliştirilmiş olan programla elde edilen sonuçların Yapısal Analiz Programıyla (SAP90) elde edilenlerle de karşılaştırıldığı belirtilmelidir. Söz konusu sayısal uygulamalara konu olan istinat duvarının depreme göre yapısal çözümlerinde 13 Mart 1992 Erzincan depremi dikkate alınmaktadır. Bu depremin özellikleri ve meydana getirdiği hasarların mühendislik açısından değerlendirilmesine ilişkin ayrıntılı bilgiler teknik literatürde mevcuttur [72,73,74,75,76].

Erzincan (1992) depreminin doğu-batı doğrultusundaki ivme kaydı Şekil 56'da verilmektedir. Bu şekilden maksimum yer ivmesinin 3,48 saniyede $4,92\text{m/sn}^2$ ($\approx 0,5g$) olarak meydana geldiği görülmektedir.



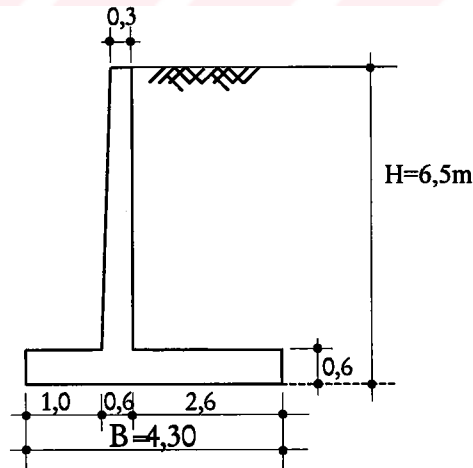
Şekil 56. Erzincan depreminin doğu-batı doğrultusundaki yer ivmesi bileşen kaydı

Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal uygulama ve karşılaştırmalar aşağıda verilmektedir.

2.2. Sayısal Uygulama I

Bu sayısal uygulamaya konu olan istinat duvarı Şekil 57’de verilmektedir. Duvarın elverişsiz durumlar dikkate alınmak suretiyle gerçekleştirilecek yapısal çözümlenmesinde dolgu zemininin birim ağırlığı $\gamma = 1,8t/m^3$, iç sürtünme açısı $\varphi = 30^0$, kohezyon $c=0$, elastisite modülü $E=3500t/m^2$ ve Poisson oranı $\nu = 0,4$ olan kum ve çakıl, taban zeminin ise sürtünme katsayısı $\mu_s = 0,55$ siltli-kum olduğu, duvarın 1.derece deprem bölgesinde inşa edileceği, inşasında malzeme olarak C25-S220 kullanılacağı, betonarmenin birim ağırlığının $\gamma_c = 2,5t/m^3$, elastisite modülünün $E=2,6 \times 10^6 t/m^2$, Poisson oranının $\nu=0,2$ olduğu ve pasif itkinin ihmal edileceği kabul edilmektedir.

1) İstinat Duvarının ABYYHY’e Göre Elle Deprem Hesabı



Şekil 57. Sayısal uygulama I konu olan istinat duvarı ön boyutları

Statik Durumda Oluşan Zemin İtkisi ve Stabilite Denetimleri

$\delta = 0$, $\alpha = 90^{\circ}$, $i = 0$ olduğundan

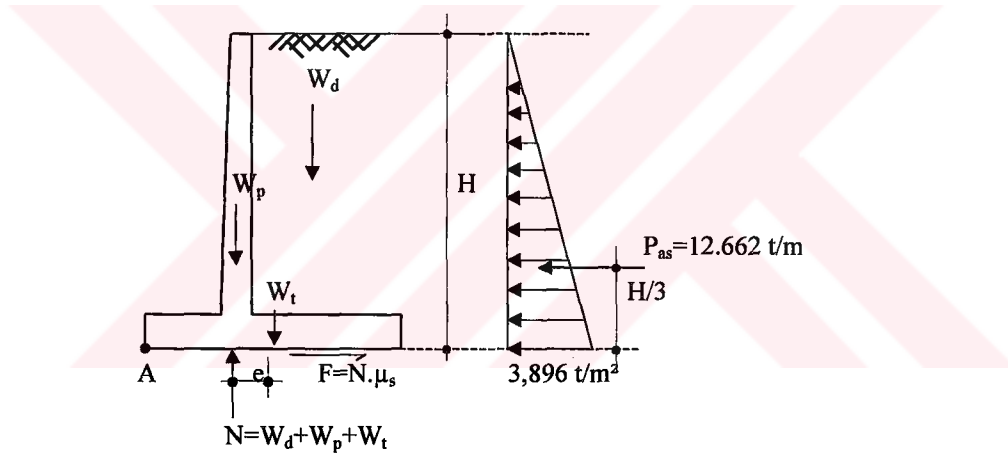
$$K_{as} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \rightarrow K_{as} = \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{30}{2} \right) = 0,333$$

$$P_{as}(0) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} \rightarrow P_{as} = 0 \text{ t/m}^2$$

$$P_{as}(5,85) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} \rightarrow P_{as} = 1,8 \cdot 5,85 \cdot 0,333 = 3,506 \text{ t/m}^2$$

$$P_{as}(6,5) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} \rightarrow P_{as} = 1,8 \cdot 6,5 \cdot 0,333 = 3,896 \text{ t/m}^2$$

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \rightarrow P_{as} = \frac{1}{2} \cdot 1,8 \cdot 6,5^2 \cdot 0,333 = 12,662 \text{ t/m}$$



Şekil 58. İstinat duvarına ekti eden statik kuvvetler

Düşey yükler		Ağırlık (t/m)	A noktasına mesafesi (m)	Koruyucu moment (M _k)
W _p	W ₁	0,30.5,85.2,5 = 4,388	1,5	6,582
	W ₂	$\frac{0,35 \cdot 5,85}{2} \cdot 2,5 = 2,559$	1,233	3,156
	W _t	4,3.0,65.2,5 = 6,988	2,15	15,024
	W _d	2,65.5,85.1,8 = 27,905	2,975	83,017
	ΣW	41,84		ΣM _k = 107,779

***Kayma Denetimi**

$$N = \Sigma W = W_1 + W_2 + W_l + W_d = 41,84 \text{ t}$$

$$\Sigma P_{ah} = P_{as} \rightarrow \Sigma P_{ah} = 12,662 \text{ t / m}$$

$$G_s = \frac{\mu_s \cdot N}{\Sigma P_{ah}} \rightarrow G_s = \frac{41,84 \cdot 0,55}{12,662} = 1,82 > 1,5$$

olduğundan kayma emniyeti sağlanmaktadır.

***Devrilme Denetimi**

A noktasına göre toplam devirici moment

$$\Sigma M_D = P_{as} \cdot \frac{H}{3} \rightarrow \Sigma M_D = 12,662 \cdot \frac{6,5}{3} = 27,434 \text{ t/m}$$

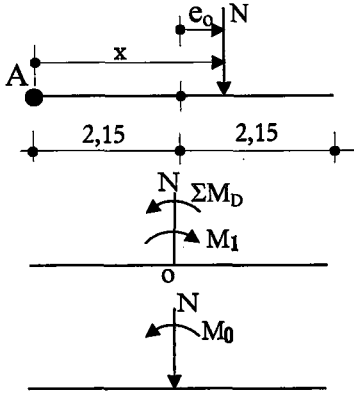
dır. Buna göre

$$G_s = \frac{\Sigma M_k}{\Sigma M_D} \rightarrow G_s = \frac{107,779}{27,434} = 3,93 > 1,5$$

olduğunda devrilme emniyeti sağlanmaktadır.

***Taban Basıncı Gerilmeleri Denetimi**

Düşey kuvvetlerin bileşkesinin (N), A noktasına uzaklığının belirlenmesi için bileşkenin herhangi bir noktaya göre momentinin, bileşenlerin aynı noktaya göre momentlerinin toplamına eşit olması ilkesinden yararlanılmaktadır. Buna göre N'nin A noktasına uzaklığı x ,



$$N \cdot x = M_k \Rightarrow x = \frac{M_k}{N} \rightarrow x = \frac{107,779}{41,84} = 2,58 \text{ m}$$

$$e_o = 2,58 - 2,15 = 0,43 \text{ m}$$

$$M_1 = N \cdot e_o \rightarrow M_1 = 0,43 \cdot 41,84 = 17,991 \text{ tm}$$

Buna göre bütün kuvvetlerin tabanın orta noktasına göre (0) momentleri

$$M_o = \Sigma M_D - M_1 \rightarrow M_o = 27,434 - 17,991 = 9,443 \text{ tm}$$

$$e = \frac{M_o}{N} \rightarrow e = \frac{9,443}{41,84} = 0,23 < \frac{B}{6} = \frac{4,3}{6} = 0,72 \text{ m}$$

olduğundan dış merkezlik küçüktür.

$$\sigma_{maks, min} = \frac{N}{A} \mp \frac{M_o}{W}$$

$$\sigma_{maks} = \frac{41,84}{4,3 \cdot 1} + \frac{9,443 \cdot 6}{4,3^2 \cdot 1} = 12,79 \text{ t/m}^2 < \sigma_{zem} = 30 \text{ t/m}^2$$

$$\sigma_{min} = \frac{41,84}{4,3 \cdot 1} - \frac{9,443 \cdot 6}{4,3^2 \cdot 1} = 6,666 \text{ t/m}^2 > 0$$

olduklarından duvar taban basıncı yönünden de emniyet sağlamaktadır.

Deprem Durumda Oluşan Zemin İtkisi ve Stabilité Denetimleri

1. Deprem Bölgesi için Tablo 2'den etkin yer ivmesi katsayısı $A_o = 0,40$ ve yapı önem katsayısı $I = 1,0$ alınır. Buna göre yatay eşdeğer deprem katsayısı

$$C_h = 0,2 \cdot (I_o + 1) \cdot A_o \rightarrow C_h = 0,2 \cdot (1 + 1) \cdot 0,4 = 0,16$$

ve düşey eşdeğer deprem katsayısı

$$C_v = \frac{2 \cdot C_h}{3} \rightarrow C_v = \frac{2 \cdot 0,16}{3} = 0,107$$

ve bunlara göre

$$\lambda = \arctan \left[\frac{C_h}{1 \pm C_v} \right] \rightarrow \lambda = \arctan \left[\frac{0,16}{1 \pm 0,107} \right] \rightarrow \lambda = 8,22^\circ \text{ ve } \lambda = 10,16^\circ$$

olarak hesaplanır. İstinat duvarının dolgu yüzünde sadece aktif zemin basıncının oluşacağı kabul edilirse toplam aktif basınç katsayısı

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

$$K_{at} = \frac{(1 + 0,107) \cdot \cos^2(30 - 8,22)}{\cos(8,22) \cdot \cos^2(0) \cdot \cos(8,22) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30 + 0) \cdot \sin(30 - 8,22 - 0)}{\cos(8,22) \cdot \cos(0)}} \right]^2} = 0,475$$

$$K_{at} = \frac{(1 - 0,107) \cdot \cos^2(30 - 10,16)}{\cos(10,16) \cdot \cos^2(0) \cdot \cos(10,16) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(30) \cdot \sin(30 - 10,16)}{\cos(10,16) \cdot \cos(0)}} \right]^2} = 0,407$$

olarak hesaplanır. Bunların elverişsiz olanı $K_{at} = 0,475$ dir. Buna göre,

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \rightarrow K_{ad} = 0,475 - 0,333 = 0,142$$

olarak bulunur.

$$E_a = 3 \cdot \left(1 - \frac{z}{H} \right) \cdot K_{ad}$$

olduğundan $z = 0$ için $E_a = 0,426$, $z = 3,25$ için $E_a = 3 \cdot \left(1 - \frac{3,25}{6,5}\right) \cdot 0,142 = 0,213$ ve

$z = 6,5$ için $E_a = 0$ olarak hesaplanır. Buna göre

$$z = 0 \quad \text{için} \quad P_{ad}(z) = \gamma \cdot z \cdot E_a \rightarrow P_{ad}(z) = 0$$

$$z = 3,25m \quad \text{için} \quad P_{ad}(z) = \gamma \cdot z \cdot E_a \rightarrow P_{ad}(z) = 1,8 \cdot 3,25 \cdot 0,213 = 1,246 \text{ t/m}^2$$

$$z = 6,5m \quad \text{için} \quad P_{ad}(z) = \gamma \cdot z \cdot E_a \rightarrow P_{ad}(z) = 0$$

bulunur. Buna göre bileşke kuvvet

$$P_{ad} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot K_{ad} \rightarrow P_{ad} = \frac{1,8 \cdot 6,5^2}{2} \cdot 0,142 = 5,4 \text{ t/m}$$

olarak hesaplanır.

Gövdenin ağırlığından dolayı meydana gelen deprem kuvveti

$$E = C_h \cdot W_p \rightarrow E = 0,16 \cdot \left(\frac{0,30 + 0,65}{2} \cdot 5,85 \cdot 2,5 \right) = 1,112 \text{ t/m} \text{ dır. Buna göre}$$

$$E = \frac{d_e \cdot h_p}{2} \rightarrow d_e = \frac{2E}{h_p} \rightarrow d_e = \frac{2 \cdot 1,112}{5,85} = 0,38 \text{ t/m}^2$$

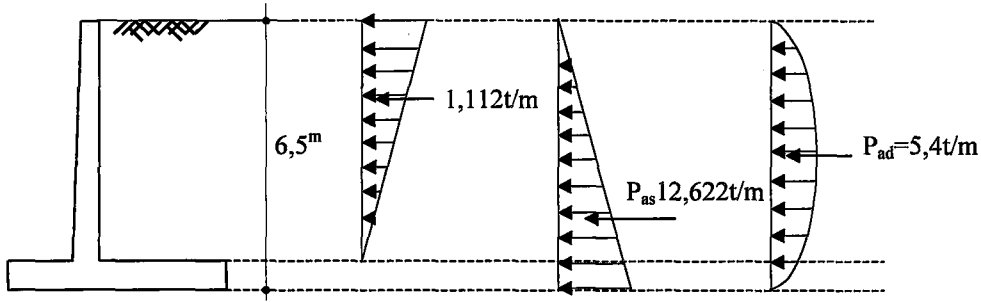
değerini alır.

Duvar Ağırlığının İhmal Edilip Edilmemesine Göre Stabilite Denetimleri

I) Duvar Ağırlığının İhmal Edilmesi Durumu

***Kayma Denetimi**

$$\Sigma P_{(ah)d} = P_{ad} + P_{as} = 5,4 + 12,662 = 18,062 \text{ ton}$$



Şekil 59 . İstinat duvarına etki eden statik ve dinamik kuvvetler

$$G_s = \frac{N \cdot \mu_s}{\Sigma P_{(ah)d}} \rightarrow G_s = \frac{41,84 \cdot 0,55}{18,062} = 1,27 > 1,1$$

olduğundan kayma denetimi sağlanmıştır.

*Devrilme Denetimi

$$\Sigma M_{(D)d} = 27,434 + 3,25 \cdot 5,4 = 44,984 \text{tm}$$

$$G_s = \frac{\Sigma M_k}{\Sigma M_{(D)d}} \rightarrow G_s = \frac{107,779}{44,984} = 2,4 > 1,3$$

olduğundan devrilme denetimi sağlanmıştır.

*Taban Basınç Gerilmeleri Denetimi

$$M_o = \Sigma M_{(D)d} - M_1 \rightarrow M_o = 44,984 - 17,991 = 26,993 \text{tm}$$

$$e = \frac{M_o}{N} \rightarrow e = \frac{26,993}{41,84} = 0,65 \text{m} < \frac{B}{6} = 0,72$$

olduğundan dış merkezlilik küçüktür.

$$\sigma_{maks} = \frac{41,84}{4,3 \cdot 1} + \frac{26,993 \cdot 6}{4,3^2 \cdot 1} = 18,5 \text{t/m}^2 < \sigma_{zem} = 30 \text{t/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = \frac{41,84}{4,3 \cdot 1} - \frac{26,993 \cdot 6}{4,3^2 \cdot 1} = 0,97 \text{ t/m}^2 > 0$$

olduğundan duvar taban basıncı yönünden de emniyet sağlamıştır.

II) Duvar Ağırlığının İhmal Edilmemesi Durumu

***Kayma Denetimi**

$$\Sigma P_{(ah)d} = 18,062 + 1,112 = 19,174 \text{ ton}$$

$$G_s = \frac{N \cdot M_s}{\Sigma P_{(ah)d}} \rightarrow G_s = \frac{41,84 \cdot 0,55}{19,174} = 1,2 > 1,1$$

olduğundan kayma denetimi sağlanmıştır.

***Devrilme Denetimi**

$$\Sigma M_{(D)d} = 44,984 + 1,112 \cdot \left(0,65 + \frac{2}{3} \cdot 5,85 \right) = 50,044 \text{ tm}$$

$$G_s = \frac{\Sigma M_k}{\Sigma M_{(D)d}} \rightarrow G_s = \frac{107,779}{50,044} = 2,15 > 1,3$$

olduğundan devrilme denetim sağlanmıştır.

***Taban Basıncı Gerilmeleri Denetimi**

$$M_o = M_{(D)d} - M_1 \rightarrow M_o = 50,044 - 17,991 = 32,053 \text{ tm}$$

$$e = \frac{M_o}{N} \rightarrow e = \frac{32,053}{41,84} = 0,77 > \frac{B}{6} = 0,72$$

Bu sayısal uygulamadan görüldüğü gibi duvar ağırlığının ihmal edilmemesi durumunda taban basınçları yönünden duvarın emniyeti sağlanmamaktadır. Oysa ABYYHY göre konsol istinat duvarlarında kendi ağırlığından meydana gelen deprem kuvvetlerinin ihmal edileceği belirtilmektedir [38].

2) İstinat Duvarının ABYYHY'e Göre Geliştirilmiş Bilgisayar Programı Yardımıyla Deprem Hesabı

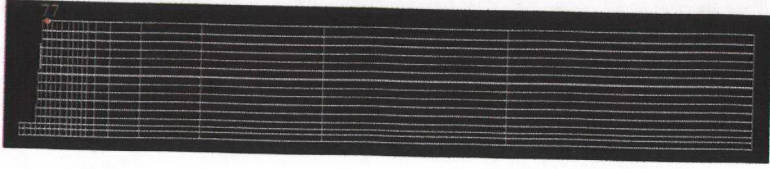
Sayısal uygulama I'e konu olan betonarme konsol istinat duvarının çözümlenmesi geliştirilmiş olan program yardımıyla yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Statik zemin itkisi (P_{as})	=12,675t/m
Depremsiz durumda kaymaya karşı güvenlik (GS).....	=1,815494
Depremsiz durumda devrilmeye karşı güvenlik (GS).....	=3,92451
Depremsiz durumda maksimum taban gerilmesi (σ_{maks}).....	=12,8579t/m ²
Depremsiz durumda minimum taban gerilmesi (σ_{min}).....	=6,60203t/m ²
Dinamik zemin itkisi (P_{ad})	=5,369957t/m
Gövde ağırlığından oluşan deprem itkisi (E).....	=1,1115t/m
Depremlili durumda kaymaya karşı güvenlik (GS)	=1,201234
Depremlili durumda devrilmeye karşı güvenlik (GS).....	=2,188375
Depremlili durumda maksimum taban gerilmesi (σ_{maks}).....	=19,9278t/m ²
Depremlili durumda minimum taban gerilmesi (σ_{min}).....	=-0,4679t/m ²
Duvar deplasmanı (d)	=1,865cm

Bu sonuçlardan, elle yapılan deprem hesabının geliştirilmiş olan program yardımıyla yapılanlarla hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bu çok küçük farklar ise hesaplamalardaki yuvarlatma hatalarından meydana gelmektedir.

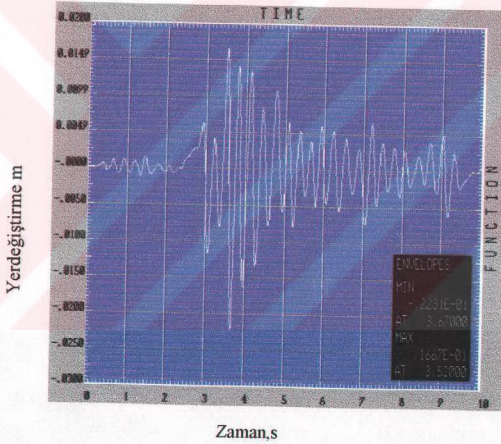
3) İstinat Duvarının Yapısal Analiz Programı (SAP90) Kullanılarak Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Deprem Hesabı

Bu uygulamada Şekil 57'de verilen istinat duvarı dikkate alınmaktadır. Bu duvar ve zemin için kullanılan sonlu elemanlar modeli ise Şekil 60'da verilmektedir.



Şekil 60. İstinat duvarının sonlu elemanlar yöntemiyle yapısal çözümlemesinde kullanılan sonlu elemanlar ağı

Sonlu elemanlar yöntemiyle, adım adım integrasyon tekniğini kullanmak suretiyle, deprem süresince herhangi bir düğüm noktasında meydana gelen maksimum yerdeğiştirmeyi de belirlemek mümkün olmaktadır (Şekil61).



Şekil 61. Sonlu elemanlar ağının (bkz. Şekil 60) 77 nolu düğüm noktasının deprem süresince yerdeğişimi

Bu şekilden yerdeğiştirmenin deprem süresince değişimi, yer hareket ivmesinin değişimine (akselograma) benzediği, sözkonusu düğüm noktasındaki maksimum yerdeğiştirmenin (2,23cm) deprem ivme kaydının maksimum olduğu 3,48.s civarında meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca diğer taraftan yapısal çözümleme programıyla

(SAP90) tüm elemanlardaki gerilme dağılımı grafik olarak gözlemlenebildiğinden kritik kesitlere kolaylıkla karar verilebilmektedir (Şekil 62).



Şekil 62. İstinat duvarında sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen gerilme dağılımı

2.3. Sayısal Uygulama II

Bu sayısal uygulamada kaynak 19'da, sayfa 144'de verilen, istinat duvarı verileri, geliştirilmiş olan program yardımıyla çözümlenmekte ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

Statik zemin itkisi (ΣP_{ah})	=17,03333t/m
Depremsiz durumda kaymaya karşı güvenlik (GS).....	=1,76548
Depremsiz durumda devrilmeye karşı güvenlik (GS).....	=8,265721
Depremsiz durumda maksimum taban gerilmesi (σ_{maks}).....	=12,6356t/m ²
Depremsiz durumda minimum taban gerilmesi (σ_{min}).....	=10,586t/m ²
Dinamik zemin itkisi (P_{ad})	=4,557567t/m
Gövde ağırlığından oluşan deprem itkisi (E).....	=0,87552t/m
Depremlı durumda kaymaya karşı güvenlik (GS)	=1,296775
Depremlı durumda devrilmeye karşı güvenlik (GS).....	=5,35662
Depremlı durumda maksimum taban gerilmesi (σ_{maks}).....	=15,1626t/m ²
Depremlı durumda minimum taban gerilmesi (σ_{min}).....	=8,05901t/m ²

Bu sonuçlara göre de konsol istinat duvarlarının deprem hesabı için geliştirilmiş olan bilgisayar programı doğru sonuçlar vermektedir.

3. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı bir taraftan betonarme istinat duvarları konusunda bir sentez çalışması hazırlamak suretiyle yerli, yabancı kaynaklarda dağınık ve çoğu zaman yetersiz durumdaki bilgileri birleştirerek pratikte çalışan teknik elemanlara uygulamalarda kullanabilecekleri bir kaynak oluşturmak, diğer taraftan deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarlarının Türkiye Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe uygun olarak bilgisayar yardımıyla projelendirilmeleri için bir program geliştirmektir. Bu amaçla çalışmanın birinci bölümünde istinat duvarları ve bu duvarlara etkiyen basınçların hesabına ilişkin bir sentez çalışmasıyla Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik kayıtlarını içeren genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde deprem bölgelerindeki betonarme istinat duvarların analitik ve sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar yardımıyla projelendirilmesine ilişkin geliştirilen bir program verilmiş ve bu programla çeşitli sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Bu çalışmanın tümünden çıkartılabilecek bazı sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmektedir.

- 1) Özel mühendislik yapılarından olan betonarme istinat duvarlarında meydana gelen olaylar basit bir bağıntı ve yorumlarla çözümlenebilecek nitelikte değildir. Tüm yapılarda olduğu gibi bunların projelendirilmesinde de deprem yüklerinin dikkate alınması gerekmektedir.
- 2) Bu çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan , 1.derece deprem bölgelerinde de inşa edilen, istinat duvarlarında yatay eşdeğer deprem katsayısının en az 0,16 alınması duvarın emniyeti yönünden kaçınılmaz olduğu gibi duvar gövdesinde oluşan atalet kuvvetlerinin dikkate alınması da kaçınılmaz olmaktadır.
- 3) Aktif deprem bölgelerinde inşa edilecek betonarme istinat duvarlarının bilgisayarla hesabı için, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe uygun olarak bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Geliştirilen

bu program bu çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan istinat duvarları için doğru sonuç vermektedir.

- 4) Bu çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan istinat duvarlarının yapısal çözümlemesinde geliştirilmiş olan program ve yapısal analiz programı (SAP90) yakın sonuçlar vermektedir. Her iki yöneme göre hesaplanan maksimum basınçlar da duvar ortası civarında meydana gelmektedir.

Özetle, bu çalışmada bir sentez çalışması ışığında Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmeliğe uygun olarak deprem bölgelerinde inşa edilecek betonarme istinat duvarlarının projelendirilmesinde kullanılabilecek bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve bu çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan istinat duvarları yapısal çözümlemelerinde doğru sonuçlar verdiği gösterilmiş bulunmaktadır. Ancak, elde edilen sonuçlar hiçbir zaman istinat duvarı etkilerini karakterize eden parametrelerden bağımsız olmadığından bu sonuçların çalışmanın sayısal uygulamalarına konu olan istinat duvarları için geçerli olduğunu bunları tüm duvarlara genelleştirebilmek için istinat duvarları üzerinde daha çok sayıda etkileşimleri de dikkate alan teorik ve deneysel çalışmaların yapılmasının ve elde edilen sonuçların birlikte değerlendirilmesinin zorunlu olduğu da belirtilmelidir.

4. KAYNAKLAR

1. Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, KTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Trabzon, 2, 1992, 730-778.
2. Okabe, S., General Theory of Earth Pressures, J. Japan Soc. Of Civil Engg., 12, 1(1926).
3. Crespellani, T., Madiari, C., Vannucchi, G., Earthquake Destructiveness Potential Factor and Permanent Displacements of Gravity Retaining Walls, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 124-133.
4. Danay, A., Adeghe, LN., Seismic-Induced Slip of Concrete Gravity Dams, Journal-of-Structural-Engineering, 119, 1 (1993) 108-129.
5. Iai, S., Ichii, K., Excess Pore Water Pressures Behind Quay Walls, Observations-and-Modeling-in-Numerical-Analysis-and-Model-Tests-in-Dynamic-Soil-Structure-Interaction-Problems-Geotechnical-Special-Publication, 64 (1997) 11-25.
6. Woodward, PK., Griffiths, DV., Comparison of the Pseudo-Static and Dynamic Behavior of Gravity Retaining Walls, Geotechnical-and-Geological-Engineering, 14, 4 (1996) 269-290.
7. Siddharthan, R., Ara, S., Norris, G., M., Simple Rigid Plastic Model for Seismic Tilting of Rigid Walls, Journal-of-Structural-Engineering, 118, 2 (1992) 469-487.
8. Millanes, F., J., Calzon, J., M., Automatic Evolutive Analysis of Complex Composite Bridges and Systems, Journal-of-Structural-Engineering, 115, 10 (1989) 2548-2565.
9. Seed, H., B., Whitman, R., V., Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads. ASCE Special Conf.-Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, Cornell, (1970), 103-147
10. Aka, İ., Keskinel, F., Arda, S., T., Betonarme Yapı Elemanları, Sekizinci Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1996.
11. Özden, K., Betonarme İstinat Duvarları, İTÜ İnşaat Fakültesi Yayını, 1971.

12. Standart For Aseismic Civil Engineering Constructions, Japan, 1980.
13. İstinat Duvarları, DSİ Teknik Kılavuzu, Ankara, 1977.
14. Durmuş, A., Betonarme Ders Notları (Yayınlanmamış), KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1995.
15. Aytekin, M., Retaining Walls, Yüksek Lisans Ders Notları (Yayınlanmamış), KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1998.
16. TMMOB, İstinat Yapıları, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, İzmir, 1989/2.
17. Bowles, J., E., Foundation Analysis and Design, Third Edition, Mc Graw-Hill Book Company, 1982, 431-473.
18. Celep, Z., Kumbasar, N., Betonarme Yapılar, İkinci baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1998.
19. Özden, K., Eren, İ., Öztürk, T., Trupia, L., A., Betonarme İstinat Duvarları ve Perdeleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1995.
20. Uzuner, B., A., Temel Zemin Mekaniği, İkinci Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara, 1992.
21. Capper, L., P., Cassie, F., W., İnşaat Mühendisliğinde Zemin Mekaniği, KIP, F., Kumbasar, V., Dördüncü Baskı, Çağlayan Kitapevi, İstanbul, 1984.
22. Durmuş, A., Betonarme Yapıları Ders Notları (Yayınlanmamıştır), KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1996.
23. Day, R., W., Design and Construction of Cantilevered Retaining Walls, Practice-Periodical-on-Structural-Design-and-Construction, 2, 1 (1997) 16-21.
24. Veletsos, A., S., Younan, A., H., Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls, Journal-of-Geotechnical-and-Geoenvironmental-Engineering, 123, 2 (1997) 161-172.
25. Mononobe, N., Matsuo, H., On the Determination of Earth Pressures During Earthquakes, Proc. World Engg. Congress, 9 (1929),
26. Steedman, R., S., Zeng, X., The Influence of Phase on the Calculation of

Pseudo-Static Earth Pressure on the Retaining Wall, Rpt CUED/D-soils TR222, Engineering Dept., Cambridge Univ., UK, (1989).

27. Steedman, R., S., Zeng, X., The Seismic Response of Waterfront Retaining Walls, ASCE Specialty Conf. On Design and Construction of Earth Retaining Structures, Ithaca, NY, (1990).
28. Steedman, R., S., Modelling the Behavior of Retaining Walls in Earthquakes, PhD Thesis, Engineering Dept., Cambridge Univ., UK, (1984).
29. Steedman, R.S., Zeng, X., Rotation of Large Gravity Walls on Rigid Foundation Under Seismic Loading, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 38-56.
30. Zeng, X., Steedman, R., S., Data Report of Two Dynamic Centrifuge Model Tests on Free Cantilever Retaining Walls, Cambridge-Univ-Eng-Dep-Tech-Rep-CUED-D-Soils-TR, 202, (1987) 46.
31. Courant, R., Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibrations, Bulletin of the American Mathematical Society, 49 (1943) 1-23.
32. Colough, R.W., The Finite Element in Plane Stress Analysis Proceedings, 2nd. ASCE Conference on Electronic Computation, Pittsburgh, Pa, September 1960.
33. Cook, R.D., Malkus, D.S. and Plesha, M.E., Concepts and Applications of Finite Element Analysis, Third Edition, John Wiley & Sons, 1989.
34. Wilson, E., L., Habibullah, A., Structural Analysis Programs SAP90, Berkeley, California, 1992.
35. Steven, L. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering, 1996, 466-505.
36. Whitman, R., V., Liao, S., (1985), Seismic Design of Gravity Retaining Walls, US Army Engr. Waterways Experiment Sta., Misc. Paper GL-85-1.
37. Whitman, R., V., Liao, S., Seismic Design of Gravity Retaining Walls, Proc. 8th World Conf. On Earthquake Engineering, San Francisco, III, (1984), 533-540
38. ABYYHY, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, Ocak 1998.

39. TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan 1984.
40. Zhao, C., Xu, TP., Effects of Backfill Soils and Incident Wave Types on Seismic Response of a Reinforced Retaining Wall, Computers-and-Structures, 53, 1 (1994) 105-117.
41. Zhao, C., Valliapan, S., Dynamic Analysis of a Reinforced Retaining Walls Using Finite and Infinite Elements Coupled Method, Computers-and-Structures, 47, 2 (1993) 239-244.
42. Gantes, C., J., Kanellaidis, G., Kallivokas, D., Impact of Earthquakes on Cantilever Retaining Walls, Journal-of-Structural-Engineering, 115, 10 (1989) 2566-2578.
43. Neelakantan, G., Budhu, M., Richards, R., Jr., Mechanics and Performance of a Tied-Back Wall Under Seismic Loads, Earthquake-Eng-Struct-Dyn, 19, 3 (1990) 315-331.
44. Alampalli, S., Elgamal, A., W., In-Situ Dynamic Response of Cantilever Walls, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 57-76.
45. Siller, T., J., Frawley, D., D., Seismic Response of Multianchored Retaining Walls, Journal-of-Geotechnical-Engineering, 118, 11 (1992) 1787-1803.
46. Cai, Z., Bathurst, RJ., Seismic-Induced Permanent Displacement of Geosynthetic-reinforced Segmental Retaining Walls, Canadian-Geotechnical-Journal, 33, 6 (1996) 937-955.
47. Fishman, K., L., Desai, C., S., Sogge, R., L., Field Behavior of Instrumented Geogrid Soil Reinforced Wall, Journal-of-Geotechnical-Engineering, 119, 8 (1993) 1293-1307.
48. Siller, T., J., Dolly, M., O., Design of Tied-Back Walls for Seismic Loading, Journal-of-Geotechnical-Engineering, 118, 11 (1992) 1804-1821.
49. Seed, H., B., Whitman, R., V., Design of Earth Retaining Structures for Dynamic Loads, ASCE Specialty Conf. Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, (1970) 103-147.
50. Prakash, S., ve Basavanina, B. M., Earth Pressure Distribution Behind Retaining Wall During Earthquake, Proc., 4th World Conf. on Earthquake Engg, Santiago, Chile ,(1969).

51. Sherif, M., A., Frang, Y., S., Dynamic Earth Pressures on Walls Rotating about the top, Soils and Foundations, 24(4) , (1984) 109-117.
52. Wood, J., H., Earthquake-induced Soil Pressures on Structures Rpt. No. EERL 73-05, CIT Pasadena, CA, (1973).
53. Nadim, F., A Numerical Model for Evaluation of Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls, Sc. D. Res. Report R82-33, Dept. Of Civil Engg., MIT, Cambridge, MA, , (1982).
54. Yong, P., M., F., Dynamic Earth Pressures Against a Rigid Earth Retaining Wall, Central Laboratories Rpt. 5-8515, Ministry of Works and Development, Lower Hutt, New Zealand, (1985).
55. Whitman, R., V.; Christian, J., T., The Seismic Response of Retaining Structures, Symposium Seismic Design for World Port 2020, Port of Los Angeles, (1990).
56. Westergaard, Water Pressures on Dams During Earthquakes, Transactions, ASCE, 98, (1933) 418-472.
57. Lai, S., Matsunaga, Y., Urakami, T., Performance of Quay Walls During 1987 Chibaken-Toho-Oki Earthquake, Proc. Disc. Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th. Int. Conf. on Soil Mech. and Foundation Engg., Rio De Janerio, (1989) 63-66
58. Zarabi, K., Sliding of Gravity Retaining Wall During Earthquakes Considering Vertical Acceleration and Changing Inclination of Failure Surface, SM Thesis, Dept. Of Civil Engr., MIT, Cambridge, (1973).
59. Whitman, R. V., Seismic Desing of Gravitiy Retaining Walls, Proceedings International Conference Earthquake Resistant Desing and Construction, Berlin, (1989).
60. Andersen, G., V., Whitman, R., V., Response of Centrifuge Modeled Gravity Retaining Wall to Seismic Shaking, Description of Tests and Initial Analiysis of Results, Rpt. R87-14. MIT, Cambridge, (1987).
61. Nadim, F., Whitman, R., V., Couple Sliding and Tilting of Gravity Walls During Earthquakes, Proc. 8th World Conf. on Earthquake Engg., San Fransisco, III, (1984) 477-484

62. Al Homoud, A., Evaluating Tilt of Gravity Retaining Wall During Earthquakes, SCD Thesis, MIT, USA
63. Newmark, N., M., Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, Geotechnique, 15(2), (1965) 139-160.
64. Zhao, Chongbin, Valliappan, S., Dynamic Analysis of a Reinforced Retaining Wall Using Finite and Infinite Elements Coupled Method, Computers-and-Structures, 47, 2 (1993) 239-244.
65. Hazarika, H., Matsuzawa, H., Wall Displacement Modes Dependent Active Earth Pressure Analyses Using Smeared Shear Band Method with Two Bands, Computers-and-Geotechnics, 19, 3 (1996) 193-219.
66. Whitman, R.,V.,Ting, N.,H., In Experimental Results for Tilting Wall with Saturated Backfill. Arulanandan and Scott (eds). Proc. Conf. Verification of Numerical Procedures for the Analysis of Soil Liquefaction Problems, Balkema, 1994, 515-1528.
67. Bolton, M., D., Geotechnical Stress Analysis for Bridge Abutment Design. Contractor Report 270, Transport and Road research Laboratory, Crowthorne, Berks, 1991.
68. Bolton, M., D., Steedman, R., S., Behavior of Fixed Cantilever Walls Subject to Lateral Shaking, Publ-by-A.-A.-Balkema, Rotterdam, Neth and Boston, MA, USA, 301-313.
69. Inagaki, H., Iai, S., Sugano, T., Yamazaki, H., Inatomi, T., Performance of Caisson Type Walls at Kobe Port. Soils and Foundation, Special Issue, 1996, January, 119-136
70. Scott, R., F., Earthquake-induced Pressures on Retaining Walls, Proc. 5th. World Conf. On Earthquake Engg., Rome, Italy, (1973).
71. Steedman, RS., Seismic Design of Retaining Walls, Proceedings-of-the-Institution-of-Civil-Engineers,-Geotechnical-Engineering, 131, 1 (1998) 12-22.
72. Durmuş, A.,13 Mart 1992 Erzincan Depreminde Betonarme Yapıların Davranışlarının Değerlendirilmesi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler 1. Teknik Kongresi, Gazi Magusa-KKTC, 25-27 Ekim 1993, ODTÜ-DAÜ, Sayfa: 93-101.
73. Bayülke, N., 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Raporu, TC. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, Ankara, Haziran 1993, 285 Sayfa.

74. TMMOB, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Mühendislik Raporu, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi, Haziran 1992, Ankara.
75. TMMOB, 13 Mart 1992 Erzincan Depremi, İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, Mart 1993, İstanbul.
76. Durmuş, A., Deprem Mühendisliği, Yüksek Lisans Ders Notları (Yayınlanmamış), KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
77. Celep, Z., Kumbasar, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1993.
78. Richard, R., J., Elms, D., Seismic Behavior of Gravity Retaining Walls, Journal-of-Geotechnical-Engineering, Div. (asce) 105 (GT4), (1979) 449-464.
79. Celep, Z., Kumbasar, N., Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliğine Giriş, İkinci Baskı, Sema Matbaacılık, İstanbul, 1996.
80. Ersoy, U., Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Yöntemi, Evrim Kitapevi, İstanbul, 1987.
81. Doğançün, A., Dikdörtgen Kesitli Su Depolarının Sonlu Elamanlar Yöntemiyle Depo-Sıvı-Zemin Etkileşimini Dikkate Alarak Analitik Yöntemlerle Karşılaştırmalı Deprem Hesabı, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
82. Şahin, A., Deprem Yükleri Altındaki Kargir ve Betonarme İstinat Duvarlarının Riski ve Maliyet Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1994.
83. Malhotra, P., K., Dynamics of Seismic Impacts in Base-Isolated Buildings, Earthquake-Engineering- and-Structural-Dynamics, 26, 8 (1997) 797-813.
84. Das, BM., Puri, VK., Static and Dynamic Active Earth Pressure, Geotechnical-and-Geological-Engineering, 14, 4 (1996) 353-366.
85. Fang, Y., S., Chen, T., J., Modification of Mononobe-Okabe Theory, Geotechnique, 45, 1 (1995) 165-167.
86. Soni, K., M., Dynamic Active Earth Pressure of Cohesionless Soil, Indian-Geotech-J, 17, 1 (1987) 94-99.

87. Prakash, S., (Ed), Proceeding of the 1996 ASCE National Covention, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 133.
88. Wu, Y., Prakash, S., On Seismic Displacements of Rigid Retaining walls, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 21-37.
89. Veletsos, AS., Younan, AH., Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 19-20.
90. Wu, G., Liam, F., WD., Seismic Pressures Against Rigid Walls, Analysis-and-Design-of-Retaining-Structures-Against-Earthquakes-Geotechnical-Special-Publication, 60 (1996) 1-18.
91. Alampalli, S., Elgamal, A., WM., Dynamic Response of Variable Height Retaining Walls, Structural-Engineering-in-Natural-Hazards-Mitigation-Proc-Symp-Struct-Eng-Nat-Hazard-Mitigation, (1993) 1503-1508.
92. Alampalli, S., Elgamal, A., W., M., Dynamic Response of Variable Height Retaining Walls, Structural-Engineering-in-Natural-Hazards-Mitigation-Proc-Symp-Struct-Eng-Nat-Hazard-Mitigation, (1993) 1503-1508.
93. TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Kasım 1987.
94. Franklin, A., G., Chang., Earthquake Resistance of Earth and Rock-fill Dams; Report 5, Perminant Displacement of Earth Embankments by Newmark Sliding Block Analysis, Misc. Paper S-71-17, Soils and Pavements Laboratory, US Army Waterways Experiment Station, Vicksburgh, Miss, (1977).
95. Özden, K., Öztürk, T., Bazı Özel Durumlarda İstinat Duvarlarında Yalnız Depremden Oluşan Basınç ve İtkiler, Üçüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Mart 1995, İstanbul.

5. EK-A. BETONARME KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ DEPREM HESABI İÇİN GELİŞTİRİLEN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI

```
CLS
CONST pi = 3.141592654#
DO
INPUT "Duvar yüksekliğini giriniz. [m] "; H
LOOP UNTIL H <= 8 'Ekonomi için maksimum duvar yüksekliği
INPUT "Gövde üst kalınlığını giriniz. [m] "; bu
'Temel genişlik oranı B=0.5*H
B = .5 * H
ga = .1 * H
d = .1 * H
INPUT "Temel ön çıkma uzunluğunu giriniz.(0-1)[m]"; f
g = B - ga - f
PRINT "   Ön Boyutlar   "
PRINT "Temel genişliği   ", B
PRINT "Gövde üst kalınlığı ", bu
PRINT "Gövde alt kalınlığı ", ga
PRINT "Ön çıkma uzunluğu   ", f
PRINT "Arka çıkma uzunluğu ", g
PRINT "Temel kalınlığı     ", d

INPUT "Hesaplanan ön boyutlar uygun mu? (E/H) ", yanıt$
IF yanıt$ = "h" OR yanıt$ = "H" THEN
PRINT "Ön boyutları ekrandan giriniz."
1 INPUT "Temel genişliği   ", B
INPUT "Gövde üst kalınlığı ", bu
INPUT "Gövde alt kalınlığı ", ga
INPUT "Ön çıkma uzunluğu   ", f
INPUT "Arka çıkma uzunluğu ", g
INPUT "Temel kalınlığı     ", d
END IF
INPUT "Kohezyonu giriniz.           "; c
INPUT "İç sürtünme açısını giriniz. "; fid
fi = pi * fid / 180
INPUT "Sürtünme katsayısını giriniz.  $\mu_s$  "; mus
INPUT "Zemin üst yüzeyi eğimini giriniz. "; i
INPUT "Duvar arka yüzeyinin düşeyle yaptığı açısı :"; alfad
alfa = pi * alfad / 180
INPUT "Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı:"; deltax
delta = pi * deltax / 180
INPUT "Ek yükü giriniz.           "; q0

INPUT "Zemin emniyet gerilmesini giriniz. "; sigmaZem
INPUT "Dolgu zemini birim ağırlığı giriniz. "; gama
```

```

INPUT "Betonun birim ağırlığını giriniz.      "; gamac
INPUT "Yer ivmesi katsayısını giriniz. A0    "; A0
INPUT "Yapı önem katsayısını giriniz. I0     "; I0

IF (delta = 0 AND alfa = 0 AND i = 0) THEN
  Kas = (TAN((pi / 4) - (fi / 2))) ^ 2
ELSE
  Kasu = (COS(fi - alfa)) ^ 2
  Kasa1 = (COS(alfa)) ^ 2 * COS(alfa + delta)
  s1 = SIN(fi + delta) * SIN(fi - i)
  s2 = COS(delta + alfa) * COS(i - alfa)
s = SQR(s1 / s2)
  Kasa2 = (1 + s) ^ 2
  Kas = Kasu / (Kasa1 * Kasa2)
END IF
Pas = (1 / 2) * gama * H ^ 2 * Kas
Ba = COS(alfa) / COS(alfa - i)
Qas = q0 * Kas * H * Ba
W1 = bu * (H - d) * gamac
W2 = (1 / 2) * (ga - bu) * (H - d) * gamac
Wt = B * d * gamac
Wd = g * (H - d) * gama
Mk1 = W1 * (f + (ga - bu) + (bu / 2))
Mk2 = W2 * (f + (2 / 3) * (ga - bu))
Mkt = Wt * (B / 2)
Mkd = Wd * (f + (ga - bu) + bu + (g / 2))
TW = W1 + W2 + Wt + Wd
TMk = Mk1 + Mk2 + Mkt + Mkd
CLS
Depremsiz Durum
'Kayma Denetimi
N = TW
TPah = Pas + Qas
Gs = mus * N / TPah
IF Gs >= 1.5 THEN
  PRINT "Depremsiz durumda kayma denetimi sağlanmıştır. "
ELSE
  PRINT "Depremsiz durumda kayma denetimi sağlanmamıştır."
  PRINT "Taban genişliği arttırılacaktır.      "
  GOTO 1
END IF
'Devrilme Denetimi
TMd = Pas * (H / 3) + Qas * (H / 2)
Gs = TMk / TMd
IF Gs >= 1.5 THEN
  PRINT "Depremsiz durumda devrilme denetimi sağlanmıştır. "
ELSE
  PRINT "Depremsiz durumda devrilme denetimi sağlanmamıştır."
  PRINT "Taban genişliği arttırılacaktır.      "

```

```

GOTO 1
END IF
'Taban Basınç Gerilmeleri Denetimi
x = TMk / N
e0 = x - (B / 2)
M1 = N * e0
'Tabanın orta noktasına göre moment
M0 = TMd - M1
e = M0 / N
IF e > (B / 6) THEN
  PRINT "Dış merkezlik büyüktür."
  PRINT "Taban boyutları değiştirilecektir."
  GOTO 1
END IF
alan = B * 1
W = 1 * (B ^ 2) / 6
sigmamax = (N / alan) + (M0 / W)
sigmamin = (N / alan) - (M0 / W)
PRINT "Maksimum taban gerilmesi ", sigmamax; "[t/m^2]"
PRINT "Minimum taban gerilmesi ", sigmamin; "[t/m^2]"
IF sigmamax <= sigmaZem AND sigmamin >= 0 THEN
  PRINT "Duvar taban basıncı yönünden istenilen emniyeti sağlamıştır."
END IF
SLEEP 10
'Depremden meydana gelen yanal basınçlar ve itkiler
Ch = .2 * (I0 + 1) * A0
Cv = 2 * Ch / 3
lamda1 = ATN(Ch / (1 + Cv))
lamda2 = ATN(Ch / (1 - Cv))

Katu1 = (1 + Cv) * (COS(fi - lamda1 - alfa)) ^ 2
Kata11 = COS(lamda1) * (COS(alfa)) ^ 2 * COS(alfa + delta + lamda1)
s11 = SIN(fi + delta) * SIN(fi - lamda1 - i)
s12 = COS(delta + alfa + lamda1) * COS(i - alfa)
s1 = SQR(s11 / s12)
Kata12 = (1 + s1) ^ 2
Kat1 = Katu1 / (Kata11 * Kata12)
Katu2 = (1 - Cv) * (COS(fi - lamda2 - alfa)) ^ 2
Kata21 = COS(lamda2) * (COS(alfa)) ^ 2 * COS(alfa + delta + lamda2)
s21 = SIN(fi + delta) * SIN(fi - lamda2 - i)
s22 = COS(delta + alfa + lamda2) * COS(i - alfa)
s2 = SQR(s21 / s22)
Kata22 = (1 + s2) ^ 2
Kat2 = Katu2 / (Kata21 * Kata22)
IF Kat1 > Kat2 THEN
  Kat = Kat1
ELSE
  Kat = Kat2
END IF

```

```

Kad = Kat - Kas
DIM z(3), Ea(3), Padz(3)
z(1) = 0
z(2) = H / 2
z(3) = H
FOR i = 1 TO 3
  Ea(i) = 3 * (1 - z(i) / H) * Kad
  Padz(i) = gama * z(i) * Ea(i)
  PRINT "Ea ve Pad(z)", Ea(i), Padz(i)
NEXT i
Pad = (gama * H ^ 2 / 2) * Kad
Qad = q0 * Kad * H * Ba
Wp = W1 + W2
Ee = Ch * Wp
hp = H - d
de = 2 * Ee / hp
PRINT "Pad", Pad; "[t/m]"
PRINT "Qad", Qad; "[t/m]"
PRINT "Kad", Kad
PRINT "Wp ", Wp; "[t]"
PRINT "E ", Ee; "[t/m]"
PRINT "de", de; "[t/m²]"
SLEEP 10
PRINT "ABYYHY göre deprem hesabında duvar ağırlığının dikkate alınması durumu"
'Kayma Denetimi
TPahd = Pas + Qas + Pad + Qad + Ee
Gs = N * mus / TPahd
IF Gs >= 1.1 THEN
  PRINT "Depremlı durumda kayma denetimi sağlanmıştır. "
ELSE
  PRINT "Depremlı durumda kayma denetimi sağlanmamıştır. "
  PRINT "Duvar boyutları değiştirilecektir. "
  GOTO 1
END IF
'Devrilme Denetimi
TMDd = TMd + (H / 2) * Pad + (2 * H / 3) * Qad + Ee * (2 * (H - d) / 3)
Gs = TMk / TMDd
IF Gs >= 1.3 THEN
  PRINT "Depremlı durumda devrilme denetimi sağlanmıştır. "
ELSE
  PRINT "Depremlı durumda devrilme denetimi sağlanmamıştır. "
  PRINT "Duvar boyutları değiştirilecektir. "
  GOTO 1
END IF
'Taban Basıncı Gerilmeleri Denetimi
M0d = TMDd - M1
ed = M0d / N
IF ed > (B / 6) THEN
  PRINT "Dış merkezlilik büyüktür."

```



```

PRINT "Taban boyutları değiştirilecektir."
END IF
alan = B * 1
W = 1 * (B ^ 2) / 6
sigmamax = (N / alan) + (M0d / W)
sigmamin = (N / alan) - (M0d / W)
PRINT "Maksimum taban gerilmesi ", sigmamax; "[t/m²]"
PRINT "Minimum taban gerilmesi ", sigmamin; "[t/m²]"
IF sigmamax <= sigmaZem AND sigmamin >= 0 THEN
  PRINT "Duvar taban basıncı yönünden istenilen emniyeti sağlamıştır."
ELSE
  PRINT "Deprem hesabında taban basıncı istenilen emniyeti sağlamamıştır."
  INPUT "Devam etmek istiyor musunuz?", yanıt$
  IF yanıt$ = "H" OR yanıt$ = "h" THEN
    GOTO 2
  END IF
  GOTO 1
END IF
2
INPUT "maksimum zemin hızını giriniz.[m/sn]"; Vmax
INPUT "maksimum yer ivmesini giriniz.[m/sn²]"; amax

Pat = (1 / 2) * gama * H ^ 2 * Kat
u1 = (Pat * COS(delta + alfa) - Pat * SIN(delta + alfa))
u2 = (W1 + W2 + Wt)
ay = (TAN(fi) - (u1 / u2)) * 9.81
deplasman = (.087 * Vmax ^ 2 * ay ^ 3) / amax ^ 4

PRINT "Deplasman"; deplasman; "m"

```

6. ÖZGEÇMİŞ

Şenol GÜRSOY 1970 yılında Ordu'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini 1978-1988 yılları arasında Ordu'da tamamladı. Yüksek öğrenimi 1995-1996 eğitim öğretim yılı Haziran döneminde Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Fakülte ve Bölüm ikinci olarak tamamladı ve Karadeniz Teknik Üniversitesi tarafından yüksek onur belgesi verilerek ödüllendirildi. Ayrıca öğrenimi sırasında kendisine inşaat mühendisliği bölümü tarafından da dört kez başarı ödülü verildi. Aynı yıl yüksek lisans öğrenimine başlayarak bir yıllık İngilizce hazırlık sınıfını başarı ile bitirdikten sonra, Kasım 1997 Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atandı. Evli ve bir çocuk babası olan Şenol GÜRSOY İngilizce bilmekte olup ve halen Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir.