

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ADAPAZARINDA DAYANMA YAPILARININ DEPREM
GÜVENLİĞİNE TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE
HARİTASININ GETİRMİŞ OLDUĞU ETKİLER**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Hüseyin KAŞLI

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

Temmuz 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ADAPAZARINDA DAYANMA YAPILARININ DEPREM
GÜVENLİĞİNE TÜRKİYE DEPREM TEHLİKE
HARİTASININ GETİRİŞ OLDUĞU ETKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasan Hüseyin KAŞLI

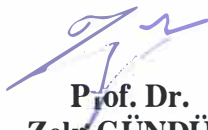
Enstitü Anabilim Dalı


İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ


Enstitü Bilim Dalı

GEOTEKNİK

Bu tez 16/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Zeki GÜNDÜZ
Jüri Başkanı


Dr. Öğr. Üyesi
Hüseyin KASAP
Üye


Dr. Öğr. Üyesi
Kaveh DEGHANIAN
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Hasan Hüseyin KAŞLI

16.07.2019

TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanması aşamasında bana her tŸrlŸ desteği veren, engin bilgi birikimi ve deneyimleriyle bana yol gŸsteren danıŐman hocam Sayın Prof. Dr. Zeki GŸNDŸZ'e, çalıŐmalarımın her aşamasında bana yardımcı olan İnaŐat YŸksek MŸhendisi Yasin TOPÇU'ya teŐekkŸrŸ bir borç bilirim. Ayrıca bugŸnlere ulaŐmamı sağlayan, hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme gŸsterdikleri hoŐgŸrŸ ve anlayıŐ için sonsuz teŐekkŸr ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET.....	x
SUMMARY	xi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç.....	2
1.2. Kapsam.....	3
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
BÖLÜM 3.	
DAYANMA YAPILARI.....	7
3.1. Genel Bilgiler	7
3.2. Dayanma Yapılarının Sınıflandırılması	8
3.2.1. Rijit dayanma yapıları	9
3.2.1.1. Ağırlık tipi dayanma duvarı.....	9
3.2.1.2. Yarı ağırlık dayanma duvarı	9
3.2.1.3. Konsol duvar	10
3.2.1.4. Eşikli konsol duvar	10
3.2.1.5. Payandalı duvar	11
3.2.1.6. Ters payandalı duvar.....	12

3.2.2. Yarı rijit dayanma yapıları	12
3.2.2.1. Kafes tipi dayanma duvarı	13
3.2.2.2. Sandık tipi dayanma duvarı	13
3.2.3. Esnek Dayanma Yapıları	14
3.2.3.1. Palplanş perdeleri	14
3.2.3.2. Donatılı zemin	15
3.3 Konsol Dayanma Yapılarının (İstinat Yapılarının) Statik Ve Dinamik Etkiler Altında Stabilitesi	16
3.3.1. İstinat Yapılarının Stabilitesi	17
3.3.1.1. Devrilme kontrolü	17
3.3.1.2. Kayma kontrolü	19
3.3.1.3. Dayanma yapılarında taban basıncı kontrolü	23
3.3.1.4. Dayanma yapılarında toptan göçme kontrolü	24
BÖLÜM 4.	
STATİK VE DİNAMİK YÜKLERİN ETKİSİNDE DAYANMA YAPILARI	28
4.1. Giriş	28
4.2. Yanal Toprak Basıncı	28
4.2.1. Sükûnetteki toprak basıncı	29
4.2.2. Aktif toprak basıncı	30
4.2.3. Pasif Toprak Basıncı	31
4.3. Statik Toprak Basınçları Etkisinde Dayanma Yapıları	33
4.3.1. Rankine toprak basıncı teorisi	33
4.3.1.1. Aktif durum	33
4.3.1.2. Pasif durum	35
4.3.1.3. Duvar arkası zeminin eğimli olması durumunda rankine yöntemi	37
4.3.2. Coulomb toprak basıncı teorisi	38
4.3.2.1. Aktif durum	39
4.3.2.2. Pasif durum	40
4.3.3. Rankine ile coulomb yöntemlerinin karşılaştırılması	42
4.4. Dayanma Yapılarına Gelen Dinamik Etkiler	42
4.4.1. Mononobe - Okabe yöntemi	43
4.4.1.1. Aktif durum	43
4.4.1.2. Pasif durum	46

4.4.2. Steedman - Zeng yöntemi	47
4.4.3. Prakash - Saran yöntemi.....	50
4.4.4. Richards - Elms yöntemi	51
BÖLÜM 5.	
DAYANMA YAPILARININ TBDY VE DBYBHY GÖRE ANALİZLERİ.....	54
5.1. Giriş	54
5.2. Yapılan Çalışma.....	54
5.3. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik'e Göre Yanal Toprak Basınçları İçin Çözüm Adımları	55
5.4. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yanal Toprak Basınçları İçin Çözüm Adımları	57
5.5. Yanal Toprak Basınçları Hesabında Değişken Olarak Kullanılacak Parametreler.....	62
5.6. Analiz Sonuçları Ve Değerlendirmeler	63
5.6.1. Duvar yüksekliğinin (H) değişimi ve etkisi	66
5.6.2. Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β) değişimi ve etkisi	66
5.6.3. Zeminin tasarım kayma direnci açısı değişimi ve etkisi (ϕ'_d)	67
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMA VE SONUÇ	69
KAYNAKÇA	73
EKLER.....	76
ÖZGEÇMİŞ	81

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ϕ'_d	: Zeminin tasarım kayma direnci açısı
ϕ	: Zemin içsel sürtünme açısı
μ	: Duvar tabanı ile zemin arasındaki sürtünme katsayısı,
ABYYHY	: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
a_h	: Maksimum yatay zemin ivmesi
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
a_v	: Maksimum düşey zemin ivmesi
B	: Duvar taban uzunluğu
c	: Kohezyon
C_h	: Yatay zemin ivme katsayısı
C_v	: Düşey zemin ivme katsayısı
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılan Binalar Hakkında Yönetmelik
e	: Dış merkezlik
g	: Yerçekimi ivmesi
G_s	: Güvenlik katsayısı
H	: İstinat duvarının yüksekliği
h	: Toplam aktif zemin basıncının uygulama noktasının yeri
I	: Bina önem katsayısı
i	: Zemin üst yüzeyinin yatay ile yaptığı açıdır
K	: Aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükûnetteki yanal zemin basıncı katsayısı
$K_a=K_{as}$: Statik aktif yanal zemin basıncı katsayısı
K_{ad}	: Dinamik aktif yanal zemin basıncı katsayısı
K_{at}	: Toplam aktif yanal zemin basıncı katsayısı
k_h	: Yatay ivme katsayısı
$K_p=K_{ps}$: Statik pasif yanal zemin basıncı katsayısı

K_{pd}	: Dinamik pasif yanal zemin basıncı katsayısı
K_{pt}	: Toplam pasif yanal zemin basıncı katsayısı
k_v	: Düşey ivme katsayısı
P_{ad}	: Dinamik aktif kuvvet
P_{as}	: Statik aktif yanal kuvvet
P_{at}	: Toplam aktif zemin kuvveti
P_{pd}	: Dinamik pasif kuvvet
P_{ps}	: Statik pasif kuvvet
P_{pt}	: Toplam pasif zemin itkisi,
r	: Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı
R	: O merkezli kayma düzleminin yarı çapı,
S_{DS}	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)
T	: Yatay hareketin periyodu
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS	: Türk Standartları Enstitüsü
u	: Duvarın yatay deplasmanı
V_s	: Kayma dalgası hızı,
W	: Zemin kamasının ağırlığı,
W_d	: Kamanın ağırlığı
α	: Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı,
β	: Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı
γ	: Zeminin kuru birim hacim ağırlığı,
δ	: Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı
δ_d	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı
θ	: Sismik açı
λ	: Deprem ivme açısı
ψ	: Duvar sırtının düşeyle yaptığı açı
ω	: Zemin hareketinin açısal frekansı,

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ağırlık tipi istinat duvarı	9
Şekil 3.2. Yarı ağırlık istinat duvarı	10
Şekil 3.3. Konsol duvar tipleri	10
Şekil 3.4. Eşikli konsol duvar ve Kesme kuvveti diyagramı	11
Şekil 3.5. Eşikli konsol duvarda kuvvetler	11
Şekil 3.6. Betonarme payandalı istinat duvarı	12
Şekil 3.7. Ters payandalı istinat duvarı	12
Şekil 3.8. Kafes tipi dayanma duvarlarını oluşturan hücreler (a) birbirine geçmeli betonarme hücre, (b) çelik hücre	13
Şekil 3.9. Sandık tipi dayanma duvarı (a) duvar kesiti, (b) sandığın oluşturulması, (c) taş dolguya hazır sandık	14
Şekil 3.10. Çelik palplanşın tipik en kesiti ve Ankastre palplanş	15
Şekil 3.11. Ankrajlı palplanş ve ankraj detayı	15
Şekil 3.12. Farklı zemin problemlerinin donatılı zemin kullanarak aşılması	16
Şekil 3.13. Devrilmeye etki eden kuvvetler ve A noktasına göre moment kolları..	17
Şekil 3.14. Rankine teorisine göre devrilme tahkikinde oluşan kuvvetler	19
Şekil 3.15. Kaymaya zorlayan ve karşı koyan kuvvetler	20
Şekil 3.16. Duvar tabanına etkileyen bileşke kuvvetin yeri ve basınç dağılımı	23
Şekil 3.17. Dairesel silindirik kayma yüzeyi	25
Şekil 3.18. ϕ Dairesi Metodu'na göre kayma yüzeyi	25
Şekil 3.19. Betonarme konsol istinat duvarlarının toptan göçme güvenliği kontrolünde dikkate alınan itkiler	26
Şekil 4.1. Bir zemin elemanına etkileyen gerilmeler	29
Şekil 4.2. Aktif toprak basıncı durumu	31
Şekil 4.3. Pasif toprak basıncı durumu	32

Şekil 4.4. (a) kum, (b) kil, (c) kum-kil karışımı zeminlerde Rankine aktif statik basınç dağılımı	35
Şekil 4.5. (a) kum, (b) kil, (c) kum-kil karışımı zeminlerde Rankine aktif statik basınç dağılımı	37
Şekil 4.6. Zeminin yatay ile i açısı yaptığı durum	38
Şekil 4.7. Aktif durum için Coulomb teorisi ve kuvvet bileşeni	39
Şekil 4.8. Pasif durum için Coulomb kama ve kuvvet poligonu.....	41
Şekil 4.9. Mononobe-Okobe yöntemine göre aktif durum için zemin kamasına etkiyen kuvvetler	43
Şekil 4.10. Mononobe-Okobe yöntemine göre aktif zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu	44
Şekil 4.11. Mononobe-Okobe yöntemine göre pasif zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu	46
Şekil 4.12. Steedman-Zeng yönteminde istinat duvarına gelen kuvvetler.....	47
Şekil 4.13. Prakash-Saran yönteminde kullanılan model	50
Şekil 4.14. Richards – Elms modeline göre ağırlık duvarına etkiyen kuvvetler.....	52
Şekil 5.1. Sakarya bölgesinde seçilen bir noktanın Türkiye Deprem Tehlike Haritası raporundaki giriş sayfası.....	61
Şekil 5.2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası rapor çıktıları.....	62
Şekil 5.3. TBDY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranı (H=6m)	64
Şekil 5.4. DBYBHY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranı (H=6m)	65
Şekil 5.5. $\phi=28^\circ, 30^\circ, 32^\circ, 34^\circ$ için dinamik yükteki yüzdelik artış	67

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Depremsiz durumda dayanma yapıları için güvenlik sayıları	22
Tablo 3.2. Depremlı durumda dayanma yapıları için güvenlik sayıları	22
Tablo 3.3. Taban zemini için sürtünme katsayıları	22
Tablo 4.1. Aktif toprak basıncının oluşması için gereken tipik yer değiştirmeler .	31
Tablo 4.2. Pasif toprak basıncının oluşması için gereken tipik yer değiştirmeler ..	32
Tablo 4.3. Aktif Rankine durumunda zemin itkileri	35
Tablo 4.4. Pasif Rankine durumunda zemin itkileri	37
Tablo 5.1. Yanal toprak basınçlarının hesabında göz önüne alınan parametreler ...	63
Tablo 5.2. Hesaplamalarda kullanılan değerler	63
Tablo 5.3. TBDY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranları	64
Tablo 5.4. DBYBHY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranları	65
Tablo 6.1. Kayma direnci açısına bağlı olarak dinamik toprak basınçları ($\beta=15^\circ$, $H=8m$).....	71
Tablo 6.2. TBDY göre farklı zemin sınıflarında eşdeğer deprem katsayılarındaki artış ve azalışlar	72

ÖZET

Anahtar Kelimeler: TBDY, DBYBHY, dayanma duvarları, yanal toprak basınçları, deprem, güvenlik

Dayanma yapıları basit anlamda zeminden gelen itkileri karşılamak için yapılmış yapılardır. Dayanma yapıları değişik amaçlar için yapılmaktadır. Bu amaçlar genelde; zemini doğal şev açısından daha dik konumda tutabilmek, kayma ihtimali olan zeminlerde göçmelerin önlenmesi, derin kazılarda oluşan şevlerin tutulması, kıyıların erozyondan ve taşkınlardan korunması şeklindedir. Dayanma yapıları zeminden gelen toprak basınçları yanında deprem sırasında oluşan dinamik etkileri de karşılamak durumundadır. Aktif deprem kuşağında yer alan ülkemizde çeşitli büyüklükte depremler meydana gelmektedir. Bu bölgelerde yapılacak olan dayanma yapılarına statik toprak basınçlarının yanı sıra dinamik toprak basınçlarının etkisi ve önemi büyüktür.

Dayanma yapılarının tasarımında deprem güvenliği önemli bir parametredir. Yeni hazırlanan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasında yapılara etki eden deprem ivmeleri üzerinde önemli değişiklikler olmuştur. Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) ile değişen ivme değerleri dayanma yapılarına gelen dinamik yükleri arttırmıştır. Artan dinamik yükler; mevcut dayanma yapılarının devrilmeye ve kaymaya karşı güvenliklerini sorgulanır hale getirmektedir.

Bu çalışmada; Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) (2018) ile dayanma yapılarının projelendirilmesinde yanal toprak basınçları ve güvenlik kapsamında yapılmış olduğu değişiklikler, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007) ile karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Seçilen duvar yüksekliklerinde yapılacak olan dayanma duvarlarında, duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı (β), zeminin tasarım kayma direnci açısı (φ) gibi zemin parametreleri değiştirilerek analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda yanal toprak basınçlarındaki değişimler karşılaştırılmış ve güvenliğe olan etkileri araştırılmıştır.

THE IMPACTS OF TURKEY EARTHQUAKE MAP ON EARTHQUAKE SAFETY OF RETAINING STRUCTURES IN ADAPAZARI

SUMMARY

Keywords: TBDY, DBYBHY, retaining walls, lateral earth pressures, earthquake, safety

The retaining structures are simple structures made to meet the thrusts from the ground. These structures are made for different purposes. These objectives are generally; to keep the ground in a more upright position in terms of the natural slope, to prevent slide on the possibility of slip, to keep slopes formed in deep excavations and to protect coasts from erosion and floods. In addition to the earth pressures coming from the ground, the retaining structures must also meet the dynamic forces during the earthquake. Various magnitudes of earthquakes occur in our country which is located in the active earthquake zone. In static earth pressure, the effects of dynamic earth pressures on the retaining structures to be constructed in these regions are of great importance.

Earthquake safety is an important parameter in the design of the retaining structures. There are significant changes for earthquake acceleration affecting the structure in the new Turkey Earthquake Zone Map. The variable acceleration values changed by Turkish Building Earthquake Code (2018) have increased the dynamic. Due to the increased dynamic loads, the safety of current retaining structures against toppling and sliding is questioned.

In this study; the changes formed by the innovations coming with Turkish Building Earthquake Code (2018) in the design of retaining structures lateral earth pressure and security context, the regulation on building in seismic zones (DBYBHY) (2007) were analyzed, comparatively. In the retaining walls to be constructed at selected heights, the ground angle of the backfill was analyzed by changing the ground parameters such as the tilt angle (β) and the design slip resistance angle of the floor (ϕ). As a result of these analyses, the changes in lateral earth pressures were compared and their effects on safety were investigated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dayanma duvarları genelde zeminden gelen yatay itkileri karşılamak için yapılan yapılardır. Dayanma duvarları kot farkının olduğu yerlerde zeminin ya da mevcut yapının yatay düzlemde kaymasının engellemek amacıyla yapılır. Doğal ve yapay şevler; oluşan kot farklılıkları nedeniyle göçme riski taşırlar. Doğal ve yapay şevlerde yatay yönde oluşan zemin etkilerini karşılamak için değişik dayanma yapıları inşa edilir. Dayanma duvarları; bir binanın bodrum duvarını oluşturmak, köprülerde kenar ayak görevini yapmak, dere ve kanal kenarlarında erozyon ve taşkından korumak, derin kazıların yanıl kenarlarını ve yapıları tutmak, kayma ve göçme ihtimali olan doğal ve yapay şevlerin stabilitesini sağlamak, zemini doğal şev açısından daha dik bir açı ile tutmak gibi birçok amaçlar için inşa edilen kalıcı veya geçici yapılardır.

Dayanma yapıları rijit ve esnek dayanma yapıları olmak üzere iki ana başlık altında incelenebilir. Ağırılık türünde yapılan duvarlar (ağırılık tipi taş veya beton duvarlar, betonarme konsol duvarlar, betonarme nervürlü konsol duvarlar, toprakarme duvarlar), ankrajlı betonarme kazıklı perdeler rijit dayanma yapı örnekleridir. Palplanş perdeleri, gabion duvarlar esnek dayanma yapılarına örnek yapı türleridir. Betonarme konsol olarak yapılan istinat duvarları daha yaygın kullanıma sahip olup bu türdeki dayanma duvarları istinat duvarı olarak ta adlandırılmaktadır.

Dayanma duvarları zeminden aktarılan statik ve dinamik etkileri karşılamak üzere projelendirilirler. Dayanma yapılarına etki eden toprak basınçları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Statik durumdaki toprak basınçları için ilk çalışmalar Rankine [1] ve Coulomb [2] tarafından yapılmıştır. Rankine deforme olan zeminlerin plastik denge durumunda olduğunu savunurken Coulomb teorisi ise kuvvetler dengesine dayanmaktadır. İki farklı kabule dayanan bu teoriler sürtünmesiz duvar yüzeyi, yatay dolgu ve homojen kohezyonsuz zemin şartlarında benzer sonuçlar vermektedir.

Dinamik toprak basınçlarıyla ilgili çalışmaları ise Okabe [3] ve Mononobe-Matsuo [4] yapmıştır. Birçok ülkede olduğu gibi dinamik basınç konusunda Türkiye’de de hesap yöntemi olarak Mononobe - Okabe yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntem; Coulomb teorisinde yapılan kabullerin geçerli olduğu, deprem etkilerini eş değer bir kuvvet olarak alan, zemin kamasına gelen tüm kuvvetlerin dengesini ön planda tutan bir çözüm yöntemidir. Mononobe - Okabe yönteminde; depremle yatay ve düşey yönde oluşan zemin ivmelerinin duvar yüksekliğine bağlı olmadığı kabul edilmektedir. Deprem sonucu oluşan zemin ivmeleri ile ortaya çıkan kuvvetler statik bir yük olarak düşünülmekte ve oluşan zemin itkileri zemin kamasına gelen kuvvetlerin dengesinden hesaplanmaktadır.

1.1.Amaç

Dayanma yapılarının projelendirilmesinde deprem güvenliği önemli bir parametredir. Yeni hazırlanan Türkiye Deprem Haritasında Adapazarı’nda yapılacak olan yapılara etki eden deprem ivmelerinde önemli artışlar olmuştur. Artan deprem ivmeleri yapıların güvenliğini de etkilemektedir. Bu çalışmada; depremin dayanma yapılarına olan etkileri ve güvenliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı yükleme durumları için parametreler değiştirilerek modellemeler yapılmıştır. Dayanma duvarlarına etki eden dinamik ve statik kuvvetler karşılaştırılarak tablo halinde sunulmuştur.

Dayanma duvarına gelen kuvvetleri belirlemek için eski (Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası) ve yeni (Türkiye Deprem Tehlike Haritası) haritalar esas alınarak Excel’de hazırlanan konsol istinat duvarı modelinde ayrı ayrı çözümler yapılmış ve tablolar oluşturulmuştur. Bu çözümler yapılırken duvar yüksekliği (H), duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısının (β), duvar arkası zeminin kayma direnci açısının (ϕ_d) gibi parametreleri değiştirilerek duvara gelen yanal toprak basınçlarındaki değişimleri karşılaştırılmıştır.

1.2. Kapsam

Bu çalışmada öncelikli olarak dayanma yapıları hakkında genel bilgi verilmiştir. Dayanma duvarı türleri ve genel kullanım alanları anlatılmıştır. Daha sonra duvar stabilitesi ele alınmıştır. Burada, duvarların güvenlikleri için yapılan stabilite analiz çeşitlerinden bahsedilmiştir.

Statik ve dinamik yükler altında dayanma yapılarının davranışı üzerinde yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir. Bu bölümde statik ve dinamik yükler ayrı ayrı aktif ve pasif durumlar göz önünde bulundurularak incelenmiştir ve bilgi verilmiştir. Birçok araştırmacı dayanma duvarları ile alakalı çalışmalar yapmıştır. Fakat bizim en çok karşımıza çıkan ve detaylı bir şekilde ele aldığımız çalışmalar Rankine, Coulomb ve Mononobe – Okabe tarafından yapılan çalışmalardır.

Araştırmacılar ve yöntemleri hakkında bilgi verdikten sonra yapılacak olan çalışma hakkında bilgi verilmiştir. Seçilen model istinat duvarı hakkında bilgilendirme yapıp analizler hakkında da bilgiler verilmiştir.

Analiz sonuçları ve değerlendirmeler bölümünde farklı deprem yönetmeliklerinde kullanılmak üzere seçilen parametreler ve analiz yaparken değerleri değiştirilip etkileri incelenecek olan parametreler hakkında bilgilendirme yapıp analiz sonuçları açıklanmıştır. Sonuçlardaki değişimlerin daha iyi yorumlanabilmesi için tablo ve grafikler hazırlanmıştır. Daha sonra tartışma ve sonuç bölümüne geçilerek tüm tablo ve grafikler ele alınarak değerlendirmeler açık bir şekilde yorumlanmıştır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Dayanma yapıları geçmişten günümüze çok fazla araştırma ve çalışmalara konu olmuştur. Özellikle ülkemizdeki değişen deprem yönetmelikleri beraberinde dayanma yapıları üzerinde yapılan araştırma ve çalışmaları arttırmaktadır.

Özberk ve Kahyaoğlu (2018) yapmış oldukları çalışmada Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin yayınlanması ile birlikte gelen değişimler üzerinde durmuşlardır. Bu çalışmada istinat duvar yükseklikleri değiştirilerek çözümlenmeler yapılmıştır. 3, 4, 5 ve 6 m duvar yüksekliğine sahip istinat yapılarının iki farklı bölgede incelemelerini ve analizlerini yapmışlardır. Seçilen ilk bölge İzmir Ödemiş olarak belirlenmiştir. Bu bölge için TBDY'ye göre 5 farklı yerel zemin sınıfı için spektral ivme katsayıları belirlenmiş, DBYBHY'ye göre 1. Derece deprem bölgesi için seçilen yatay statik-eşdeğer deprem katsayısı ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra her iki deprem yönetmeliğine göre duvar yükseklikleri değiştirilerek karşılaştırılmalı olarak analizleri yapılmıştır. Aynı işlemler ikinci bölge olarak seçilen Bingöl Karlıova içinde yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen grafik ve tablolara göre yorumlar yapılmıştır. Sonuç olarak TBDY ve DBYBHY göre yapılan analizlerde dinamik toprak basınçlarında bazı noktalarda yakın değerler hesaplanırken bazı noktalarda ortalama olarak 23 kata kadar farklı sonuçlar hesaplanmıştır. Genel olarak dinamik yüklerde artışlar görülmüştür [5].

Yaman ve Selçuk (2018) yapmış oldukları çalışmada yeni deprem yönetmeliği (TBDY) ile birlikte gelen değişiklikler, artan ivmeler doğrultusunda konsol istinat duvarları boyutlarını ve maliyetini ne derecede etkilediği araştırmışlardır. Mononobe – Okabe yöntemine göre boyutlandırmalar esas alınmıştır. Maliyet olarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2016) birim fiyatları kullanılmıştır. Yeni deprem yönetmeliğine göre elde edilen boyutlandırma ve maliyet verileri eski deprem yönetmeliğine göre

karşılaştırılmıştır. Yeni deprem yönetmeliği ile birlikte artan ivmelerin maliyete etkisini görmek için nümerik bir çalışma yapılmıştır. İstanbul Avrupa yakasında dört farklı bölge ele alınmış ve üç farklı yükseklikte (3m, 5m, 7m) boyutlandırılan istinat duvarı üzerinde analizler yapılmıştır. Bakırköy, Fatih, Sarıyer, Çatalca ele alınan bölgeler sırasıyla 1, 2, 3, 4. derece deprem bölgeleridir. Seçilen bölgelerde yapılan analizler sonucu yeni deprem yönetmeliğine göre temel genişliklerinde %20-30 oranında artış olduğu görülmüştür. Maliyet olarak birinci ve ikinci bölgede 3m yükseklik için yaklaşık %10, 5m ve 7m yükseklik için %20, üçüncü ve dördüncü bölgelerde ise tüm yüksekliklerde %10 artış olduğu hesaplanmıştır [6].

Yıldırım'ın çalışmasında ise (2004) tasarımı yapılan konsol istinat duvarında parametrik analiz yapılmıştır. Farklı duvar yükseklikleri temel alınarak temel zeminin ve dolgunun cinsi yanı sıra deprem değişkenlerine bağlı olarak çözümlenmeler yapılmıştır. 3, 4, 5, 6, 7m olmak üzere beş farklı duvar yüksekliği, 100, 150, 200, 250 kN/m² olmak üzere dört farklı zemin emniyet gerilmesi, I, II, III, IV olmak üzere dört farklı deprem bölgesi, 20°'den 40°'ye kadar 2,5 derece artırımlarla farklı içsel sürtünme açıları ile çözümlenmeler yapıp tablo ve grafikler oluşturulmuştur. Sonuç olarak bakıldığı zaman deprem bölgelerine göre kritik durumlar depremlili ve depremsiz olmak üzere belirlenmiştir. Deprem bölgelerine göre ayrı ayrı içsel sürtünme açılarının etkisi incelenmiş kritik durumlara göre ön boyutlandırma ile alakalı çıkarımlarda bulunulmuştur [7].

İstinat yapıları ile ilgili diğer bir çalışma ise Murat Can Yıldız'a aittir (2015). Duvara etki eden dinamik toprak basınçlarının incelendiği bu çalışmada yürürlükte olan deprem yönetmeliğine göre model hazırlanmış ve farklı yükleme durumlarına göre analizler yapılmıştır. Çalışmada duvar yüksekliği, kayma mukavemeti açısı, yayılı yük ve şev eğimi değişen parametrelerdir. Tasarlanan istinat modelinde toprak etkisinden oluşan statik ve dinamik yükler, yayılı yükten dolayı meydana gelen basınçlar deprem etkisinde oluşan ek dinamik yükler ayrı ayrı hesaplanmıştır. Farklı deprem yönetmelikleri kullanılan çalışmada en çok itkiyi Eurocode 8 deprem yönetmeliği verirken, en düşük itki Hindistan deprem yönetmeliğinin (1893-2000) verdiği görülmüştür. Kayma mukavemeti açısının toplam toprak basıncı ve dinamik basınçla

ters orantılı olduğu bilgilerine ulaşılmıştır. Bunlarla beraber şev açısı ve yayılı yüklerden kaynaklanan etkilerde incelenip yorumlanmıştır [8].

İsmet Kazım Çelebi (2010) yapmış olduğu çalışmada konsol dayanma duvarlarının tasarımını etkileyen faktörleri araştırmıştır. Bu bağlamda tasarım için etkili olan parametreler dikkate alınarak optimizasyon tekniği ile parametrelerin devrilme ve kayma tahkiki üzerine olan etkileri araştırılmıştır ve ön boyutlandırma için pratik matematik modellerin oluşturulması amaçlanmıştır. Parametreler kendi aralarında sabit tutulup değişkenler belirlenerek yapılan çalışmada parametrelerin etkileri daha net bir şekilde gözlemlenmiş ve birbirleri arasındaki bağıntılar da ortaya konmuştur. Taguchi yöntemi ile yapılan optimizasyon ve tahmin değerlere gerçeğe çok yakın sonuçlar vermiştir [9].

BÖLÜM 3. DAYANMA YAPILARI

3.1. Genel Bilgiler

Dayanma yapıları basit anlamda zeminden gelen itkileri karşılamak için yapılan yapılardır. Eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda yapılan kazı çalışmaları sonucunda oluşan kot farklılıklarının korunması gerekli olduğu durumlarda gündeme dayanma yapıları gelmektedir

Dayanma yapıları, farklı kottaki zeminlerin düşey geçişi sağlamanın yanında, sismik olarak aktif alanların her yerinde kullanılmaktadır. Bu yapılar; liman ve rıhtımların, taşıma sistemlerinin, nakil hatlarının ve diğer tesislerin çoğu zaman ana bileşenini oluşturur [10].

Dayanma yapıları kalıcı veya geçici olmak üzere iki farklı şekilde inşa edilen yapı elemanlarıdır. Genelde kalıcı yapı elemanı olarak kullanılmaktadır. Duvar tasarımı yapılırken öncelikli olarak dikkate alınması gereken hususlar vardır. Bunlar; ölü veya canlı sürşarj yükleri, ısı ve büzülme etkileri, duvar ağırlığı, inşa edilecek yerdeki zeminin özellikleri, su basınçları ve deprem yükleri. Deprem sonrası dayanma yapılarında yapılan incelemeler bizlere depremin dayanma yapıları üzerinde kalıcı deformasyonlara neden olduğunu göstermektedir. Bu deformasyonlar küçük ihmal edilebilir boyutta da olabilir ya da maddi manevi kayıplara neden olacak boyutta da olabilirler.

Eğimli topoğrafyaya sahip alanlarda veya oluşturulan şevlerde stabilitenin sağlanması için birçok çalışma yapılmıştır. Gerek yamaçların ve gerekse oluşturulan şevlerin stabilite sorunu geoteknik mühendisliğinin en eski sorunlarından biridir ve beraberinde çözüm olarak genellikle dayanma yapılarının tasarımını getirmiştir. Dayanma yapıları

bu amaçla değişik yerlerde kullanılmaktadır. Bunlar; bina bodrum duvarlarını oluşturmak, kıyıların erozyondan veya taşkınlardan korumak, derin kazıları tutmak, yol yarma veya dolgularında zemini tutmak, kayma göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını engellemek vb. şeklinde olmaktadır.

3.2. Dayanma Yapılarının Sınıflandırılması

Yapılacak olan dayanma yapılarının tasarımını birçok faktör etkilemektedir. Şöyle ki son yıllarda farklı tasarım tekniklerinin gelişmesiyle dayanma yapılarının tasarımında da önemli gelişmeler ve değişimler olmuştur. Örnek verecek olursak toprakarme (donatılı zemin), geotekstilli dayanma yapıları uygulamaları son yıllarda yaygınlaşmaktadır. Tasarımı yapılacak olan dayanma yapılarının seçiminde etkin olan faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1. Zemindeki kot farkı
2. Duvar arkası zemin özellikleri
3. Duvar yapım maliyeti
4. Duvar yapımında kullanılacak malzeme
5. Yer altı su seviyesi
6. Teknik şartname ve yönetmelikler
7. Çevredeki yapılardan gelecek yanal yüklerin şiddeti
8. Bölgenin depremselliği

Genel olarak dayanma yapılarını TS 7994' e göre;

1. Rijit Dayanma Yapıları
2. Yarı Rijit Dayanma Yapıları
3. Esnek Dayanma Yapıları

Olmak üzere 3 başlık altında toplayabiliriz [11].

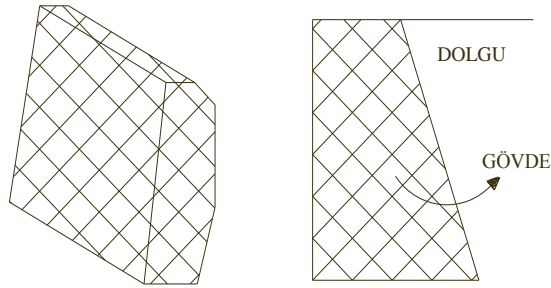
3.2.1. Rijit dayanma yapıları

Rijit dayanma yapılarının ana çalışma prensibini yapı ve dolgu ağırlığına dayandırılmaktadır. Bu tür yapılar kendi ağırlıkları ve dolgu ağırlıklarıyla birlikte gelen itkileri karşılayarak denge durumunu sağlamaktadırlar. Geri dolguda kullanılacak olan malzeme bu bakımdan oldukça önemlidir. Dolguda öncelikli olarak kohezyonsuz malzeme tercih edilmelidir.

Rijit dayanma yapıları TS 7994'e göre altı grupta sınıflandırılmaktadır. Ağırlık tipi dayanma duvarı, yarı ağırlık dayanma duvarı, konsol duvar, eşikli konsol duvar, payandalı duvar ve ters payandalı duvar [11].

3.2.1.1. Ağırlık tipi dayanma duvarı

Eski zamanlardan günümüze kadar gelen ve hala kullanılmakta olan ağırlık tipi dayanma duvarları, gelen yanal itkileri kendi ağırlığıyla karşılamaktadır. Yaygın olarak tercih edilmesinin sebebi harçlı ya da harçsız taş örgü şeklinde yapılabilmesidir. Yerine göre donatısız betondan da yapılabilirler. Yapının stabilitesi ağırlığı ile orantılıdır. Bu duvarlar için tavsiye edilen ekonomik yükseklik üç metre civarındadır.

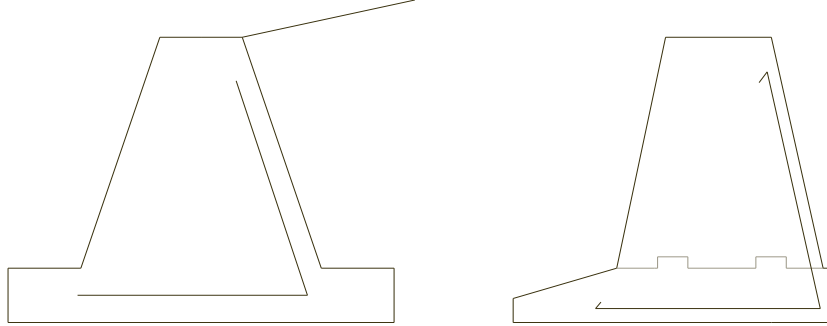


Şekil 3.1. Ağırlık tipi istinat duvarı

3.2.1.2. Yarı ağırlık dayanma duvarı

Temel genişliğinin fazla gerekmesi durumunda gövdedeki malzemedan tasarruf etmek amacıyla betona donatı eklenerek yapılan dayanma yapılarıdır. Temelin büyümesi,

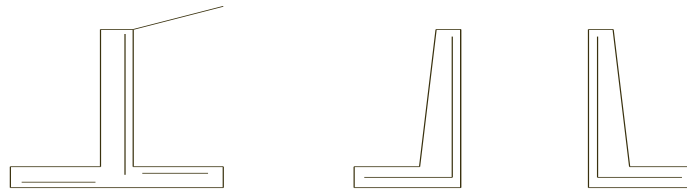
gövdenin küçülmesi ve donatı eklenmesiyle yüksek duvarlarda dayanım kapasitesini arttırmaktadır.



Şekil 3.2. Yarı ağırlık istinat duvarı

3.2.1.3. Konsol duvar

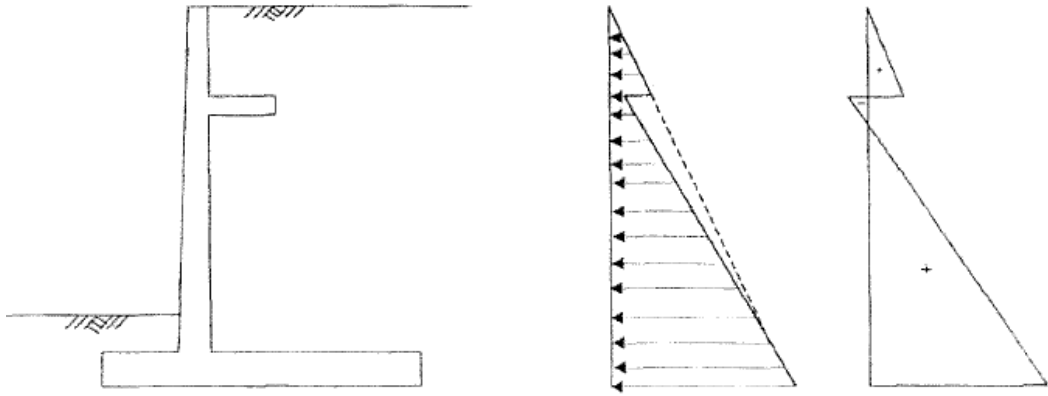
Ekonomik ve Yüksek dayanma yapılarının yapımı gerektiğinde problemin ekonomik çözümleri için betonarme konsol yapılar tasarlanmaktadır. Şekil olarak düşey bir gövde ve yatay bir temelden oluşurlar. Tasarımı yerine göre “L” ve “Ters T” şeklinde yapılar. Arazi şartlarının sıkıntılı olduğu durumlarda “Ters L” şeklinde yapırlar. Ekonomik yükseklikleri 8-10m’ dir.



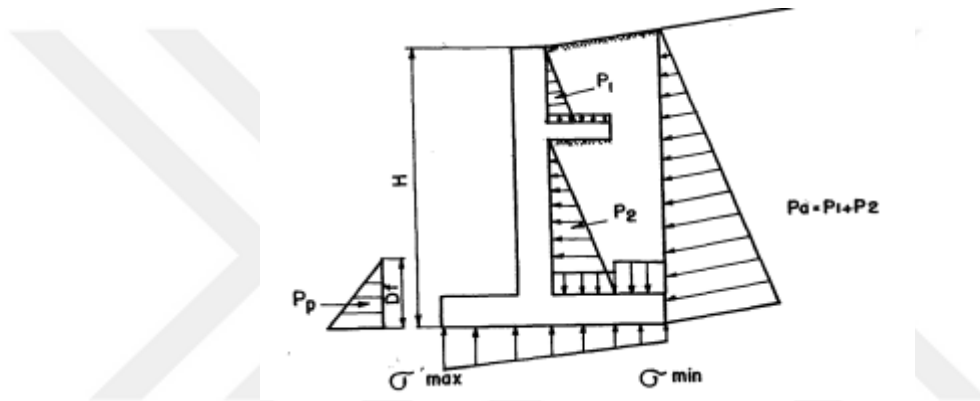
Şekil 3.3. Konsol duvar tipleri

3.2.1.4. Eşikli konsol duvar

Bu tip duvarlarda temel amaç yüksekliği fazla olan duvarlarda gövdeye çıkmalar (eşik) yaparak maksimum momentlerin azaltılmasıdır. Şekil 3.4.’de görüldüğü gibi eşığe gelen düşey yüklerin oluşturduğu moment ters yönde olduğu için maksimum momenti azaltır.



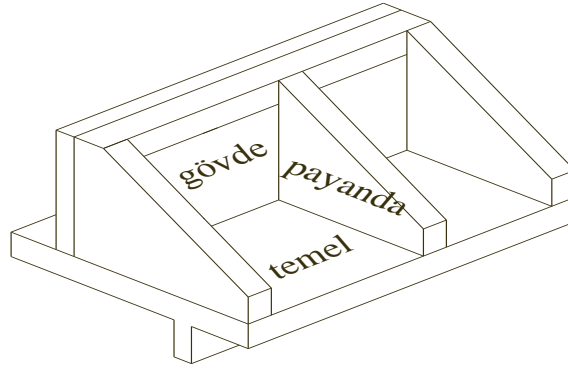
Şekil 3.4. Eşikli konsol duvar ve Kesme kuvveti diyagramı [12]



Şekil 3.5. Eşikli konsol duvarda kuvvetler [11]

3.2.1.5. Payandalı duvar

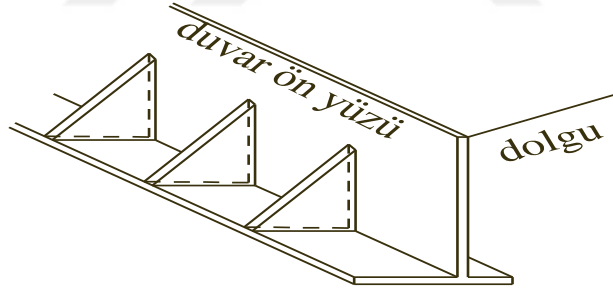
Diğer bir adı da nervürlü istinat yapıları olan payandalı duvarlar, yüksekliğin 8-10m'den fazla olduğu durumlar için tercih edilir. Gövde yüksekliği arttıkça temel gövde birleşiminde eğilme momentlerinde ciddi artışlar meydana gelir. Temel gövde birleşiminde meydana gelen momentler gövdede belli aralıklarla yapılan payandalar ile karşılanır.



Şekil 3.6. Betonarme payandalı istinat duvarı

3.2.1.6. Ters payandalı duvar

Payandaların ters yönde yapılan şeklidir. Arazi şartları nedeniyle kazı yapılamaması, yapılması halinde yüksek maliyet gerektirmesi durumlarında tercih edilir. Payandaların duvar ön yüzüne konulmasıyla payanda basınca çalışır ve bunun neticesinde beton miktarında önemli azalma sağlanır. Fakat topuk üzerine düşey toprak yükü geldiği için duvar stabilitesine katkısı daha azdır [13,14].



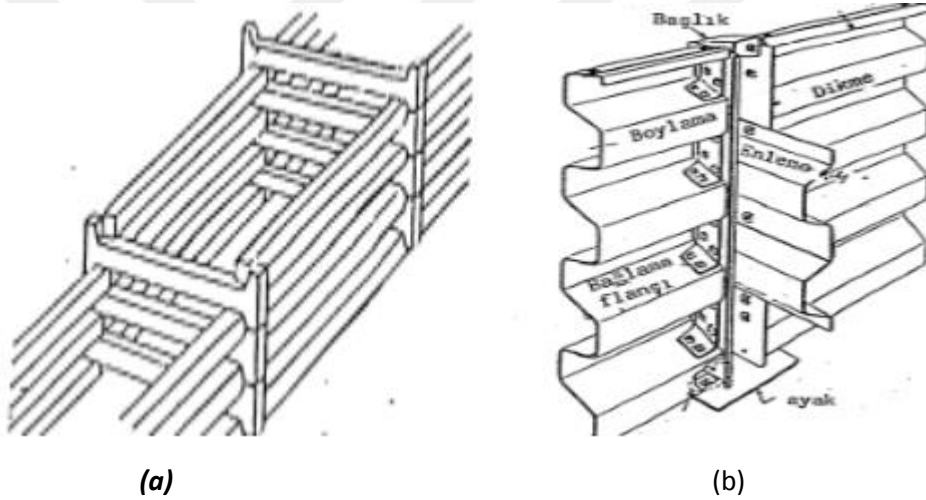
Şekil 3.7. Ters payandalı istinat duvarı

3.2.2. Yarı rijit dayanma yapıları

Yarı rijit dayanma yapıları, zemin yüklerini karşılamakla birlikte belirli sınır şartları altında hareket ederek ya da gelen yüklerin bir kısmını zemine ileterek amaçlarını yerine getirmiş olurlar. Kafes ve sandık tipi istinat yapıları bu tür dayanma yapılarına örnektir [11].

3.2.2.1. Kafes tipi dayanma duvarı

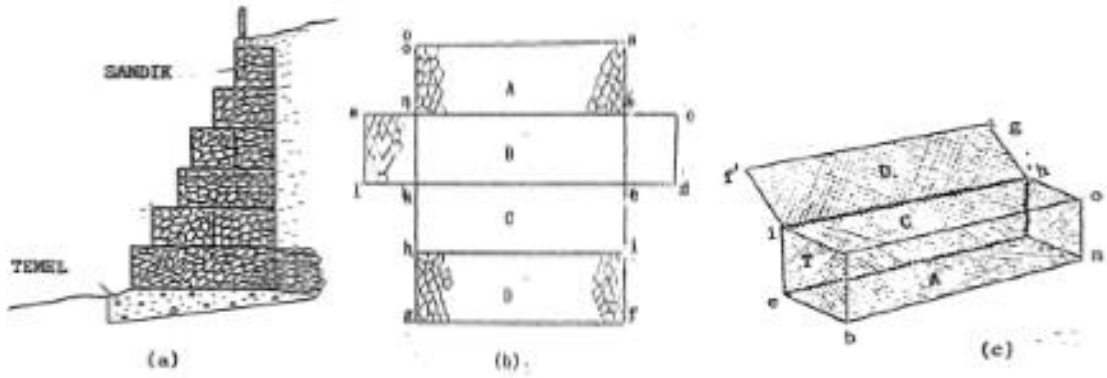
Tercih edilecek olan uzunluk ve yükseklikte betonarme kiriş ya da metal kiriş elemanlarıyla Şekil 3.8.'de de görüldüğü gibi birbirine bağlı, istifli yanları kapalı ve üstü açık bölmelerden oluşan yapı elemanıdır. İçleri taş ve türevi malzemelerle doldurularak inşa edilmektedir. 6 m'yi geçen yüksekliklerde bölme sayısı arttırılmaktadır. Bakımlarının kolay olması, kullanılan malzemeden dolayı kendi içlerinde drenajı oluşturmaları, küçük oturmaların sorun teşkil etmemesi, inşasının hemen ardından bekleme olmaksızın yük taşıyabilmeleri gibi avantajlarının olması tercih edilmesini arttırıcı özellikleridir. Betonarme kafes türü ve çelik kafes türü dayanma yapıları yapıldığı malzemeye göre iki sınıfta incelenmektedir [11,13].



Şekil 3.8. Kafes tipi dayanma duvarlarını oluşturan hücreler (a) birbirine geçmeli betonarme hücre, (b) çelik hücre [11].

3.2.2.2. Sandık tipi dayanma duvarı

Sandık tipi dayanma duvarları, kaya parçalarının önceden hazırlanmış çelik tellerden yapılan tel örgü sandıklar içine konulmasıyla inşa edilen yapılardır. Sandık boyutları taban 1m×1m ve uzunluğu 2m-4m arasındadır. Duvarın gövdesi kaya dolgu olduğu için drenaj sorunu oluşmamaktadır [13].



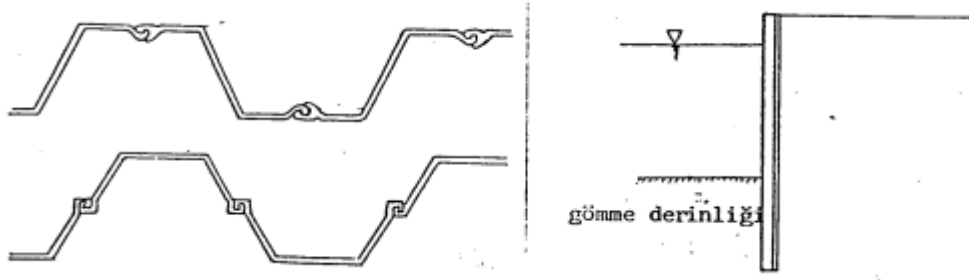
Şekil 3.9. Sandık tipi dayanma duvarı (a) duvar kesiti, (b) sandığın oluşturulması, (c) taş dolguya hazır sandık [11]

3.2.3. Esnek Dayanma Yapıları

Esnek dayanma yapıları, eğilme rijitlikleri ele alındığında rijit dayanma yapılarına göre daha esnek olan yapılardır. Denge hesapları yapılırken yapı ağırlığı hesaba dahil edilmez. Zemin yükleri altında yapı alt uçlarından dönmez. Esnek dayanma yapılarının rijit ve yarı rijit dayanma yapılarına göre tercih edilme sebepleri şu şekilde sıralanabilir. Temel zeminin basit dayanma yapılarını taşıyamayacak kadar yetersiz olması, yapımının kolay olması, geçici duvar gerektiren yerler ve yeniden kullanma olanağının ekonomik olması gibi durumlar başlıca tercih nedenleri arasındadır. Palplanş perdeleri ve donatılı zemin (toprakarme) yapıları bu tür yapılar içerisinde sayılmaktadır [13].

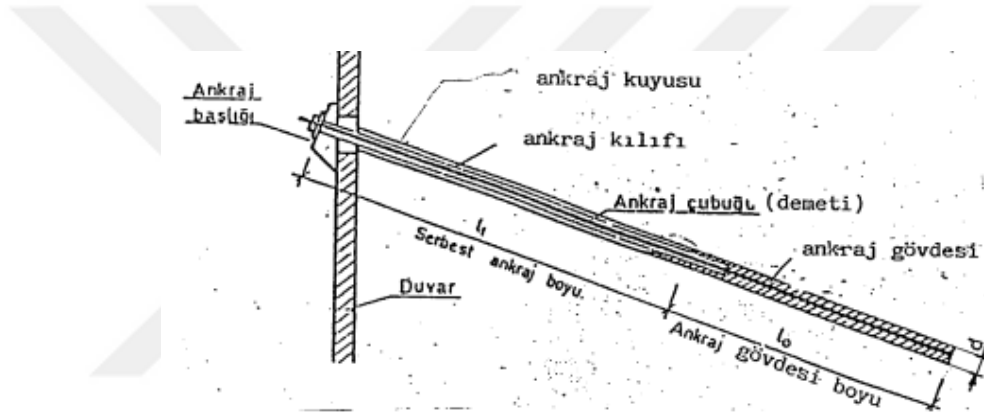
3.2.3.1. Palplanş perdeleri

Ankastre ve ankrajlı palplanş olmak üzere iki tipi vardır. 6.00 m yüksekliğe kadar ankastre palplanş perdeleri; daha fazla yüksekliklerde ise ankrajlı perdeler ekonomik olmaktadır. Genel olarak çelik, ahşap ve hazır betonarme plakların yan yana çakılmasıyla yapılırlar. Taşıma ve çakma kolaylığı, ekonomik olması, suya karşı büyük ölçüde geçirimsiz olmasından dolayı çelik palplanşlar daha çok tercih edilmektedir. (Şekil 3.10.)



Şekil 3.10. Çelik palplanşın tipik en kesiti ve Ankastre palplanş [11]

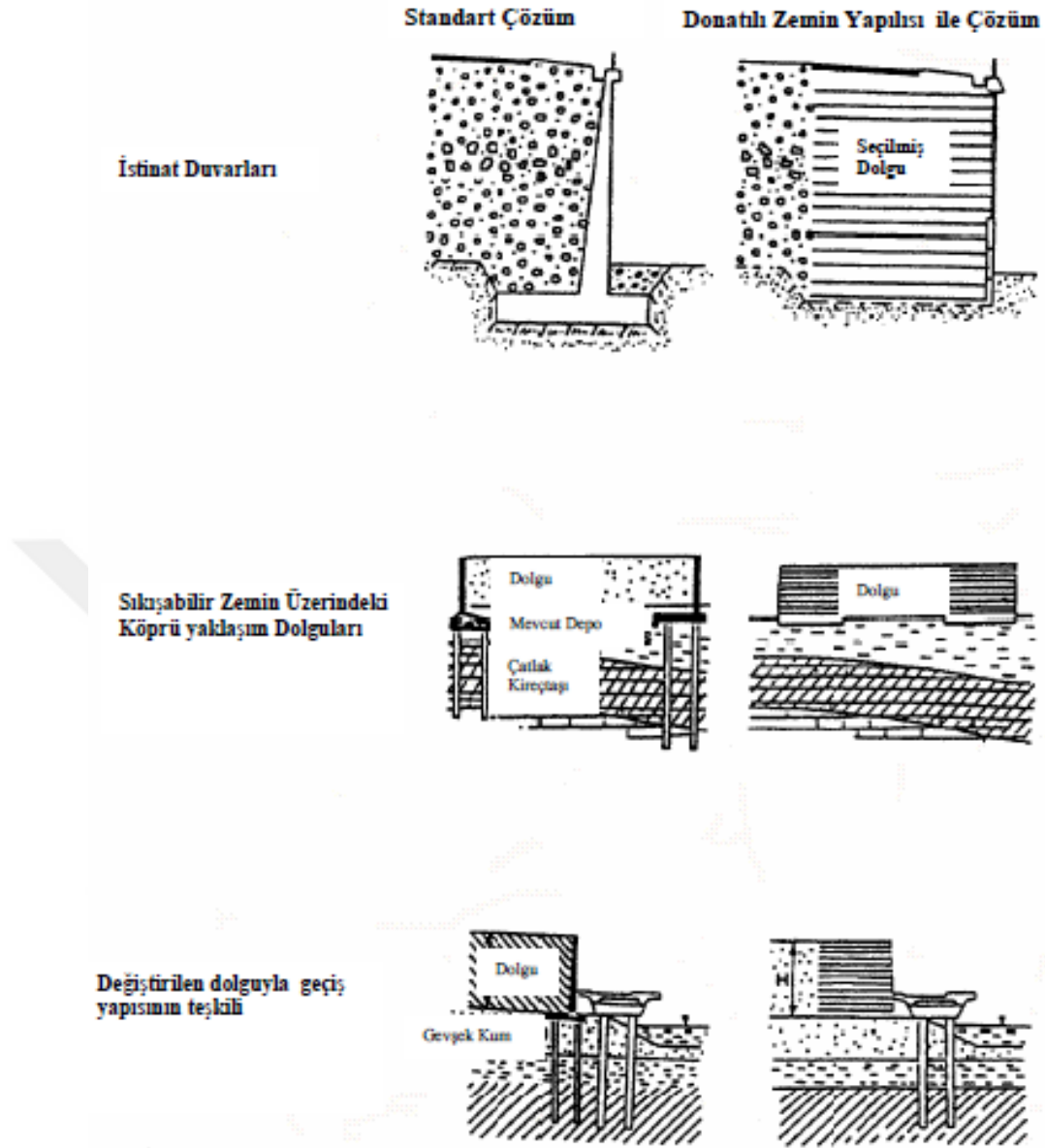
Ankastre palplanşlarda stabilite büyük ölçüde çakma derinliğine bağlıdır. Ankrajlı palplanşlarda ise perde çakıldıktan sonra perdeye gelecek yüklerden dolayı perdenin stabilitesi üst seviyelerde yapılan ankrajlarla sağlanır. (Şekil 3.11.)



Şekil 3.11. Ankrajlı palplanş ve ankraj detayı [11]

3.2.3.2. Donatılı zemin

Donatılı zemin yapıları, zeminin kritik yönlerdeki mukavemetini arttırmak amacıyla içerisine çekmeye dayanıklı ve zeminle arasında yeterli sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geotekstiller veya metal şeritler yerleştirilerek elde edilen kompozit bir yapı olarak tanımlanabilir [15]. Ekonomik olması, yapımında kalıp gerektirmemesi, hızlı yapılabilmesi, deprem yüklerinden meydana gelecek olan deplasman ve yükleri karşılayacak esneklikte olması, estetik görünüşe sahip olması uygun arazi şartlarında tercih edilmektedir. Körük tip, teleskop tip, kılavuzlu tip olmak üzere üç tipi vardır.



Şekil 3.12. Farklı zemin problemlerinin donatılı zemin kullanarak aşılması [16]

3.3. Konsol Dayanma Yapılarının (İstinat Yapılarının) Statik Ve Dinamik Etkiler Altında Stabilitesi

Dayanma yapılarının ön tasarımının yapılmasıyla birlikte yapıya gelen statik ve dinamik zemin etkileri belirlenir. Dayanma yapılarının bu etkiler altında kayma, devrilme, taban basınçları ile ilgili kontrolleri yapılmaktadır. Bu kontroller yapıldıktan sonra dayanma yapısının bulunduğu bölgede toptan göçme kontrolü yapılmaktadır.

3.3.1. İstinat Yapılarının Stabilitesi

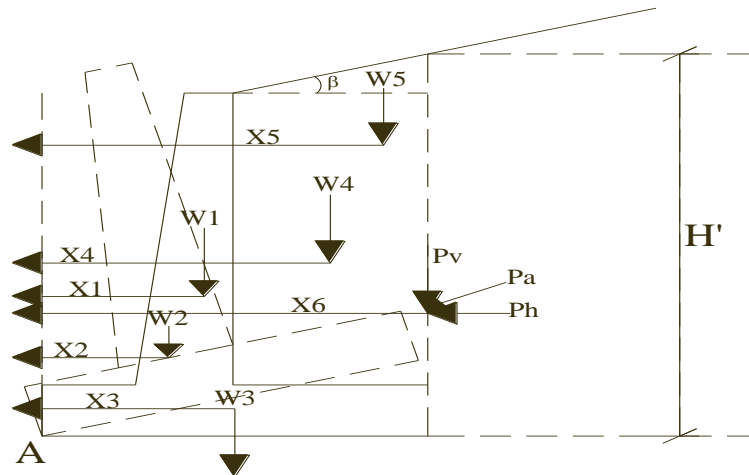
Dayanma yapılarına, depremlili ve depremsiz durumlarda gelen yükler altında aşağıda belirtilen stabilite kontrollerini sağlamalıdır.

Bunlar;

1. Devrilme Kontrolü
2. Kayma Kontrolü
3. Taban Basıncı Kontrolü
4. Toptan Göçme Kontrolü
5. Oturma Kontrolü
6. Malzeme Kontrolü

3.3.1.1. Devrilme kontrolü

Dayanma yapılarının arka kısmında zeminden ve ilave yüklerden dolayı oluşan toprak basınçları duvarı A topuk noktası etrafında döndürerek devrilmeye zorlar. Duvarı devirmeye zorlayan kuvvetler, duvar ağırlığı ve duvarın ağırlığına katkıda bulunan zemin ağırlığı ile karşılanır. Duvarın devrilmeye karşı güvenliği; devirmeye çalışan kuvvetlerin momenti ve devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momenti karşılaştırılarak yapılır. (Şekil 3.13.)



Şekil 3.13. Devrilmeye etki eden kuvvetler ve A noktasına göre moment kolları

$$F_{S_{\text{devrilme}}} = \frac{\sum M_R}{\sum M_0} \geq G_{\text{Güvenlik}} \quad (3.1)$$

Şartını sağlamalıdır.

$F_{S_{\text{devrilme}}}$: Devrilmeye karşı güvenlik sayısı

$\sum M_R$: Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı

$\sum M_0$: Devrilmeye zorlayan kuvvetlerin momentleri toplamı

$$\sum M_R = W_1(X_1) + W_2(X_2) + W_3(X_3) + W_4(X_4) + W_5(X_5) + P_v(X_6) \quad (3.2)$$

$$\sum M_0 = P_h \times \frac{H}{3} \quad (3.3)$$

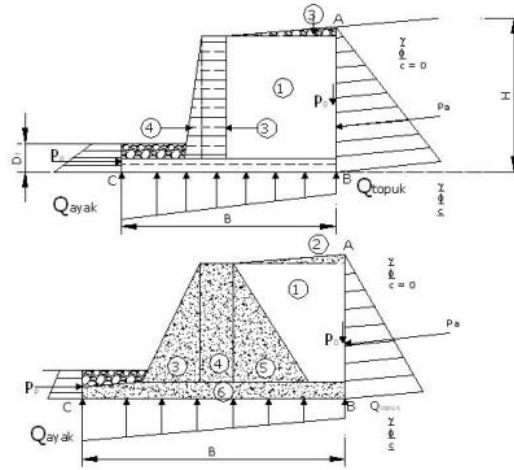
Depremlı durumda devrilmeye karşı dayanma yapıları Denklem (3.4)'deki koşulu sağlamalıdır.

$$E_{\text{dev}} \leq \frac{R_{\text{dev}}}{\gamma_{R\text{dev}}} \quad (3.4)$$

E_{dev} : Devrilmeye zorlayan etkiler toplamı

R_{dev} : Devrilmeye karşı koyan etkiler ve dirençler toplamı

$\gamma_{R\text{dev}}$: Devrilmeye karşı tasarım güvenlik katsayısı. $\gamma_{R\text{dev}} \geq 1.3$ olmak üzere tasarım yapılırken projeden sorumlu kişi tarafından seçilir.



Şekil 3.14. Rankine teorisine göre devrilme tahkininde oluşan kuvvetler [17]

3.3.1.2. Kayma kontrolü

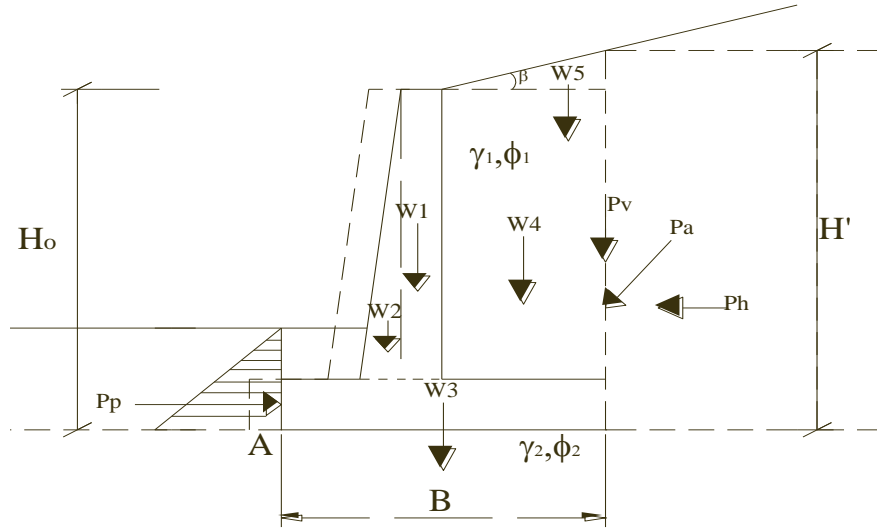
Kaymaya karşı güvenlik, kaymaya karşı koyan kuvvetlerin toplamıyla kaymaya zorlayan kuvvetlerin toplamının oranlanmasıyla Denklem (3.5) elde edilir. Duvara gelen yanal toprak basınçları duvarı temel in oturduğu zemin üzerinden kaydırmaya zorlayacaktır. Bu zorlama temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme, duvarın ağırlığı, topuk üzerinde bulunan zeminin ağırlığı, toprak basıncının düşey bileşeni, adhezyon kuvveti, duvar önünde oluşan toprak basıncıyla karşılanır.

$$F_{S_{kayma}} = \frac{\sum F_{R'}}{\sum F_d} \quad (3.5)$$

$F_{S_{kayma}}$: Kaymaya karşı güvenlik sayısı

$\sum F_{R'}$: Kaymaya karşı koyan kuvvetler toplamı

$\sum F_d$: Kaymaya zorlayan kuvvetler toplamı



Şekil 3.15. Kaymaya zorlayan ve karşı koyan kuvvetler

$$F_{s_{\text{kayma}}} = \frac{(\sum V)\tan(k_1\phi_1) + Bk_2c + P_p}{P_h} \quad (3.6)$$

Duvar tabanına etkiyen düşey basınçlar toplamı:

$$\sum V = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 + W_5 + P_v \quad (3.7)$$

k_1 ve k_2 : Azaltma katsayısı

ϕ : Kayma direnci açısı

c : Kohezyon

P_p : Pasif toprak basıncı

P_h : Aktif toprak basıncının düşey bileşeni

$$P_h = P_a \cos\beta \quad (3.8)$$

Depremlı durumda kaymaya karşı dayanma yapıları Denklem (3.9)'deki koşulu sağlamalıdır.

$$V_{th} \leq R_{th} + 0.3R_{pt} \quad (3.9)$$

V_{th} : Temel tabanında etkiyen tasarım yatay kuvveti

R_{th} : Tasarım sürtünme direnci

R_{pt} : Tasarım pasif direnci

Tasarım sürtünme direnci R_{th} drenajlı durumda Denklem (3.10) ile hesaplanabilir.

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma_{Rh}} \quad (3.10)$$

P_{tv} : Temel tabanına etkiyen tasarım yatay kuvveti

δ : Temel tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı

γ_{Rh} : Sürtünme direnci dayanım katsayısı

Tasarım sürtünme direnci R_{th} drenajsız durumda Denklem (3.11) ile hesaplanabilir.

$$R_{th} = \frac{A_c C_u}{\gamma_{Rh}} \quad (3.11)$$

A_c : Duvarın birim uzunlu için taban alanı

c_u : Taban zeminin drenajsız kayma mukavemeti

Tasarım pasif direnci R_{pt} , karakteristik pasif direnç R_{pk} 'nin dayanım katsayısı

γ_{Rp} 'a bölünmesiyle elde edilir Denklem (3.12).

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma_{Rp}} \quad (3.12)$$

Tablo 3.1. Depremsiz durumda dayanma yapıları için güvenlik sayıları [11]

		Dayanma Yapısı Tipi			
		Ağırlık	Konsol	Kafes	Donatılı Zemin
Kayma	Kil	1.6	2.0	1.5	1.5
	Kum	1.3	1.5	1.3	-
Devrilme		2.0	1.5	1.3	1.3
Toptan Göçme		1.25	1.5	1.25	1.5
Taşıma gücü	Kil	2	2	2	2
	Kum	3	3	3	3
Oturma		1.5	3	2	1.5

Tablo 3.2. Depremlı durumda dayanma yapıları için güvenlik sayıları [18].

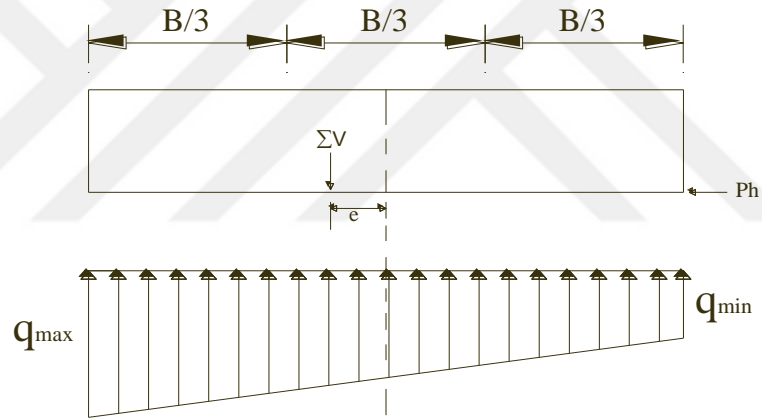
		Düşeyde Serbest Konsol
Kayma	Kil	1.1
	Kum	1.1
Devrilme		1.3
Toptan Göçme		1.2

Tablo 3.3. Taban zeminini için sürtünme katsayıları [19].

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

3.3.1.3. Dayanma yapılarında taban basıncı kontrolü

Dayanma duvarının taban plağının altında duvara tesir eden yüklerden dolayı gerilmeler meydana gelir. Bu gerilmeler kontrol edilerek temel taşıma gücünü geçmemelidir. Şekil (3.15.)’de görüldüğü gibi tabanda trapez şeklinde taban basınçları meydana gelir. Tabanda çekme gerilmelerinin de oluşması istenmemektedir. Taban basınçlarını belirlemek için düşey bileşke kuvvetleri toplamı ($\sum V$) etkime noktasına göre moment alınarak bulunabilir. Dayanma yapılarının genelde ön ampatmanında en yüksek, arka ampatmanında en düşük basınçlar oluşmaktadır. Kontrollerin uygun olmaması durumunda zemin gerilmelerinin daha düzgün yayılması ve küçülmesi için taban plağı büyütülebilir veya taban plağı yükü daha derinde sağlam zemine iletebilecek kazıklar üstüne yerleştirilebilir.



Şekil 3.16. Duvar tabanına etkiyen bileşke kuvvetin yeri ve basınç dağılımı

$$x = \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} \quad (3.13)$$

$\sum M_R$: Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin momentleri toplamı

$\sum M_o$: Devrilmeye zorlayan kuvvetlerin momentleri toplamı

$\sum V$: Düşey bileşke kuvvetleri toplamı

x : Düşey bileşke kuvvetin moment alınan noktaya olan uzaklığı

$$e = \frac{B}{2} - x \quad (3.14)$$

$$e = \frac{B}{2} - x < \frac{B}{6} \quad (3.15)$$

e: Dış merkezlik

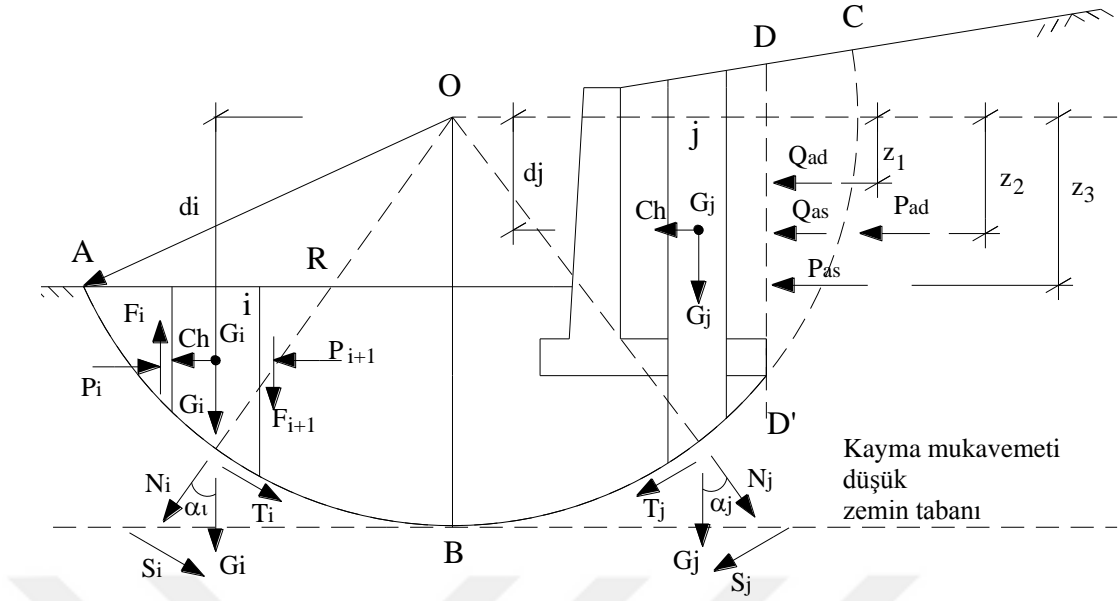
$$q_{\max}^{\min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (3.16)$$

Dış merkezlik Denklem (3.15)'i sağlamaz ise yani B/6 değerinden büyük olması durumunda toprak kısmında istenmeyen çekme gerilmeleri meydana gelir. Çünkü çekme dayanımı zeminlerde oldukça azdır.

3.3.1.4. Dayanma yapılarında toptan göçme kontrolü

Zeminin yumuşak olması, orta sıklıkta kil ve drenajsız şartlarda yüklenmiş olması, sıvılaşma probleminin olması, ince zayıf tabakalar ve yönelimli yüzeylerin olması durumları beraberinde yapılar için göçme problemlerini oluşturmaktadır. Bu durumlarda şev stabilitesi analizi yapılmalıdır. Bu analizlerin yapılması için birçok metot ve yöntem geliştirilmiştir. İsveç Dilim Metodu ve ϕ Dairesi Metodu kullanımı yaygın metotlardandır.

Bazen literatürde Fellenius Metodu olarak da karşımıza çıkan İsveç Dilim Metodu, kayma yüzeyini 0 merkezi etrafında dönen silindirik bir yüzey olarak kabul etmektedir Şekil (3.17.).



Şekil 3.19. Betonarme konsol istinat duvarlarının toptan göçme güvenliği kontrolünde dikkate alınan itkiler [20]

Toptan göçmenin olmaması için dönme merkezi O ya göre kaymayı önleyici kuvvetlerin momentinin, kaydırmaya çalışan kuvvetlerin momentinden büyük olması gerekir [20].

Bu durumda güvenlik için;

Depremsiz durumda;

$$G_{TG} = \frac{R \cdot \sum c \cdot l_i + R \cdot \sum \mu \cdot N_i}{R \cdot \sum T_i + Q_{as} \cdot z_2 + P_{as} \cdot z_3} \geq G_{Güvenlik} \quad (3.16)$$

Depremlı durumda;

$$G_{TG} = \frac{R \cdot \sum c \cdot l_i + R \cdot \sum \mu \cdot N_i}{R \cdot \sum T_i + Q_{as} \cdot z_2 + P_{as} \cdot z_3 + Q_{ad} \cdot z_1 + P_{ad} \cdot z_2 + \sum C_h \cdot G_i \cdot d_i} \geq G_{Güvenlik} \quad (3.17)$$

şartı sağlanmalıdır.

Burada;

C_h : Yatay deprem ivme katsayısı,

d_i : Dilim ağırlık merkezinin O merkezine düşey mesafesi,

l_i : Her dilimin tabandaki yay boyu,

R : O merkezli kayma düzleminin yarı çapı,

$z_{1,2,3}$: Yanal toprak itkilerinin O merkezine göre moment kolları,

c : Kayma yüzeyimin geçtiği zemin tabakasının kohezyon direnci,

μ : Kayma yüzeyimin geçtiği zemin tabakasının sürtünme direnci,

$$\mu = \tan\Phi \quad (3.18)$$

G_i ağırlıklı her dilimin, taban yay boyunun orta noktasındaki teğetinin, yatayla yaptığı açı α_i olmak üzere;

$$N_i = G_i \cdot \cos\alpha_i \quad (3.19)$$

$$T_i = G_i \cdot \sin\alpha_i \quad (3.19)$$



BÖLÜM 4. STATİK VE DİNAMİK YÜKLERİN ETKİSİNDE DAYANMA YAPILARI

4.1. Giriş

Dayanma duvarlarına etki eden toprak basınçlarını iki ana başlık altında inceleyebiliriz. Bunlardan ilki deprem olmadığı durumda etkiyen basınca statik toprak basıncı, depremin gerçekleştiği durumda ise statik toprak basıncına ek olarak meydana gelen basınçlara dinamik toprak basınçları adı verilmektedir. Dayanma yapılarının projelendirilme aşamasında duvara etkiyen yanal toprak basıncının belirlenmesi gerekmektedir. Yanal toprak basıncını belirlemek amacıyla uzun yıllar boyunca çeşitli teoriler ve hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Bu bölümde dayanma duvarlarına etki eden yanal toprak basınç dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan teoriler açıklanmakta olup, deprem durumunda dinamik etkiler ve yer değiştirmelere bağlı hesap yöntemleri ele alınmaktadır.

4.2. Yanal Toprak Basıncı

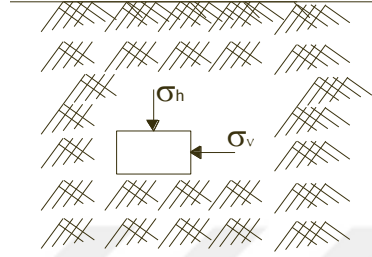
Dayanma yapılarının projelendirilebilmesi için yapıldığı ortamda yapıya gelen toprak basınçlarının bilinmesi gerekir. Bu tür yapılara genelde yanal yönde toprak basınçları etki etmektedir. Duvarın arka bölgesinde oluşacak yanal toprak basıncının şekli ve miktarını belirleyen bir takım etkenler bulunmaktadır.

Bu etkenler şunlardır:

- a) Duvar tipi
- b) Dayanma duvarına müsaade edilecek hareketin miktarı
- c) Zeminin kayma mukavemeti parametreleri
- d) Zeminin birim hacim ağırlığı

e) Zeminin drenaj koşulları

Şekil 4.1.'de gösterilen zemin kütesinin yatay toprak basıncı; denklem (4.1)'de gösterildiği gibi yatay gerilme (σ_h) ile düşey gerilme (σ_v) arasındaki orana bağlı olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 4.1. Bir zemin elemanına etkiyen gerilmeler

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (4.1)$$

$$\sigma_h = K \cdot \sigma_v \quad (4.2)$$

Yatay toprak basınçları sükûnetteki toprak basıncı, aktif toprak basıncı ve pasif toprak basıncı olarak üç durum için tanımlanır ve her durum için kullanılan toprak basıncı katsayıları farklıdır [21].

4.2.1. Sükûnetteki toprak basıncı

Tasarımı yapılan dayanma yapılarında yatay deplasmanın olmadığı ve duvarın tamamen hareketsiz olduğu doğal duruma sükûnetteki durum adı verilmektedir. Dayanma duvarının hiçbir şekilde hareketine izin verilmemesi durumunda belirli bir z derinliğinde meydana gelecek olan yanıl toprak basıncının hesaplanabilmesi için öncelikle düşey gerilmenin bulunması gerekmektedir.

$$\sigma_v = q + \gamma \cdot z \quad (4.3)$$

Bu denklemde ifade edilen;

q = sürşarj yükü,

γ = zeminin birim hacim ağırlığı,

z = duvar arkası zemin yüzünden derinliktir.

Zeminde; zeminin kendi ağırlığı ve buna ek olarak etki eden dış yükler sebebiyle yanal gerilmeler oluşacaktır. Bulduğumuz düşey gerilmelerden yola çıkarak yanal toprak basıncı Denklem 4.4'de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_v = K_0 \cdot \sigma'_v + u \quad (4.4)$$

Bu denklemde ifade edilen;

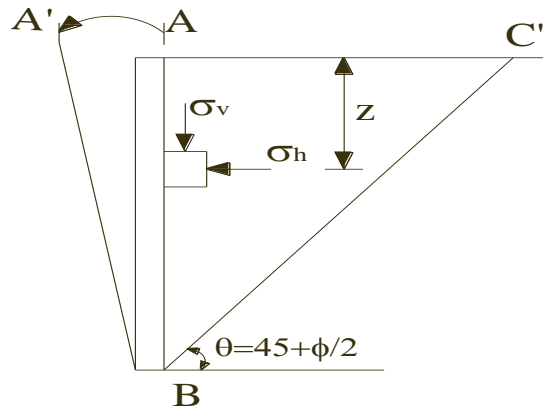
K_0 = sükûnetteki yanal toprak basıncı katsayısı,

u = hidrostatik su basıncı,

Sükûnet durumundaki yanal toprak basıncı katsayısı boyutsuz bir parametre olup zeminin cinsi, gerilme tarihçesi gibi etkenlerle ilişkili olarak bir takım farklılıklar gösterebilmektedir.

4.2.2. Aktif toprak basıncı

Aktif toprak basıncı, sükûnetteki durumun aksine duvarın yeterli miktarda öne doğru hareket etmesi sonucu oluşmaktadır. Duvarın öne doğru bir miktar hareketine müsaade edilir. Duvarın öne doğru bir miktar hareketi ile birlikte duvar arkasında zeminde bir kırılma kaması oluşur ve oluşan bu kayma kaması duvarı hareket etmeye zorlar. Bu durumda duvara sükûnetteki duruma göre daha az bir yanal itki oluşur. Bu durumda duvar arkasında oluşan kayma kamasının duvara yapmış olduğu yanal toprak basıncına aktif toprak basıncı adı verilmektedir. Şekil 4.2.'de de görüldüğü gibi meydana gelen kayma düzlemleri, yatay düzlem ile $45 + \theta / 2$ açı oluşturmaktadır.



Şekil 4.2. Aktif toprak basıncı durumu

Dayanma duvarında aktif basınçların oluşabilmesi için duvarın az miktarda deplasman yapması yeterli olmaktadır. Gerekli deplasman miktarları; farklı zemin tipleri ve dayanma duvarının H yüksekliğine bağlı olarak ilişkilendirilmesi Tablo 4.1.'de gösterilmektedir.

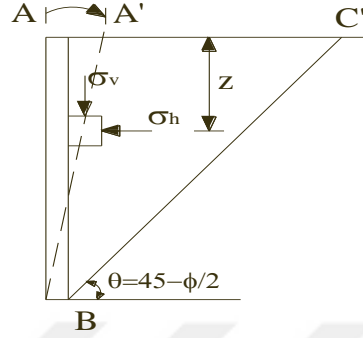
Tablo 4.4. Aktif toprak basıncının oluşması için gereken tipik yer değiştirmeler [22]

Zemin Tipi	Gerekli Deplasman Miktarı
Gevşek Kum	0.001H-0.002H
Sıkı Kum	0.0005H-0.001H
Yumuşak Kil	0.02H
Sert Kil	0.01H

4.2.3. Pasif Toprak Basıncı

Pasif toprak basıncı, sükûnetteki durumun aksine duvarın yeterli miktarda geriye doğru hareket etmesi sonucu oluşmaktadır. Duvarın geriye doğru doğru bir miktar hareket ettirilmesi sonucu duvar arkasında zeminde bir kırılma kaması oluşur ve oluşan bu kayma kaması duvarı hareket etmeye zorlar. Bu durumda duvara sükûnetteki

duruma göre daha fazla bir yanal itki oluşur. Duvar arkasında pasif toprak basıncının doğması durumunda oluşan kırılma kaması yatay düzlem ile $45-\theta/2$ açı oluşturmaktadır (Şekil 4.3.).



Şekil 4.3. Pasif toprak basıncı durumu

Pasif toprak basınçlarının oluşabilmesi için duvarın zemine doğru belli bir miktarda deplasman göstermesi gerekmektedir. Gerekli deplasman miktarları, farklı zemin tipleri ve istinat duvarının H yüksekliğine bağlı olarak ilişkilendirilmesi Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Pasif toprak basıncının oluşması için gereken tipik yer değiştirmeler [22]

Zemin Tipi	Gerekli Deplasman Miktarı
Gevşek Kum	0.001H
Sıkı Kum	0.0005H
Yumuşak Kil	0.04H
Sert Kil	0.02H

4.3. Statik Toprak Basınçları Etkisinde Dayanma Yapıları

Dayanma duvarlarına yanal yönde etkiyen aktif ve pasif toprak basınçlarının hesaplanması üzerine birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu konuya yönelik ilk çalışmalar Charles-Augustin de Coulomb (1776) ve William Rankine (1857) tarafından yapılmıştır. Bu bölümde dayanma istinat duvarlarına etkiyen statik toprak basınçlarının hesaplanmasında uygulamalarda en çok kullanılan Rankine ve Coloumb yöntemleri detaylı olarak anlatılmaktadır.

4.3.1. Rankine toprak basıncı teorisi

Rankine 1857’ de minimum aktif ve maksimum pasif toprak basınçlarını hesaplamak için pratik bir yöntem geliştirmiştir. İlk olarak kohezyonsuz zeminler için önerilen bu yöntem zamanla kohezyonlu zeminler için genelleştirilmeye başlanmıştır. Rankine tarafından incelenen plastik denge durumlarına “Rankine Plastik Denge Durumları” denir. Bu teoriye göre, bir duvar arkasında zeminin aşağıdaki kabuller altında zemin plastik dengeye ulaşmaktadır [12,18]. Rankine teorisinde aktif durumda kırılma kamasının oluşması için yapılan başlıca kabuller aşağıda verilmiştir.

1. Zemin homojen ve izotropdur,
2. Zemin kayma direnci tek bir parametre ile ifade edilebilmektedir,
3. Duvar arkasında meydana gelen kırılmada zemin üçgen şeklinde rijit bir kama,dir,
4. Duvar arkasının pürüzsüz ve bu nedenle zemin ile duvar arka yüzeyi arasında sürtünme yoktur,
5. Kırılma iki boyutlu bir problemdir.

4.3.1.1. Aktif durum

Zeminin üniform olarak yanal yönde genişlemesi durumuna veya diğer bir deyişle duvarın öne doğru bir miktar hareketi ile oluşan kırılma durumuna “Aktif Rankine Durumu” adı verilmektedir. Aktif durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile $(45 + \theta / 2)^\circ$ ’lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir.

Duvarın arka yüzeyinde sürtünme meydana gelmediği kabulü yapılarak, zeminin üst yüzeyinden belirli bir z derinliğinde oluşan statik aktif toprak basıncı Mohr çemberi yardımıyla aşağıda gösterilen denklem ile bulunabilmektedir.

$$\sigma_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{as}} \quad (4.5)$$

- c : Zeminin kohezyonu,
 K_{as} : Statik aktif toprak basıncı katsayısı,
 γ : Zeminin birim hacim ağırlığıdır.

Statik toprak basıncı katsayısı olan K_{as} ise aşağıda gösterilen denklem vasıtasıyla bulunabilmektedir

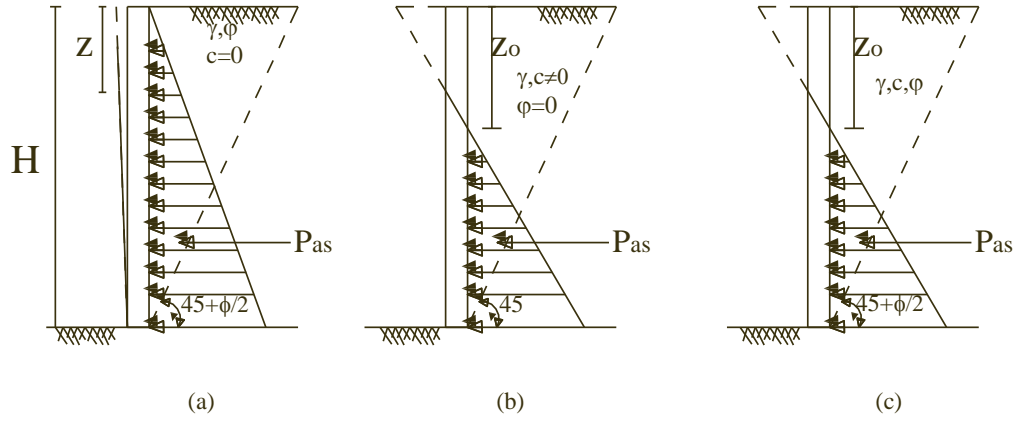
$$K_{as} = \operatorname{tg}^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad (4.6)$$

ϕ : Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı.

Dayanma duvarı arkasındaki zeminin kuru kum olması durumunda duvara etkiyen aktif toprak basıncının bileşke kuvveti duvar yüksekliği H boyunca integrali alınarak aşağıda gösterilen denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (4.7)$$

Duvara gelen yanal toprak basıncı derinlikle lineer olarak artmaktadır. Aktif Rankine durumunda kum, kil ve kum kil karışımı zeminler için statik basınç dağılımı ve aktif toprak basıncı Şekil 4.4.'de gösterilmekte olup, aktif toprak basıncı hesap yöntemleri ise Tablo 4.3.'de özetlenmektedir. Statik aktif zemin basıncının dağılımı zeminin kohezyonuna, içsel sürtünme açısına ve zemin üst yüzeyinin eğimine bağlı olarak değişmektedir [23].



Şekil 4.4. (a) kum, (b) kil, (c) kum-kil karışımı zeminlerde Rankine aktif statik basınç dağılımı

Tablo 4.6. Aktif Rankine durumunda zemin itkileri [23]

a) Kumlu Zeminlerde	b) Killi Zeminlerde	c) Kum-Kil Zeminlerde
$K_{as} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$	$z_0 = \frac{2c}{\gamma}$	$z_0 = \left(\frac{2c}{\gamma}\right) \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
$\sigma_{as}(z) = K_{as} \cdot \gamma \cdot z$	$\sigma_{as}(z) = \gamma \cdot z - 2c$	$\sigma_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \cdot \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$
$P_{as} = K_{as} \cdot \gamma \cdot \frac{H^2}{2}$	$P_{as} = \frac{\gamma H^2}{2} - 2cH + \frac{2c^2}{\gamma}$	$P_{as} = \left(\frac{\gamma \cdot H^2}{2}\right) \cdot \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) - 2cH \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) + \frac{2c^2}{\gamma}$

4.3.1.2. Pasif durum

Zeminin üniform olarak yanal yönde sıkışması durumuna veya diğer bir deyişle duvarın geriye doğru bir miktar hareketi ile oluşan kırılma durumuna “Pasif Rankine Durumu” adı verilmektedir. Pasif Rankine durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile $(45 - \theta/2)^\circ$ ’lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir. Duvarla zemin arasında sürtünme meydana gelmediği kabulü yapılarak, zeminin üst yüzeyinden belirli bir z derinliğinde oluşan statik aktif toprak basıncı Mohr çemberi yardımıyla aşağıda gösterilen denklem ile bulunabilmektedir.

$$\sigma_{ps}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{ps} + 2c\sqrt{K_{ps}} \quad (4.8)$$

denklemleri ile hesaplanabilmektedir.

Statik pasif toprak basıncı katsayısı olan K_{ps} ise aşağıda gösterilen denklem vasıtasıyla bulunabilmektedir.

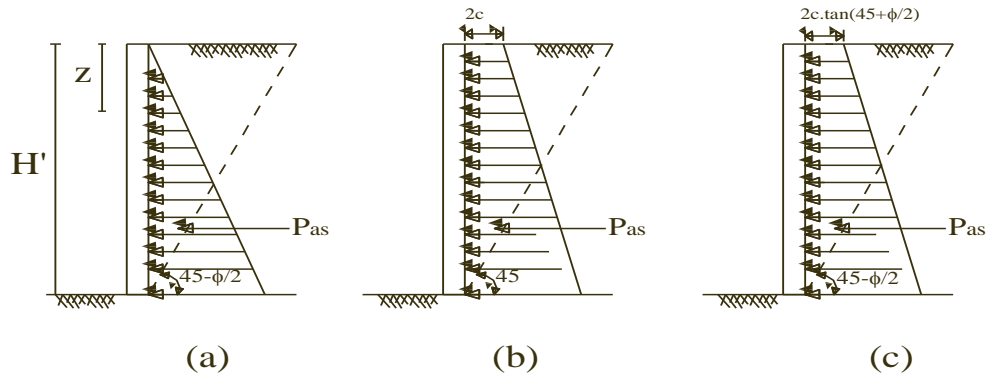
$$K_{ps} = tg^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (4.9)$$

ϕ : Duvar arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısı.

Dayanma duvarı arkasındaki zeminin kuru kum olması durumunda duvara etkiyen pasif toprak basıncının bileşke kuvveti duvar yüksekliği H boyunca integrali alınarak aşağıda gösterilen denklem yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{ps} \quad (4.10)$$

Duvara gelen yanal toprak basıncı derinlikle lineer olarak artmaktadır. Pasif Rankine durumunda kum, kil ve kum kil karışımı zeminler için statik basınç dağılımı ve pasif toprak basıncı Şekil 4.5.'de gösterilmekte olup, pasif toprak basıncı hesap yöntemleri ise Tablo 4.4.'de özetlenmektedir. Statik yanal pasif zemin basıncının dağılımı zeminin kohezyonuna, içsel sürtünme açısına ve zemin üst yüzeyinin eğimine bağlı olarak değişmektedir [23].



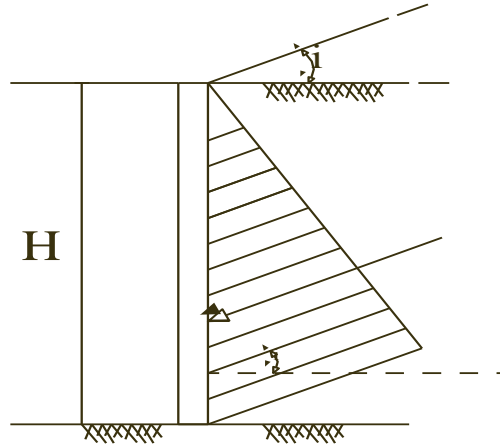
Şekil 4.5. (a) kum, (b) kil, (c) kum-kil karışımı zeminlerde Rankine aktif statik basınç dağılımı

Tablo 4.7. Pasif Rankine durumunda zemin itkileri [23]

a) Kumlu Zeminlerde	b) Killi Zeminlerde	c) Kum-Kil Zeminlerde
$K_{ps} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$	$\sigma_{ps}(z) = \gamma \cdot z + 2c$	$\sigma_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
$\sigma_{ps}(z) = K_{ps} \cdot \gamma \cdot z$	$P_{ps} = \frac{\gamma H^2}{2} + 2cH$	$P_{as} = \left(\frac{\gamma H^2}{2}\right) \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2cH \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$
$P_{ps} = K_{ps} \cdot \gamma \cdot \frac{H^2}{2}$		

4.3.1.3. Duvar arkası zeminin eğimli olması durumunda rankine yöntemi

Duvar arkası zemin üst yüzeyinin yatay ile 'i' açısı yaptığı durumlarda aktif ve pasif durumlarda statik toprak basıncı katsayıları sonsuz şev çözümleri kullanılarak farklı bir şekilde hesaplanmaktadır [24]. Yatay ile 'i' açısı yapan bir durum ~~deği~~ Şekil 4.6.'da gösterilmektedir. Bu durumda oluşan toprak basıncı katsayıları, statik aktif toprak basıncı ve statik pasif toprak basıncı olmak üzere Denklem 4.11 ve Denklem 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Zeminin yatay ile i açısı yaptığı durum

$$K_{as} = \cos i \cdot \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \quad (4.11)$$

$$K_{ps} = \cos i \cdot \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}} \quad (4.12)$$

4.3.2. Coulomb toprak basıncı teorisi

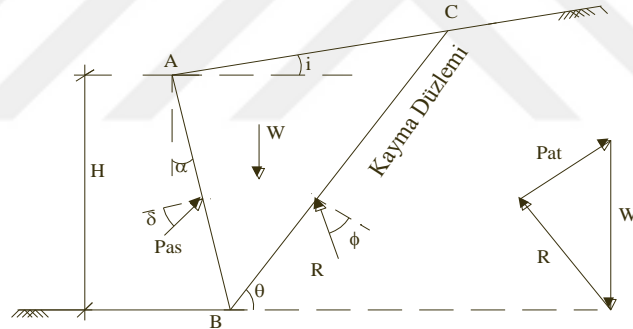
Dayanma duvarlarına etkiyen yanal toprak basınçları üzerindeki çalışmalardan diğeri ise Charles Augustin de Coulomb'a aittir. Coulomb teorisinin diğeri bilinen adı ise kama teorisidir. Coulomb, deplasman gösteren duvarın arkasındaki zeminin tamamını dikkate almakta ve zemin kütlesinde kama şeklinde kaymaların meydana geleceğini kabul etmektedir. Rankine teorisinin aksine zemin ve duvar ara yüzeyi arasında sürtünme olduğunu ve dolgu malzemesi olarak granüler zemin kullanılmasını savunmuştur. Coulomb yanal toprak basıncı teorisinde, duvarın deplasmanı sırasında duvarın arka bölgesinde oluşan ve kayan zemin kütlesinin dengesini dikkate alıp minimum aktif ve maksimum pasif toprak basınçlarını kuvvet dengesi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Bu teoride duvar arkasında kırılan toprak kaması için denge durumunda aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

1. Duvar arkasındaki zemin, kohezyonsuz, kuru, homojen, izotrop, bir dolgudur.
2. İstinat duvarının hareketiyle, dolguda bir kayma yüzeyi oluşur.

3. Gerçekte eğri olan kayma yüzeyi, düzlem kabul edilir.
4. Kayma kama kütesini oluşturan granüler malzeme, kayma yüzeyinin her tarafında ve aynı zamanda bir hareket oluşturur.
5. Duvarla zemin arasında sürtünme vardır.
6. Birim yüzeydeki kayma direnci, kayma yüzeyi boyunca aynıdır. [13]

4.3.2.1. Aktif durum

Zeminin üniform olarak yanal yönde genişlemesi durumuna veya diğer bir deyişle duvarın öne doğru bir miktar hareketi ile oluşan kırılma durumuna “Aktif Coulomb Durumu” adı verilmektedir. Aktif durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile θ 'lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir. Duvarın arka yüzeyinde duvarla zemin arasında sürtünme meydana geldiği kabulü yapılarak, kırılan kamaya etki eden kuvvetlerin dengesinden problemin çözümü yapılmaktadır.



Şekil 4.7. Aktif durum için Coulomb teorisi ve kuvvet bileşeni

Şekil 4.7.'de üçgen kamaya etki eden kuvvetler gösterilmekte olup, bu kuvvetler aktif durumda bir kuvvet poligonu oluşturmaktadır. Burada ifade edilen,

P_{as} : Statik aktif toprak basıncı bileşke kuvveti

α : Duvar arka yüzeyinin düşey ile yapmış olduğu açı

ϕ : Zemin kayma mukavemeti açısı

W : Zemin kamasının ağırlığı

R : Göçme yüzeyinde doğan sürtünme ve normal kuvvetlerin bileşkesi

δ : P_{as} ile duvar arasında duvar-zemin sürtünme açısı

olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme açısı; İstinat duvarının arka yüzey pürüzlülüğü, zemin cinsine ve durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, $\phi/3$ ile $2\phi/3$ arasında bir değer seçilmektedir.

Kuvvet poligonunda yer alan kuvvetlerin yatay ve düşey denge denklemleri yazılarak duvara etki eden maksimum statik aktif toprak basıncı kuvveti hesaplanabilmektedir. (Denklem 4.13)

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (4.13)$$

Statik aktif toprak basıncı katsayısı K_{as} ise Denklem 4.14'de yer alan formül yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$K_{as} = \frac{\cos^2(\phi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha) \cdot \left(1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - i)}{\cos(\delta + \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}\right)^2} \quad (4.14)$$

Duvara etki eden yanal toprak basıncının derinlikle değişimi Denklem 4.15'de gösterilmiştir.

$$\sigma_{as} = \gamma \cdot z \cdot K_{as} \quad (4.15)$$

Duvar yüksekliği H olan yapıda statik aktif toprak basıncı bileşke kuvveti duvarın alt tabanından itibaren H/3 kadar yukarıda etmektedir.[23]

4.3.2.2. Pasif durum

Zeminin üniform olarak yanal yönde sıkışması durumuna veya diğer bir deyişle duvarın geriye doğru bir miktar hareketi ile oluşan kırılma durumuna "Pasif Coulomb Durumu" adı verilmektedir. Pasif durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile θ 'lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir. Duvarın arka yüzeyinde duvarla zemin arasında sürtünme meydana geldiği kabulü yapılarak, kırılan kamaya etki eden kuvvetlerin dengesinden problemin çözümü yapılmaktadır.

Şekil 4.8.'de üçgen kamaya etki eden kuvvetler gösterilmekte olup, bu kuvvetler pasif durumda bir kuvvet poligonu oluşturmaktadır. Burada ifade edilen,

P_{ps} : Statik pasif toprak basıncı bileşke kuvveti

α : Duvar arka yüzeyinin düşey ile yapmış olduğu açı

ϕ : Zemin kayma mukavemeti açısı

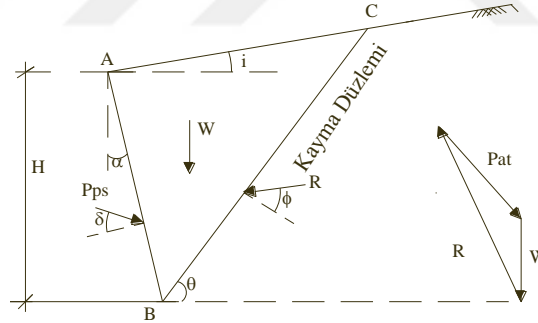
W : Zemin kamasının ağırlığı

R : Göçme yüzeyinde doğan sürtünme ve normal kuvvetlerin bileşkesi

δ : P_{as} ile duvar arasında duvar-zemin sürtünme açısı

olarak tanımlanmaktadır. Sürtünme açısı; İstinat duvarının arka yüzey pürüzlülüğü, zemin cinsine ve durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermekte olup, $\phi/3$ ile $2\phi/3$ arasında bir değer seçilmektedir.

Kuvvet poligonunda yer alan kuvvetlerin yatay ve düşey denge denklemleri yazılarak duvara etki eden maksimum statik aktif toprak basıncı kuvveti hesaplanabilmektedir (Denklem 4.16).



Şekil 4.8. Pasif durum için Coulomb kama ve kuvvet poligonu

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{ps} \quad (4.16)$$

Statik pasif toprak basıncı katsayısı K_{ps} ise;

$$K_{ps} = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha) \cdot \left(1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi + i)}{\cos(\delta - \alpha) \cdot \cos(i - \alpha)}\right)^2} \quad (4.17)$$

Duvara etki eden yanal toprak basıncının derinlikle değişimi Denklem 4.18'de gösterilmiştir.

$$\sigma_{ps} = \gamma \cdot z \cdot K_{ps} \quad (4.18)$$

Duvar yüksekliği H olan yapıda statik pasif toprak basıncı bileşke kuvveti duvarın alt tabanından itibaren H/3 kadar yukarıda etmektedir [23].

4.3.3. Rankine ile coulomb yöntemlerinin karşılaştırılması

1. Coulomb yönteminde zemin kuru ve kohezyonsuz olarak kabul görürken, Rankine'de ise zemindeki kohezyon dikkate alınarak statik durumda bulunan istinat duvarlarına etkiyen toprak basınçları hesaplanabilmektedir.
2. Rankine yönteminde dayanma duvarı ile zemin arasında sürtünme olmadığını varsayarken, Coulomb yönteminde ise sürtünme dikkate alınarak hesap yapılmaktadır.
3. Tabakalı zemin, kohezyonlu zemin ve yer altı suyu koşulları dikkate alındığı zaman Rankine toprak basıncı teorisi daha kolay uygulama olanağı sunmaktadır.
4. Rankine teorisi zeminin plastik denge durumundan yararlanarak toprak basıncını gerilmeye dayalı olarak bulabilme imkânı sağlamaktadır. Coulomb toprak basıncı teorisinde ise Coulomb zamanında trigonometrik fonksiyonlar henüz bilinmediği için Coulomb problemi geometrik yollar ile çözmeye başvurulmaktadır. Zemin kamasının dengesinden yola çıkarak bileşke kuvvet hesaplanmaktadır. Zamanla teorik ve grafik metotlar geliştirilmiş ve bugünkü şeklini almıştır [21].

4.4. Dayanma Yapılarına Gelen Dinamik Etkiler

Dayanma yapıları depremden dolayı oluşan ek dinamik yüklerin etkisiyle hem dönmeye hem de yatayda ötelemeye karşı zorlanmaktadır. Bu zorlamalar neticesinde meydana gelen ya da gelecek olan yer değiştirmeler, geçmişte yapılan birçok araştırma ve çalışma sonucunda belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun neticesinde Okabe [3],

Mononobe-Matsuo [4], Prakash ve Saran [25], Steedman ve Zeng [26,27], Richards, Huang ve Fisherman [28], Richards ve Elms [29], Seed ve Whitman [30], Prakash ve Basavanna [31], Sherif, Ishibashi ve Lee [32], Sherif ve Fang [33], Ishibashi ve Fang [34], Wang [35] gibi araştırmacılar tarafından farklı tasarım ve yaklaşımlara göre analitik ve deneysel çalışmalar yapılmıştır ve geliştirilmiştir.

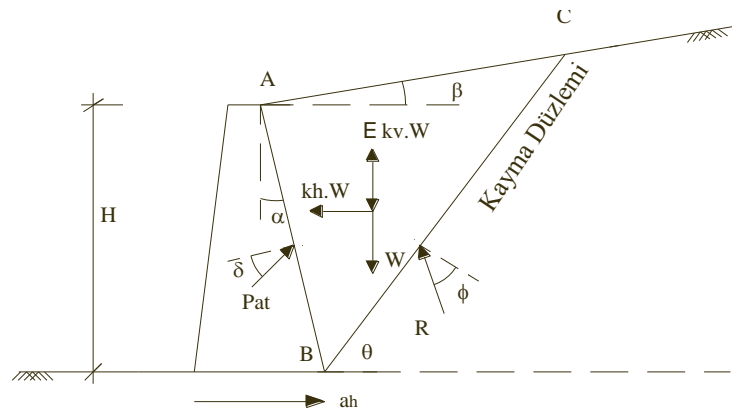
4.4.1. Mononobe - Okabe yöntemi

Dinamik toprak basınçlarıyla ilgili psödo-statik analiz hesabına yönelik ilk alışmaları Okabe [3] ve Mononobe-Matsuo [4] yapmıştır. Mononobe-Okabe yöntemi; duvar arkası zemin kamasına gelen tüm kuvvetlerin dengesini dikkate alır. Aktif ve pasif durumda olan zeminlerin plastik duruma gelmesiyle deprem etkilerini eş değer bir kuvvet olarak kabul eder.

Bu yöntemde Coulomb yöntemindeki kabuller aynen geçerlidir. Deprem neticesinde meydana gelen yatay ve düşey zemin ivmelerindeki değişimin, istinat duvarı yüksekliğine bağlı olmadığını kabul etmektedir. Genel olarak Mononobe-Okabe, Coulomb teorisini dinamik durum için değiştirerek, depremlilerde toplam aktif ve pasif basınç katsayılarını bununla beraberde toplam aktif ve pasif itkiyi veren formülleri geliştirmişlerdir.

4.4.1.1. Aktif durum

Kohezyonsuz ve kuru bir zeminde Mononobe-Okabe yöntemine göre zemin kamasına etkiyen kuvvetler Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Mononobe-Okabe yöntemine göre aktif durum için zemin kamasına etkiyen kuvvetler

Burada;

W : Zemin kamasının ağırlığı

$k_v W$: Deprem düşey etkisi

$k_h W$: Deprem yatay etkisi

R : Kayma kaması üzerine etkiyen normal ve kayma kuvvetlerinin bileşkesi

P_{AE} : Duvarın birim uzunluğuna etkiyen aktif kuvvet

k_v : Düşey ivme katsayısı

k_h : Yatay ivme katsayısı

$$k_h = \frac{a_h}{g} \quad (4.19)$$

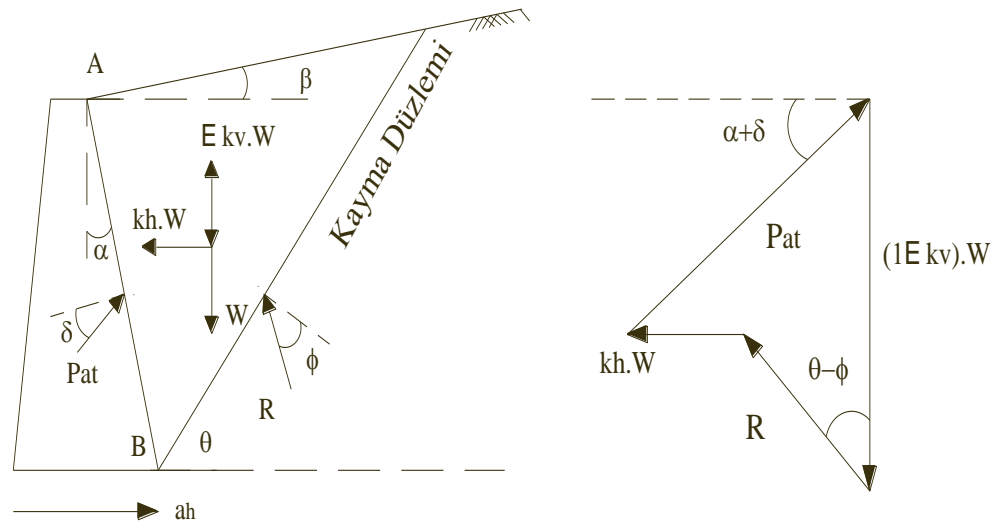
$$k_v = \frac{a_v}{g} \quad (4.20)$$

a_h : Maksimum yatay zemin ivmesi,

a_v : Maksimum düşey zemin ivmesi,

g : Yerçekimi ivmesi,

Düşey bileşenin yönüne bağlı olarak k_v 'nin işareti değişebilir.



Şekil 4.10. Mononobe-Okobe yöntemine göre aktif zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu

Kuvvetlerin dengesi şartından;

$$P_{at} \cdot \cos(\alpha + \delta) - k_h \cdot W - R \cdot \sin(\theta - \phi) = 0 \quad (4.21)$$

$$R_{at} = \frac{1}{\sin(\theta - \phi)} \cdot [P_{at} \cdot \cos(\alpha + \delta) - C_h \cdot W] \quad (4.22)$$

$$P_{at} \cdot \sin(\alpha + \delta) + R_{at} \cdot \cos(\theta - \phi) - (1 \pm C_v) \cdot W = 0 \quad (4.23)$$

$$P_{at} = \frac{(1 \pm C_v)}{\cos(\alpha + \delta)} \cdot \frac{1 + \tan \lambda \cdot \cot(\theta - \phi)}{\tan(\alpha + \delta) + \cot(\theta - \phi)} \cdot W \quad (4.24)$$

α : Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı,

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

θ : Kayma düzleminin yatay ile yaptığı açı,

ϕ : Zemin içsel sürtünme açısı,

λ : Deprem ivme açısı,

$$\lambda = \arctan\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right) \quad (4.25)$$

Zemin kamasının ağırlığı;

$$W = \gamma \cdot A(ABC) \cdot 1$$

$$W = \gamma \cdot \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot \frac{\cos(\theta - \alpha)}{\sin(\theta - \beta)} \cdot \frac{\cos(\alpha - \beta)}{\cos^2 \alpha} \quad (4.26)$$

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

H : İstinat duvarının yüksekliği,

β : Zemin üst yüzeyinin yatayla yaptığı açı,

Denklem (4.26), Denklem (4.24)'de yerine konulup düzenlemeler yapılırsa, istinat duvarına etkileyen toplam aktif toprak basıncı;

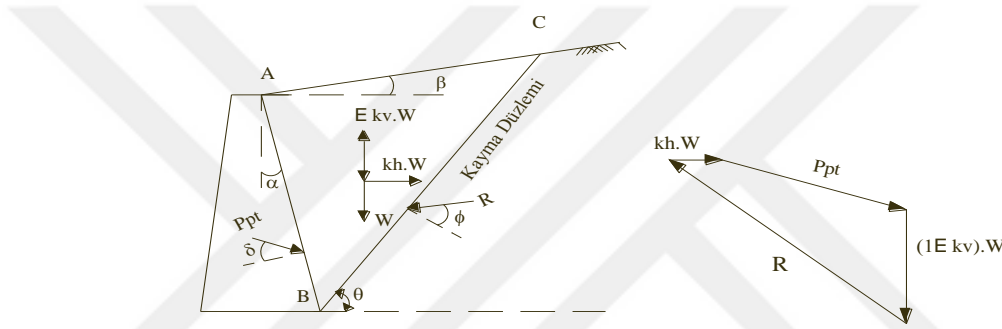
$$P_{at} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{at} \quad (4.27)$$

K_{at} : Aktif toprak basıncı katsayısı

$$K_{at} = \frac{(1 \pm k_v) \cdot \cos^2(\varphi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \lambda - \beta)}{\cos(\delta + \lambda + \alpha) \cos(\beta - \alpha)}} \right]^2} \quad (4.28)$$

Burada k_h ve k_v nin 0 olma durumunda ($k_h=k_v=0$), Coulomb'un Aktif Toprak Basıncı Katsayısı Denklemi bulunmuş olur.

4.4.1.2. Pasif durum



Şekil 4.11. Mononobe-Okobe yöntemine göre pasif zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu

Şekil 4.11.'de görüldüğü gibi kuru, kohezyonsuz ve homojen zemin ortamında, pasif zemin kamasına etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu gösterilmiştir. Burada duvara etkiyen kuvvetler;

W : Zemin kamasının ağırlığı,

P_{pt} : Toplam pasif toprak itkisi,

R : Göçme düzlemi boyunca yüzey sürtünme ve normal kuvvetlerin bileşkesi,

$k_h W$: Yatay yöndeki zemin atalet kuvveti,

$k_v W$: Düşey yöndeki zemin atalet kuvveti.

Toplam pasif toprak basıncı denklemi;

$$P_{pt} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{pt} \quad (4.29)$$

$$a(z,t) = a_h \cdot \sin \left[\omega \cdot \left(t - \frac{H-z}{V_s} \right) \right] \quad (4.31)$$

ω : Zemin hareketinin açısal frekansı,

V_s : Kayma dalgası hızı

a_h : Genlik

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (4.32)$$

G : Zeminin kayma modülü

ρ : Zeminin yoğunluğu

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4.33)$$

T : Yatay hareketin periyodu

Duvarın üst noktasından itibaren z derinliğindeki diferansiyel bir zemin elemanın kütlesi Denklem (4.34) ile hesaplanmaktadır.

$$m(z) = \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{(H-z)}{\tan\theta} dz \quad (4.34)$$

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

H : Dayanma duvarının yüksekliği,

dz : Diferansiyel zemin elemanının yüksekliği,

g : Yerçekimi ivmesi,

Dayanma duvarına etkiyen toplam atalet kuvveti Denklem (4.35)'den elde edilmektedir.

$$Q_h(t) = \int_0^H m(z) \cdot a(z, t) \cdot dz = \frac{\Omega \cdot \gamma \cdot a_h}{4\pi^2 g \cdot \tan \theta} [2\pi \cdot H \cdot \cos \xi - \sin \omega \cdot t] \quad (4.35)$$

Rijit kama için denklem;

$$\lim_{V_s \rightarrow \infty} (Q_h)_{\max} = k_h \cdot W \quad (4.36)$$

dir. Bu sonuç , Mononobe - Okabe yönteminde zemin kamasına etkidiği kabul edilen psödo-statik kuvvetine eşdeğerdir.

Zemin kamasına etkileyen kuvvetlerin dengesinden, dayanma duvarına etkileyen toplam aktif toprak basıncı;

$$P_{at}(t) = \frac{Q_h(t) \cdot \cos(\theta - \phi) + W \cdot \sin(\theta - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \theta)} \quad (4.37)$$

Toplam zemin basınç dağılımı Denklem (4.37)'nin türevi alınarak bulunur.

$$p_{at}(t) = \left\{ \frac{\gamma \cdot z}{\tan \theta} \cdot \frac{\sin(\theta - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \theta)} \right\} + \left\{ \frac{C_h \cdot \gamma \cdot z}{\tan \theta} \cdot \frac{\cos(\theta - \phi)}{\cos(\delta + \phi - \theta)} \sin \left[\omega \left(t - \frac{z}{V_s} \right) \right] \right\} \quad (4.38)$$

Burada ilk terim zamana bağlı olmayan ve derinlikte doğrusal olarak bağlı olan statik aktif toprak basınç dağılımını göstermektedir. Bu dağılımda kuvvetin etkime noktası tabandan H/3 yüksekliğindedir. İkinci terim ise, dinamik olarak meydana gelen ilave toprak basıncıdır. Zamana bağlı olarak değiştiği için kuvvetin etkime noktası da zamana bağlı olarak değişmektedir [5,18,20].

Dinamik zemin itkisinin herhangi bir t anında uygulama noktasının yeri;

$$h(t) = \frac{2\pi^2 H^2 \cos \omega \xi + 2\pi \cdot \Omega \cdot H \sin \omega \xi - \Omega^2 (\cos \omega \xi - \cos \omega t)}{2\pi \cdot H \cdot \cos \omega \xi + \pi \cdot \Omega (\sin \omega \xi - \sin \omega t)} \quad (4.39)$$

Toplam statik ve dinamik aktif toprak basıncı katsayıları (kohezyon, ek yük ve birim ağırlıktan meydana gelen) Denklem 4.42, Denklem 4.43 ve Denklem 4.44'de gösterilmektedir.

Kohezyon katsayısı,

$$(K_{at})_c = \frac{\cos \beta \cdot \sec \alpha + \cos \phi \cdot \sec \theta_1}{\sin(\beta + \delta)} \quad (4.42)$$

Yayıllı yük katsayısı

$$(K_{at})_q = \frac{[(n+1) \cdot \tan \alpha + \tan \theta_1] [\cos(\theta_1 + \phi) + C_h \cdot \sin(\theta_1 + \phi)]}{\sin(\beta + \delta)} \quad (4.43)$$

Birim ağırlıktan doğan toplam katsayı

$$(K_{at})_\gamma = \frac{[(n+1) \cdot (\tan \alpha + \tan \theta_1) + n^2 \cdot \tan \alpha] [\cos(\theta_1 + \phi) + C_h \cdot \sin(\theta_1 + \phi)]}{\sin(\beta + \delta)} \quad (4.44)$$

Basıncı katsayıları dikkate alınarak dayanma duvarına gelen toplam etki;

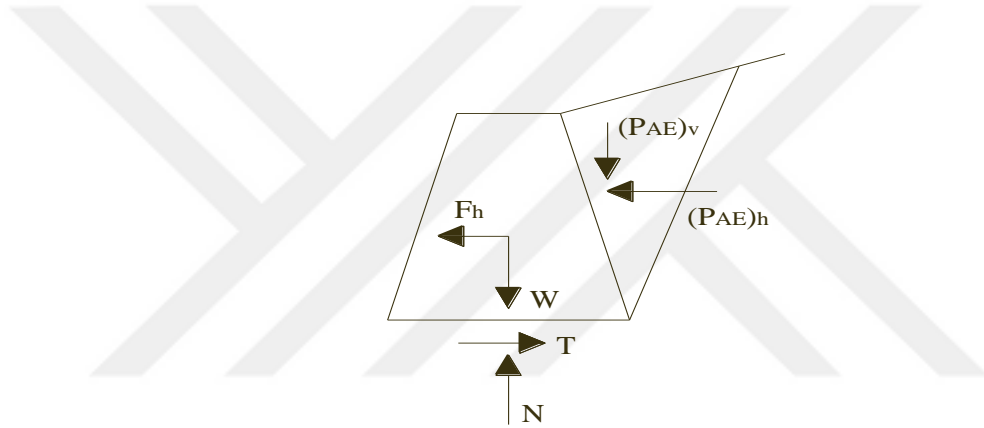
$$P_{at} = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot (K_{at})_\gamma + q \cdot H \cdot (K_{at})_q + c \cdot H \cdot (K_{at})_c \quad (4.44)$$

denklemleri bulunmaktadır [25,36].

4.4.4. Richards - Elms yöntemi

Deprem etkisi altında dayanma duvarlarında kalıcı yer değiştirmeler gözlemlenmektedir. Bu yer değiştirmelerin belirli sınırlar çerçevesinde olması istenmektedir. Richards – Elms yaptıkları çalışmalarda izin verilebilir yer değiştirmeleri dikkate almıştır. 1979 yılında yapmış oldukları çalışmalarda depremden

dolayı oluşan atalet kuvvetleri ve izin verilebilir yer değiştirmeler birleştirilerek çözüm yapılmıştır. Genel olarak ağırlık tipi dayanma duvarlarında kullanılması gerektiği düşünölmüştür çünkü ağırlık tipi dayanma duvarlarının atalet kuvvetleri büyüktür.[29] Model olarak Newmark'ın Kayan Blok modeline dayanan yöntemde dayanma duvarlarının sadece ötelenme yaptığı kabul edilmiştir. Bu modelde dolgu kaması duvar ile birlikte hareket eder. Zemin duvar arasında kritik ivme yani yenilme ivmesi belirlenmelidir. Belirlenen ivme değerine eşit veya büyük ivme değerlerinde duvarın deplasman yaptığı kabul edilir. şekil 4.14 de göröldüğü gibi duvara etkiyen ivme, yenilme ivmesinin düşeyde yukarı doğru olan N kuvvetine eşit olduğu zaman, düşey ve yatay kuvvetlerin dengesinden bulunur [29,37,38].



şekil 4.14. Richards – Elms modeline göre ağırlık duvarına etkiyen kuvvetler

şekil 4.14.'de gelen kuvvetlere göre atalet itki faktörü (C_{IE}) ;

$$C_{IE} = \frac{\cos(\delta + \alpha) - \sin(\delta + \alpha)\tan(\varphi)}{(1 - k_v)(\tan\varphi - \tan\lambda\alpha)} \quad (4.45)$$

Kaymaya karşı direnecek duvar ağırlığı (W_{min})

$$W = C_{IE} \cdot \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot (H^2) \cdot (1 - k_v) \cdot K_{AE} \quad (4.46)$$

İzin verilebilir yer değiştirme miktarı;

$$D = 0,087 \frac{V^2}{Ag} \left(\frac{N}{A} \right)^{-4} \quad (4.47)$$

N : Yenilme ivmesi

A : Maksimum ivme

V : Maksimum hız

Yenilme ivmesi (N);

$$N = \left[\tan\varphi - \frac{P_{at} \cdot \cos(\delta + \alpha) - P_{at} \cdot \sin(\delta + \alpha)}{W} \right] \cdot g \quad (4.48)$$

BÖLÜM 5. DAYANMA YAPILARININ TBDY VE DBYBHY GÖRE ANALİZLERİ

5.1. Giriş

Bu bölümde Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) (2018) ile gelen yeniliklerin, dayanma yapılarının projelendirilmesinde dinamik ve statik etkiler kapsamında yapmış olduğu değişiklikler, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007) ile Sakarya ili özelinde karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Analizler duvar yüksekliği (H), duvar arkası zeminin yataya göre eğim açısı (β), zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ) gibi zemin parametreleri değiştirilerek yapılmıştır. Bu parametrelerin aldığı değerler;

H= 2m, 4m, 6m, 8m

$\beta=0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$

$\phi= 28^\circ, 30^\circ, 32^\circ, 34^\circ$

Hesaplamalar Excel’de hazırlanan konsol istinat modelinde yapılmış, sonuçlar yönetmeliklere ve parametrelerin etkilerine göre karşılaştırılarak tablo haline getirilmiştir.

5.2. Yapılan Çalışma

Bu çalışmada 2007 Deprem Yönetmeliği’nde kullanılacak parametreler Sakarya İli, Adapazarı İlçesi, Korucuk Mahallesi, G24B11C3A Pafta, 1692 Ada, 1 Parsel ’de yapılan sondaja dayalı zemin ve temel etüt raporundan alınmıştır. 2018 Deprem Yönetmeliği içinse aynı arazi için Türkiye Deprem Tehlike Haritaları

İnteraktif Web Uygulamasından 40.857026° Enlem ve 30.287417° Boylam değerleri girilerek veriler alınmıştır. Daha sonra Excel’de hazırlanan konsol dayanma duvarı modeline göre hesaplamalar yapılmıştır. Deprem yönetmeliklerine göre yapılan hesaplamalardan elde edilen sonuçlar farklı parametrelerin sabit ve değişken tutulma durumlarına göre tablolar oluşturulmuş ve karşılaştırılmalar yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarda deprem yönetmeliğine gelen değişimlerin dayanma yapılarının tasarım ve güvenliğini nasıl etkilediği araştırılmıştır.

5.3. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’e Göre Yanal Toprak Basınçları İçin Çözüm Adımları

İlk olarak dayanma yapısı yapılacak bölgenin zemin grubu, yerel zemin sınıfları, yer altı su seviyeleri belirlenmelidir. Daha sonra tasarımı yapılacak dayanma duvarı için deprem bölgesine bağlı olarak etkin yer ivmesi katsayısı, yapı önem katsayısı gibi değerler yönetmelikten alınarak çözümler yapılır.

Statik ve dinamik basınçların toplamını bulmak için toplam aktif basınç katsayısı ve toplam pasif basınç katsayıları emniyetli bölgede kalmak üzere zeminin kohezyonu ihmal edilerek hesaplanır Denklem (5.1), (5.2).

$$K_{at} = \frac{(1 \pm C_v) \cdot \cos^2(\phi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \lambda - i)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (5.1)$$

$$K_{pt} = \frac{(1 \pm C_v) \cdot \cos^2(\phi - \lambda - \alpha)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha + \lambda) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \lambda + i)}{\cos(\delta - \alpha + \lambda) \cdot \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (5.2)$$

Eşdeğer deprem katsayısına bağlı olarak bulunan açı (λ);

Kuru zeminlerde,

$$\lambda = \tan^{-1} \left[\frac{C_h}{(1 \pm C_v)} \right] \quad (5.3)$$

Su seviyesinin altındaki zeminlerde,

$$\lambda = \tan^{-1} \left[\frac{\gamma_s}{\gamma_b} \frac{C_h}{(1 \pm C_v)} \right] \quad (5.4)$$

denklemleriyle hesaplanmaktadır. Burada γ_s , suya doymun zeminin birim hacim ağırlığı γ_b ise su altı zeminin birim hacim ağırlığını ifade eder. C_h ve C_v değerleri eşdeğer deprem katsayılarını ifade etmektedir.

Yatay eşdeğer deprem katsayısı (C_h);

Düseyde serbest konsol olarak çalışan dayanma duvarlarında,

$$C_h = 0.2 \cdot (I + 1) \cdot A_0 \quad (5.5)$$

Yatayda bina döşemeleri ya da ankrajla mesnetlenmiş dayanma yapılarında,

$$C_h = 0.3 \cdot (I + 1) \cdot A_0 \quad (5.6)$$

denklemleriyle hesaplanır. Burada A_0 etkin yer ivmesi katsayısını, I yapı önem katsayısını göstermektedir deprem bölgeleri ve kullanım amacına göre deprem yönetmeliğinden alınır.

$\lambda = 0$ ve $C_v = 0$ alınarak Denklem (5.1) ve (5.2)'de yerine yazılarak statik aktif ve pasif basınç katsayıları (K_{as} , K_{ps}) bulunur.

K_{ad} : Dinamik aktif basınç katsayısı

$$K_{ad} = K_{at} - K_{as} \quad (5.7)$$

K_{pd} : Dinamik pasif basınç katsayısı

$$K_{pd} = K_{pt} - K_{ps} \quad (5.8)$$

Statik aktif toprak basınç kuvvetinin bileşkesi;

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot K_{as} \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (5.9)$$

Dinamik aktif toprak basınç kuvvetinin bileşkesi;

$$P_{ad} = \frac{1}{2} \cdot K_{ad} \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (5.10)$$

Sakarya İli, Adapazarı İlçesi, Korucuk Mahallesi, G24B11C3A Pafta, 1692 Ada, 1 Parsel 'de yapılan sondaja dayalı zemin ve temel etüt raporundan alınan parametreler aşağıda verilmiştir;

- a) Zemin gurubu = C
- b) Yerel zemin sınıfı = Z3
- c) Spektrum karakteristik periyotları A = 0,15sn B = 0,60 sn.
- d) Etkin yer ivme katsayısı $A_0 = 0,4$
- e) Bina önem katsayısı I = 1,0
- f) Yatak katsayısı = 1800 t/m³

5.4. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne Göre Yanal Toprak Basınçları İçin Çözüm Adımları

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin en önemli değişikliklerinde biri genel kapsamda yenilenen Türkiye Deprem Tehlike Haritası'dır. Yenilenen harita ile birlikte tasarım spektrumunun ve bu spektrumu oluşturan parametrelerin farklı biçimde tanımlanmasıdır. 2007 Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında

Yönetmeliğinde deprem tehlikesi için kullanılan temel parametre olan etkin yer ivmesinin yerini yeni yönetmelikte tasarım ivme spektrumu almıştır. Buda Deprem Tehlike Haritası'nda tanımlanan harita spektral ivme katsayılarına ve yerel zemin etki katsayılarına bağlıdır. Öncelikle yanal toprak basınçlarının hesabında kullanılmak üzere yatay(k_h) ve düşey(k_v) statik-eşdeğer deprem katsayıları yeni yönetmeliğe göre belirlenir.

$$k_h = \frac{0.4S_{DS}}{r} \quad (5.11)$$

$$k_v = \frac{k_h}{2} \quad (5.12)$$

k_h : Yatay statik-eşdeğer deprem katsayısı

k_v : Düşey statik-eşdeğer deprem katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı (boyutsuz)

r : Statik-eşdeğer deprem azaltma katsayısı

Dayanma yapılarına etkiyen toplam (statik ve dinamik) toprak basıncının bileşke kuvveti Denklem (5.13) ile hesaplanmaktadır.

$$P_t = K(1 \pm k_v) \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 + q \cdot H \right) + P_{su} + \Delta P_{su} \quad (5.13)$$

Burada;

H : Duvar yüksekliği,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

q : Ek sürşarj yükü,

K : Toplam (statik+dinamik) aktif (K_a) veya pasif (K_p) toprak basıncı katsayısı

P_{su} ve ΔP_{su} : Bileşke statik ve dinamik su basınçları

dır.

Toplam aktif basınç katsayısı $\beta \leq \phi'_d - \theta$ olması durumunda Denklem (5.14) ile $\beta > \phi'_d - \theta$ olması durumunda Denklem (5.15) ile hesaplanmaktadır.

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta_d) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \cdot \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (5.14)$$

$$K_a = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi - \theta - \delta_d)} \quad (5.15)$$

Toplam pasif basınç katsayısı zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı kabulü ile Denklem (5.16) ile hesaplanmaktadır.

$$K_p = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \cdot \sin^2 \psi \cdot \sin(\psi + \theta) \cdot \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d) \cdot \sin(\phi'_d + \beta - \theta)}{\sin(\psi + \theta_d) \cdot \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (5.16)$$

β : Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı

θ : Sismik açı

δ_d : Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı

ψ : Duvar arka yüzeyinin duvar tabanı ile yaptığı açı

ϕ'_d : Zeminin tasarım kayma direnci açısı

Statik durumda Denklem (5.14), Denklem (5.15), Denklem (5.16) ile verilen bağıntıda $\theta=0$ alınarak işlem yapılır.

Sismik açı (θ) eşdeğer deprem katsayılarına bağlı olarak bulunan bir açıdır.

1. Su seviyesinin temel taban seviyesi altında olması durumunda ($P_{su} = \Delta P_{su} = 0$) ; Denklem (5.17) ile hesaplanmaktadır.

2. Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda Denklem (5.18) ile hesaplanmaktadır.
3. Su seviyesinin temel taban seviyesi üstünde olması ve zeminin dinamik olarak geçirimsiz olması durumunda Denklem (5.19) ile hesaplanmaktadır.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right) \quad (5.17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right) \quad (5.18)$$

Burada $\Delta P_{su}=0$ alınacaktır.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\gamma}{\gamma_d - \gamma_{su}} \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right) \quad (5.18)$$

Burada ΔP_{su} Denklem (5.19) ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta P_{su} = \frac{7}{12} (0.4 S_{DS}) \gamma_{su} d_{su}^2 \quad (5.19)$$

γ_{su} : Suyun birim hacim ağırlığı

d_{su} : Su altındaki duvar yüksekliği

Statik aktif toprak basınç kuvvetinin bileşkesi;

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2 \quad (5.20)$$

Dinamik aktif toprak basınç kuvvetinin bileşkesi;

$$\Delta P_{ac} = P_t - P_a \quad (5.21)$$

dir.

40.857026° Enlem ve 30.287417° Boylam'da bulunan arazi için Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınan rapor ve değerler Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

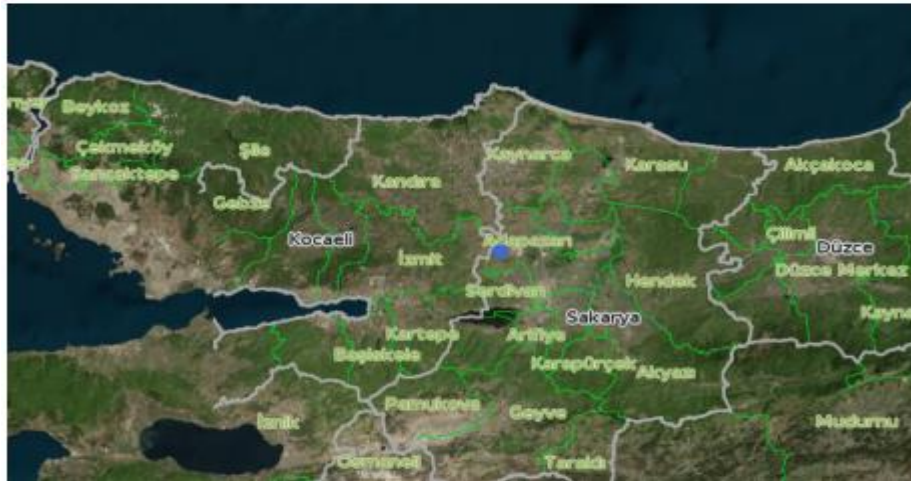
AFAD



Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması

Kullanıcı Girdileri

Rapor Başlığı:	SAKARYA	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi:	DD-2	50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	Orta sıkı - sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları
Enlem:	40.857026°	
Boylam	30.287417°	



Şekil 5.1. Sakarya bölgesinde seçilen bir noktanın Türkiye Deprem Tehlike Haritası raporundaki giriş sayfası

Çıktılar

$$S_S = 1.207 \quad S_1 = 0.336 \quad S_{DS} = 1.228 \quad S_{D1} = 0.660$$

$$PGA = 0.493 \quad PGV = 31.187$$

S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

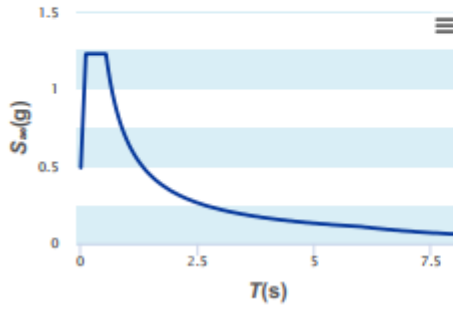
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]

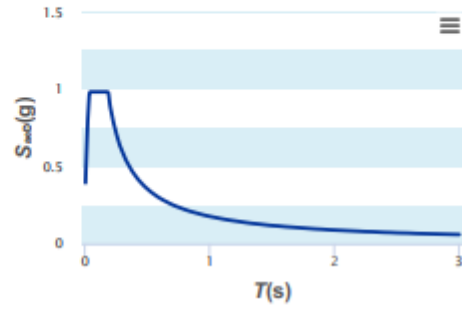
PGA : En büyük yer ivmesi [g]

PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]

Yatay Elastik Tasarım Spektrumu



Düşey Elastik Tasarım Spektrumu



Şekil 5.2. Türkiye Deprem Tehlike Haritası rapor çıktıları

5.5. Yanal Toprak Basınçları Hesabında Değişken Olarak Kullanılacak Parametreler

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği dayanma yapılarına etki eden dinamik yanal toprak basınçlarının hesaplanması ile ilgili yukarıda belirtilen düzenlemeler yapmıştır. Yanal toprak basınçları üzerindeki bu düzenlemeler; mevcut dayanma yapılarının güvenliği üzerinde etkilerinin olacağı kuşkusuzdur. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (2018) dayanma yapılarının güvenliği üzerindeki etkilerini ortaya koyabilmek için farklı zemin parametrelerine sahip zeminlerde dinamik ve statik yanal toprak basınçlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalar için Sakarya İlinin Adapazarı İlçesine ait 40.857026° Enlem ve 30.287417° Boylam'da bulunan bölgenin deprem kayıtları esas alınmıştır. Aşağıda Tablo 5.1.'de belirtilen durumlar için statik ve dinamik yanal toprak basınçları Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) ve

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007) 'e göre bulunmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.8. Yanal toprak basınçlarının hesabında göz önüne alınan parametreler

Duvar Yüksekliği H (m)	Duvar arkası zeminin içsel sürtünme açısı ϕ°	Duvar arkası zeminin eğim açısı β°
2	28	0
4	30	5
6	32	10
8	34	15
		20

5.6. Analiz Sonuçları Ve Değerlendirmeler

Değişik dayanma duvarı yüksekliğine sahip duvarlarda oluşacak statik (P_{as}) ve dinamik (P_{ad}) toprak basınçlarının bileşkeleri; farklı duvar arkası şev açıları ve zemin özellikleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Hesaplama yapılan duvar yükseklikleri, duvar arkası şev açıları ve duvar arkası zemin özellikleri ilgili kullanılan değerler aşağıda tabloda verilmiştir. Konsol istinat duvarı modelinde Duvar yüksekliği (H) 2m'den 8m'ye kadar 2'şer metre aralıklarla, duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β) 0° 'den 20° 'ye kadar 5'er derece aralıklarla, zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ'_d) 28° 'den 34° 'ye kadar 2'şer derece aralıklarla arttırılarak statik ve dinamik toprak basınçlarının bileşkesine ait analizler yapılmıştır. Bu şekilde toplam 80 adet analiz yapılmıştır.

Tablo 5.9. Hesaplamalarda kullanılan değerler

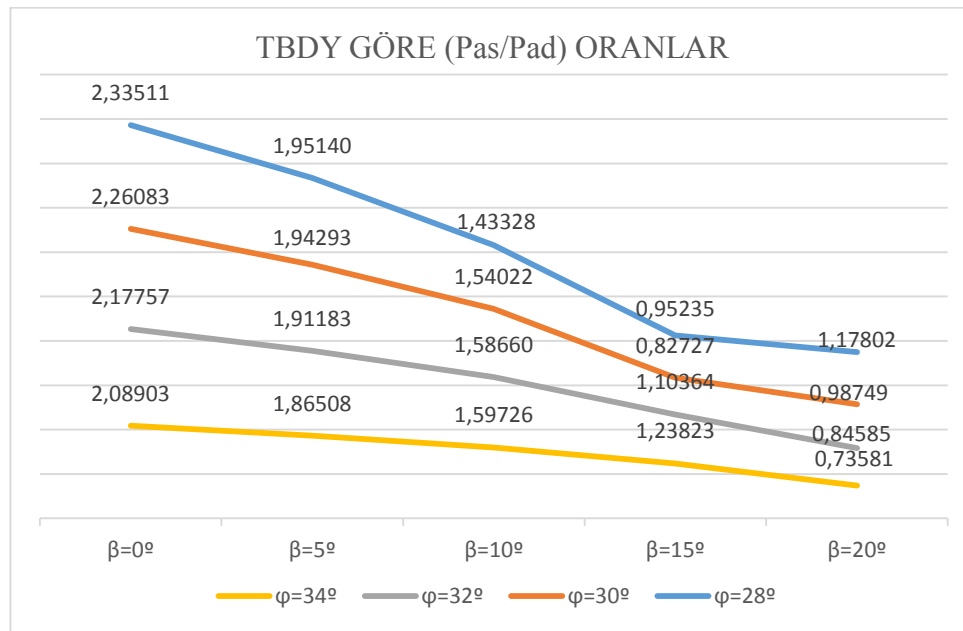
Duvar yüksekliği (m)	Duvar Arkası Şev Açısı (β°)	Duvar Arkası Zemin Özellikleri	
		İçsel sürtünme açısı (ϕ)	Kohezyon
2	0	28	0
4	5	30	0
6	10	32	0
8	15	34	0
	20		0

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre oluşturulan modellerde dayanma yapılarına gelen statik ve dinamik toprak basınçlarının oranları Tablo 5.3'de özetlenmiştir. Bu

tabloda 6.00 m dayanma duvar yüksekliği için hesaplanan statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının içsel sürtünme açısına ve duvar arkası şev eğimine bağlı olarak elde edilen değişim grafikleri Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.10. TBDY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranları

H(m)	$\beta=0^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=20^\circ$	
$\phi=28^\circ$	H=2m	2,33507	1,95171	1,43335	0,95230	1,17803
	H=4m	2,33511	1,95154	1,43328	0,95235	1,17803
	H=6m	2,33511	1,95140	1,43328	0,95235	1,17802
	H=8m	2,33513	1,9515031	1,43328647	0,95235002	1,17802
$\phi=30^\circ$	H=2m	2,26074	1,94305	1,54019	0,82727	0,98750
	H=4m	2,26095	1,94293	1,54025	0,82728	0,98750
	H=6m	2,26083	1,94293	1,54022	0,82727	0,98749
	H=8m	2,26069	1,94293	1,54022	0,82727	0,98750
$\phi=32^\circ$	H=2m	2,17779	1,91196	1,58672	1,10368	0,84586
	H=4m	2,17763	1,91184	1,58659	1,10365	0,84578
	H=6m	2,17757	1,91183	1,58660	1,10364	0,84585
	H=8m	2,17756	1,91181	1,58659	1,10363	0,84586
$\phi=34^\circ$	H=2m	2,08888	1,86525	1,59737	1,23829	0,73580
	H=4m	2,08903	1,86504	1,59729	1,23823	0,73580
	H=6m	2,08903	1,86508	1,59726	1,23823	0,73581
	H=8m	2,08898	1,17783	1,59726	1,23823	0,73581

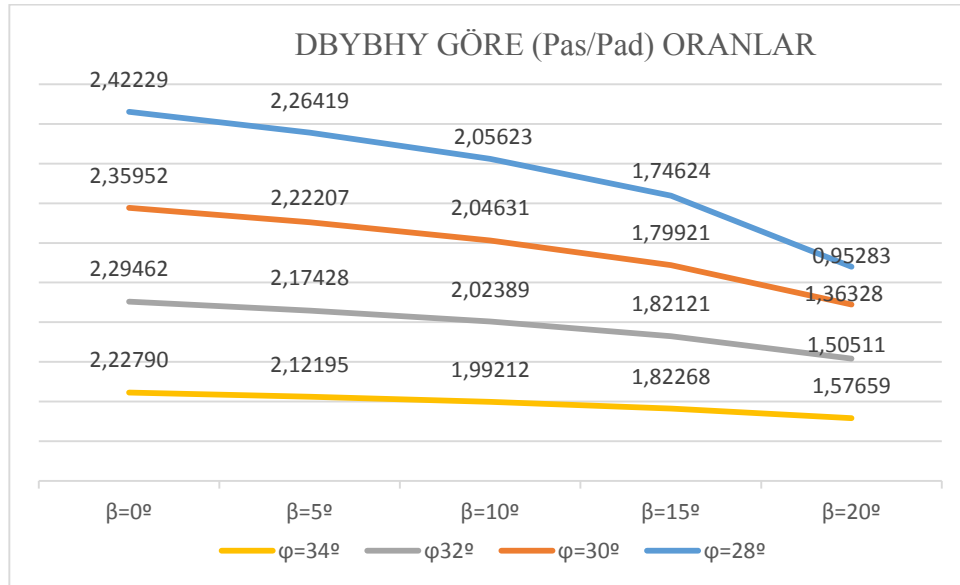


Şekil 5.3. TBDY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranı (H=6m)

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğe göre oluşturulan modellerde dayanma yapılarına gelen statik ve dinamik toprak basınçlarının oranları Tablo 5.4.'de özetlenmiştir. Bu tabloda 6.00 m dayanma duvar yüksekliği için hesaplanan statik ve dinamik yanal toprak basınçlarının içsel sürtünme açısına ve duvar arkası şev eğimine bağlı olarak elde edilen değişim grafikleri Şekil 5.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 5.11. DBYBHY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranları

H(m)	$\beta=0^\circ$	$\beta=5^\circ$	$\beta=10^\circ$	$\beta=15^\circ$	$\beta=20^\circ$	
$\phi=28^\circ$	H=2m	2,42210	2,26429	2,05612	1,74617	0,95309
	H=4m	2,42226	2,26435	2,05619	1,74623	0,95283
	H=6m	2,42229	2,26419	2,05623	1,74624	0,95283
	H=8m	2,42236	2,26434	2,05626	1,74624	0,95283
$\phi=30^\circ$	H=2m	2,35942	2,22209	2,04624	1,79918	1,36326
	H=4m	2,35953	2,22214	2,04632	1,79921	1,36328
	H=6m	2,35952	2,22207	2,04631	1,79921	1,36328
	H=8m	2,35953	2,22211	2,04629	1,79920	1,36328
$\phi=32^\circ$	H=2m	2,29434	2,17448	2,02396	1,82119	1,50503
	H=4m	2,29463	2,17433	2,02392	1,82123	1,50498
	H=6m	2,29462	2,17428	2,02389	1,82121	1,50511
	H=8m	2,29461	2,17427	2,02390	1,82121	1,50512
$\phi=34^\circ$	H=2m	2,22789	2,12192	1,99206	1,82273	1,57650
	H=4m	2,22781	2,12187	1,99210	1,82266	1,57658
	H=6m	2,22790	2,12195	1,99212	1,82268	1,57659
	H=8m	2,22782	1,34006	1,99214	1,82268	1,57659



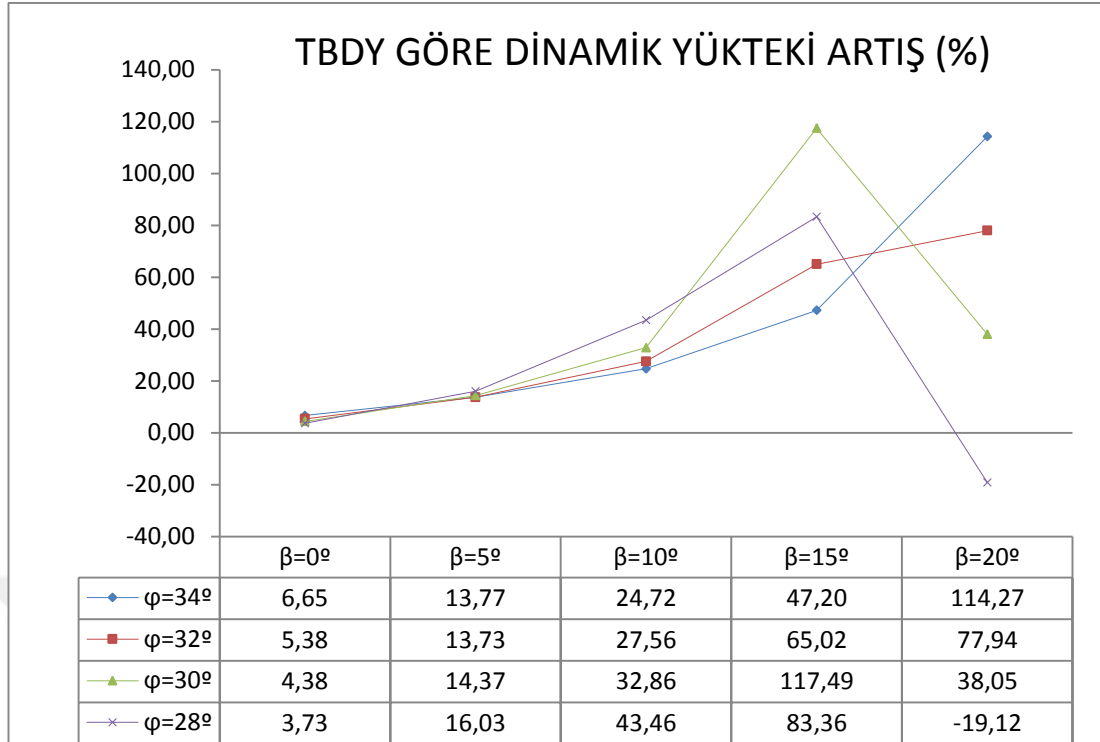
Şekil 5.4. DBYBHY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranı (H=6m)

5.6.1 Duvar yüksekliğinin (H) değişimi ve etkisi

Yanal toprak basınçları üzerinde etkisini araştıracağımız ilk parametre duvar yüksekliğidir (H). Oluşturulan modelde duvar yüksekliği (H) 2m'den 8m'ye kadar 2'şer metre aralıklarla arttırılmıştır. Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.' de duvar yüksekliğindeki değişime bağlı olarak oranlar gösterilmiştir. Analizler sonucunda, her iki yönetmeliğe göre yanal toprak basınç oranlarında değerlerin sabit olduğu görülmektedir. Yani duvar yüksekliği statik ve dinamik yükleri her iki yönetmeliğe göre de aynı oranda arttırıcı etki yapmaktadır.

5.6.2. Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β) değişimi ve etkisi

Yönetmeliklere göre değiştirilmesi durumunda yanal toprak basınçlarına etkisini incelediğimiz ikinci parametre duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısıdır (β). 0° 'den 20° 'ye kadar 5'er derece aralıklarla arttırılan açı ile statik ve dinamik durumdaki etkileri TBDY ve DBYBHY göre incelenmiş ve sonuçlar Ekler bölümünde tablolar halinde karşılaştırılmıştır. TBDY ve DBYBHY göre statik ve dinamik yükler arasındaki oransal değişim Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'de gösterilmektedir. Statik ve dinamik yüklerde her iki yönetmeliğe göre artışlar meydana gelmektedir. Fakat eğim açısı arttıkça statik yüklerin dinamik yüklere oranı azalmaktadır. Çünkü dinamik yüklerdeki artışlar daha fazla olmaktadır.



Şekil 5.5. $\phi=28^\circ, 30^\circ, 32^\circ, 34^\circ$ için dinamik yükteki yüzdelik artış

Şekil 5.5.'de $\phi=28^\circ$, $H=6\text{m}$ için dinamik yüklerde 83,36% değerine kadar artışlar olmuştur. Fakat $\beta=20^\circ$ iken düşüş olmuştur. Bunun sebebi yeni deprem yönetmeliğiyle gelen aktif basınç katsayılarında açılarla alakalı sınırlamalar ve buna göre aktif basınç katsayısı formüllerindeki değişimdir. Daha önce Bölüm 5.5.'de belirtildiği gibi toplam aktif basınç katsayısı $\beta \leq \phi'_a - \theta$ olması durumunda Denklem (5.14) ile $\beta > \phi'_a - \theta$ olması durumunda Denklem (5.15) ile hesaplanmaktadır.

5.6.3 Zeminin tasarım kayma direnci açısı değişimi ve etkisi (ϕ'_d)

Değişmesi durumunda yanal toprak basınçlarına olan etkisini araştırdığımız üçüncü parametre zeminin tasarım kayma direnci açısıdır (ϕ'_d). Zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ'_d) 28° 'den 34° 'ye kadar 2'şer derece aralıklarla arttırılarak analizler yapılmıştır (Şekil 5.5.). Deprem yönetmeliklerine göre yapılan bu analizler Ekler bölümünde karşılaştırmalı olarak verilmiştir. TBDY ve DBYBHY göre yapılan analizlerde statik yüklerin dinamik yüklere göre oranları Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.'de gösterilmektedir. Bu oranlamaların yapılmasının amacı değişen parametrelerin

etkisinin dinamik basınçlar üzerinde statik basınçlara göre nasıl bir artış ya da azalış izlediğini görmektir. TBDY göre ϕ açısındaki artış dinamik yükleri düşürücü yönde etki etmektedir. Fakat $\beta=15^\circ$ ve $\phi=28^\circ, 30^\circ$ değerleri ile $\beta=20^\circ$ ve $\phi=28^\circ, 30^\circ, 32^\circ, 34^\circ$ değerlerinde dinamik basınçlar artmıştır. Bu artışların sebebi TBDY ile gelen aktif basınç katsayısındaki sınır şartlarıdır. Bu değerler $\beta \leq \phi'_d - \theta$ şartını sağlayamadığı için aktif basınç katsayısı formülü değişmektedir. DBYBHY göre ise ϕ açısındaki artış $\beta=20^\circ, \phi=28^\circ$ olduğu durumlar haricindeki tüm dinamik yükleri düşürücü yönde etki yapmıştır. $\beta=20^\circ, \phi=28^\circ$ değeri DBYBHY göre aktif basınç katsayısı formülünü tanımsız yapmaktadır. Sadece bu değer için formülü tanımsız yapan kısım etkisiz olarak kabul edilip değerler hesaplanmıştır.



BÖLÜM 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada dayanma duvarlarına gelen statik ve dinamik yanal toprak basınçları ile ilgili yapılan birçok çalışma açıklanmış ve hesaplama yöntemleri incelenmiştir. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) temel alınarak Excel programında hazırlanan konsol istinat duvarı modeli üzerinde analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları tablo ve grafiklerle açıklanmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik (DBYBHY) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) arasında farklılıkların ve yapılan değişikliklerden dolayı yüklerdeki değişimlerin daha iyi anlaşılabilmesi için parametrik bir çalışma yapılmıştır. Belirlenen parametreler için belirli aralıkta değerler tanımlanmıştır. Oluşturulan konsol istinat duvarı modelinde Duvar yüksekliği (H), duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β), zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ'_d) belirlenen değişkenlerdir. Değişkenler içerisinde iki parametrenin sabit tutulup diğer parametre ise belirlenen değer aralıkları içerisinde değiştirilerek analizler yapılmıştır. Duvar yüksekliği (H); 2m, 4m, 6m, 8m tanımlanan değerlerdir. Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β); 0°, 5°, 10°, 15°, 20° değerleri tanımlanmıştır. Zeminin tasarım kayma direnci açısı (ϕ'_d); 28°, 30°, 32°, 34° olarak tanımlanmıştır. 40.857026° Enlem ve 30.287417° Boylam bilgilerine sahip Adapazarı bölgesinde seçilen yer için yapılan çalışmalarda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1. Hesaplarda kullanılan ivme katsayısı değerleri yeni deprem yönetmeliğine göre belirli koordinatlar girilerek Türkiye Deprem Tehlike Haritası'ndan alınmaktadır. İvme katsayısı için alınan değerlere bakıldığında Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte kullanılan değerlere göre arttığı görülmüştür. DBYBHY göre $k_h=0.16$ $k_v=0.107$, TBDY göre $k_h=0.24$ $k_v=0.12$. Yatay eşdeğer deprem katsayısında (k_h) %33, dikey

eşdeğer deprem katsayısında (k_v) %10 artış olmuştur. Yatay eşdeğer deprem katsayısındaki artış dayanma duvarlarına gelen dinamik yatay toprak basınçlarında ciddi anlamda bir artış olup bu artış mevcut dayanma yapılarının deprem güvenliğini sorgular hale getirmektedir. Yatay eşdeğer deprem katsayısındaki bu artış sonuç olarak dayanma yapılarına etki eden dinamik yatay toprak basınçlarında artış nedeniyle yeni yapılacak tasarımlara ek maliyetler getireceği kuşkusuzdur.

2. Genel olarak ivme değerlerindeki artışlar dinamik yanal toprak basıncı değerlerini arttırıcı yönde etki yapmıştır. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik'e (DBYBHY) göre Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY) dinamik yüklerin artışları karşılaştırmalarda görülmektedir. Mesela Tablo EK A.15 incelendiğinde dinamik yük 59.402 kN/m'den 87.44 kN/m'ye çıktığı yani %47.20 arttığı görülmektedir. Bu artış Tablo EK A.19'da ise 74.23 kN/m'den 159.05 kN/m'ye çıktığı ve %114.27 arttığı görülmektedir.
3. DBYBHY'ye göre dinamik basınçlar içsel sürtünme açısına bağlı olarak kritik değerler haricinde hiçbir zaman statik basınçtan daha büyük değerler almazken, TBDY'ye göre dinamik basınçlar statik basınçlardan büyük değerler alabilmektedir. Bu kritik değerler DBYBHY'ye göre aktif basınç katsayısı formülünü tanımsız yapan değerlerdir. Mesela $\phi=28^\circ$ ve $\beta=20^\circ$ alındığı zaman dinamik yükler statik yüklerden fazla çıkmaktadır.
4. Kayma direnci açısının (ϕ) etkisi incelendiği zaman dinamik basınçlar üzerinde ters orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Kayma direnci açısında artan değerler dinamik basınçta azalmaya neden olmuştur. $\beta=15^\circ$ H=6m değerleri alınarak kayma direnci açısı 28° den 34° ye kadar arttırılmıştır. 28° alındığında TBDY'ye göre 149.792 kN/m olan dinamik yük 34° iken 87.44 kN/m olarak bulunmuştur. Buda dinamik yükte %41.62 oranında azalmanın olduğunu göstermektedir. Fakat toplam aktif basınç katsayısı $\beta \leq \phi'_d - \theta$ durumundan $\beta > \phi'_d - \theta$ durumuna geçerken TBDY'ye göre dinamik basınçta ilk önce artış belirli açı değerinden sonra ise düşüş olduğu görülmektedir (Tablo 6.1.). Bunun sebebi TBDY ile gelen aktif basınç katsayısındaki (K_a) sınır şartıdır. Genel olarak baktığımızda bize geri dolgu

için kullanılacak olan malzemenin önemini ve etkisini net bir şekilde göstermektedir.

Tablo 6.1. Kayma direnci açısına bağlı olarak dinamik toprak basınçları ($\beta=15^\circ$, $H=8m$)

ϕ (°)	β (°)	H(m)	TBDY			DBYBHY		
			P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})
28	15	8	253,607	266,296	0,95235	253,607	145,23	1,74624
30	15	8	231,508	279,845	0,82727	231,508	128,673	1,79920
32	15	8	211,202	191,37	1,10363	211,202	115,968	1,82121
34	15	8	192,481	155,449	1,23823	192,481	105,603	1,82268

5. Duvar yükseklikleri dikkate alındığında her iki yönetmelik içinde statik ve dinamik yüklerin doğrusal olarak arttığı görülmektedir. TBDY göre statik yüklerin dinamik yüklere oranını gösteren grafikler incelendiğinde oranların değişmediği ya da çok az değiştiği görülmüştür.
6. Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısı (β) dikkate alındığında iki yönetmeliğe göre de statik ve dinamik yüklerin artması yönünde bir etki yapmıştır. TBDY ve DBYBHY göre yapılan oranlamaların (Tablo 5.3. ve Tablo 5.4.) grafikleri incelendiğinde (Şekil 5.3. ve Şekil 5.4.) eğim açısındaki artışın dinamik yükleri statik yüklere oranla daha fazla arttırıcı bir etki yaptığı sonucuna varılmıştır. Örnek olarak Şekil 5.3.'deki grafik incelendiğinde bu oran TBDY göre 2.17'den 0.84'e kadar düşmüştür. DBYBHY göre ise aynı şartlarda bu oran 2.29'dan 1.5'e kadar düşmüştür. TBDY göre %61 azalma varken DBYBHY göre %34 azalma vardır (Şekil 5.3., Şekil 5.4.). Buda bize TBDY göre dinamik yükteki artışın daha fazla olduğunu göstermektedir.
7. İçsel sürtünme açısının $\phi = 30^\circ$ 'den küçük olduğu durumlarda $\beta=15^\circ$ 'nin üstüne çıkması halinde yükte bir azalış meydana gelmektedir. $\phi = 30^\circ$ 'nin üstünde olduğu durumlarda bir azalış meydana gelmemekte dinamik yükte hızlı bir artış gözlenmektedir.

Tablo 6.2. TBDY göre farklı zemin sınıflarında eşdeğer deprem katsayılarındaki artış ve azalışlar

	TBDY		DBYBHY		% ARTIŞ	
	k_h	k_v	C_h	C_v	k_h	k_v
ZA	0,19	0,097	0,16	0,107	16%	-10%
ZB	0,22	0,11	0,16	0,107	27%	3%
ZC	0,28	0,14	0,16	0,107	43%	24%
ZD	0,24	0,12	0,16	0,107	33%	10%
ZE	0,22	0,11	0,16	0,107	27%	3%

8. Bu çalışmadan elde edilen bilgiler sonucunda, istinat tiplerinde farklı parametreler ele alınarak, farklı bölge ve zemin koşullarında tasarımı ve inşası yapılmış istinat duvarlarının güvenilirliklerinin sorgulanması bundan sonraki süreçte dayanma yapılarının statik ve dinamik etkiler ışığında nasıl davranış göstereceği hususunda yol göstermesi hedeflenmektedir. Bölgesel olarak farklı zemin sınıfları ve zemin parametreleri ele alınarak çalışma genişletilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] G Rankine, V.M.J., “On Stability On Loose Earth”, Philosophic Transactions Of Royal Society, Part I, 9-27,London, 1857.
- [2] Coulomb, C.A., “Essai Surune Aplication Des Regles De Maximis Et Minimis A Quelgues Problemes De Statique, Relatifsa İarchitecture”, Mem. Rog. Des Sciences, Vol. 3.38, Paris, 1776.
- [3] Okabe S., “General Theory Of Earth Pressure”, Journal Of Japanesse Society Of Civil Engineers, Vol 12, No 1,Tokyo, 1926.
- [4] Mononobe, N., Matsuo H., “On Determination Of Earth Pressure During Earthquake”, In Proceedings Of World Engineering Congress, Vol IX, 1929.
- [5] Özberk L., Kahyaoğlu M.R., “Dayanma Yapılarının DBYBHY Ve TBDY Göre Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması Ve Tespiti”, Zemin Mekaniği Ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2018.
- [6] Yaman B., Selçuk M.E., “Konsol İstinat Duvarlarının Eski Ve Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Maliyeti”, Zemin Mekaniği Ve Geoteknik Mühendisliği 17. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2018.
- [7] Yıldırım İ.Z., “İstinat Duvarlarının Tasarımında Deprem Etkilerinin İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2004.
- [8] Yıldız M.C., “İstinat Duvarlarına Etkiyen Dinamik Toprak Basınçları”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2015.
- [9] Çelebi İ.K., “Konsol Dayanma Yapılarının Tasarımını Etkileyen Faktörlerin Araştırılması”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Konya, 2010.
- [10] Kramer S.L., “Geoteknik Deprem Mühendisliği”, Çev: Kayabalı K., Gazi kitabevi, Ankara, 2003.
- [11] TS-7994,. Zemin Dayanma Yapıları: Sınıflandırma Özellikleri Ve Projelendirilme Esasları, Türkiye Standartlar Enstitüsü, Ankara, 1990.

- [12] Gürsoy, Ş., “Deprem Bölgelerindeki Betonarme İstinat Duvarlarının Analitik Ve Sayısal Yöntemleri Kullanan Bilgisayar Yardımıyla Projelendirilmesi”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 2000.
- [13] Düzgün, M., İstinat Yapıları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, 1989/2, İzmir, 1989.
- [14] Küçükçiryaki, M.A., “Yanal Zemin Basıncı Ve İstinat Duvarı”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1998.
- [15] Kesim, R. S., Donatılı Zemin Yapılarının Sistem Davranış Özellikleri, Yüksek lisans tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1996.
- [16] U.S. Department of Transportation, 2001. Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines, Publication No: FHWA-NHI-00-043, FHWA Washington
- [17] DAS B. M., “Fundamentals Of Geotechnical Engineering”, Brooks/Cole Thomson Learning, USA, 1999.
- [18] Düzgün M., “İstinat Duvarları Statik Ve Dinamik Analiz-Depreme Dayanıklı Betonarme İstinat Duvarlarının Tasarımı”, Dokuz Eylül Mühendislik Fakültesi Yayınları, No 290, İzmir, 2001.
- [19] Aka İ., Keskinçi F., Çili F., Çelik O.C., “Betonarme-Betonarmeye Giriş-Betonarme Yapı Elemanları-Betonarme Taşıyıcı Sistemler”, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2001.
- [20] Topçu Y., Deprem Etkisinde Betonarme İstinat Duvarlarının Analizi, Yüksek lisans tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2005.
- [21] Coduto, D.P., “Foundation design, principles and practices”, Prentice Hall, New Jersey, 2011.
- [22] Das B. M., “Principles of Geotechnical Engineering”, PWS Publishing, USA, 2013.
- [23] Kramer, S.L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [24] Clayton, C.R.I., “Earth Pressures and Earth Retaining Structures”, Third Edition, CRC Press, London and New York, 2014.

- [25] Saran S., Prakash S., Analysis And Desing Of Subsuctures: Limit State Desing Balkema Publishers, Rotterdam, 1966.
- [26] Steedman R.S., Zeng X., The Influence Of Phase On The Calculation Of Pseudo-Static Earth Pressure On The Retaining Wall Rtp CUED/D-Soils TR222, Engineerig Dept., Cambridge University, Uk, 1989.
- [27] Steedman R.S., Zeng X., "The Seismic Response Of Waterfront Retaining Walls", Geotechnical Special Publication, n25, Publ By ASCE, New York, NY USA, 872-886, 1990.
- [28] Richards R. Jr., Huang C., Fishman K. L., "Siesmic Earth Pressure On Retaining Structures", Journal Of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 771-778, 1999.
- [29] Richards R. Jr., Elms D.G., "Dinamic Fluidization Of Soils", Journal Of Geotechnical Engineering 116, 740-759, 1979.
- [30] Seed H. B., Whitman R. V., "Desing Of Earth Retaining Structures For Dynamic Loads", Proceedings ASCE Speciality Conference On Lateral Stres In The Ground and Desing Of Earth Retaining Structures", 103-147, 1970.
- [31] Prakash S., Basavanna B. M., "Earth Pressure Distribution Behind Retaining Wall Duruing Earthquake", Proc.4th Word Conf. On Earthquake Eng., Santiago, Chile, 1969.
- [32] Sherif M. A., Ishibashi I., Lee C. D., "Earth Pressures Against Rigid Retaining Walls.", Journal Of Goetechnic Engineering, ASCE, 108(5), 679-695, 1982.
- [33] Sherif M. A., Fang Y. S., "Dynamic Earth Pressures on Walls Rotating About The Top Soils and Foundations, 24(4), 109-117, 1984.
- [34] Ishibashi I., Fang Y. S., "Dynamic Earth Pressures With Different Wall Movement Modes, Soil and Foundations", Japanese Soc. Of Soil Mech. And Found. Engrg., 27(4), 11-22, 1987.
- [35] Wang Y. Z., "Distribution Of Earth Pressure On A Retaining Wall", Géotechnique, 50, 83-88, 2000.
- [36] Saran, S., Analysis and design of substructures : limit state design, A. A. Balkema, Rotterdam, 1996.
- [37] Richards, R. Jr., Elms, D.G., "Seismic Behavior Of Gravity Retaining Walls", ASCE Journal Of The Geotechnical Engineering Division, Vol. 105, GT4, 449-464, April 1979.

- [38] Damar N., Toprak dolgu barajlara ve istinat duvarlarına gelen deprem etkisi, Yüksek lisans tezi, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.



EKLER

EK A: Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre yaptığı eğim açısının (β), zeminin tasarım kayma direnci açısının (ϕ'_d) sabit duvar yüksekliğinin (H) değişken olduğudurumlarda statik ve dinamik ywükler, statik yüklerin dinamik yüklere oranı, oranların grafik olarak gösterimi

Tablo EK A.1 ($\phi=28$, $\beta=0^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

			TBDY			DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
ϕ (°)	β (°)	H(m)	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	
28	0	2	12,997	5,566	2,33507	12,997	5,366	2,42210	3,73%
28	0	4	51,989	22,264	2,33511	51,989	21,463	2,42226	3,73%
28	0	6	116,975	50,094	2,33511	116,975	48,291	2,42229	3,73%
28	0	8	207,96	89,057	2,33513	207,96	85,85	2,42236	3,74%

Tablo EK A.1 ($\phi=30$, $\beta=0^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

			TBDY			DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
ϕ (°)	β (°)	H(m)	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	
30	0	2	12	5,308	2,26074	12	5,086	2,35942	4,36%
30	0	4	48	21,233	2,26063	48	20,343	2,35953	4,37%
30	0	6	108	47,775	2,26060	108	45,772	2,35952	4,38%
30	0	8	192	84,934	2,26058	192	81,372	2,35953	4,38%

Tablo EK A.2 ($\phi=32$, $\beta=0^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

			TBDY			DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
ϕ (°)	β (°)	H(m)	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	P_{as} (kN/m)	P_{ad} (kN/m)	(P_{as}/P_{ad})	
32	0	2	11,061	5,079	2,17779	11,061	4,821	2,29434	5,35%
32	0	4	44,245	20,318	2,17763	44,245	19,282	2,29463	5,37%
32	0	6	99,552	45,717	2,17757	99,552	43,385	2,29462	5,38%
32	0	8	176,981	81,275	2,17756	176,981	77,129	2,29461	5,38%

Tablo EK A.3 ($\phi=34$, $\beta=0^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
34	0	2	10,177	4,872	2,08888	10,177	4,568	2,22789	6,65%
34	0	4	40,711	19,488	2,08903	40,711	18,274	2,22781	6,64%
34	0	6	91,6	43,848	2,08903	91,6	41,115	2,22790	6,65%
34	0	8	162,84	77,952	2,08898	162,84	73,094	2,22782	6,65%

Tablo EK A.4 ($\phi=28$, $\beta=5^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
28	5	2	13,742	7,041	1,95171	13,742	6,069	2,26429	16,02%
28	5	4	54,967	28,166	1,95154	54,967	24,275	2,26435	16,03%
28	5	6	123,67	63,375	1,95140	123,67	54,62	2,26419	16,03%
28	5	8	219,87	112,667	1,95150	219,87	97,101	2,26434	16,03%

Tablo EK A.5 ($\phi=30$, $\beta=5^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
30	5	2	12,657	6,514	1,94305	12,657	5,696	2,22209	14,36%
30	5	4	50,627	26,057	1,94293	50,627	22,783	2,22214	14,37%
30	5	6	113,91	58,628	1,94293	113,91	51,263	2,22207	14,37%
30	5	8	202,51	104,229	1,94293	202,51	91,134	2,22211	14,37%

Tablo EK A.6 ($\phi=32$, $\beta=5^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
32	5	2	11,64	6,088	1,91196	11,64	5,353	2,17448	13,73%
32	5	4	46,559	24,353	1,91184	46,559	21,413	2,17433	13,73%
32	5	6	104,757	54,794	1,91183	104,757	48,18	2,17428	13,73%
32	5	8	186,235	97,413	1,91181	186,235	85,654	2,17427	13,73%

Tablo EK A.7 ($\phi=34$, $\beta=5^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
34	5	2	10,686	5,729	1,86525	10,686	5,036	2,12192	13,76%
34	5	4	42,743	22,918	1,86504	42,743	20,144	2,12187	13,77%
34	5	6	96,173	51,565	1,86508	96,173	45,323	2,12195	13,77%
34	5	8	107,974	91,672	1,17783	107,974	80,574	1,34006	13,77%

Tablo EK A.8 ($\phi=28$, $\beta=10^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
28	10	2	14,656	10,225	1,43335	14,656	7,128	2,05612	43,45%
28	10	4	58,624	40,902	1,43328	58,624	28,511	2,05619	43,46%
28	10	6	131,905	92,03	1,43328	131,905	64,149	2,05623	43,46%
28	10	8	234,5	163,61	1,43329	234,5	114,042	2,05626	43,46%

Tablo EK A.9 ($\phi=30$, $\beta=10^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
30	10	2	13,452	8,734	1,54019	13,452	6,574	2,04624	32,86%
30	10	4	53,81	34,936	1,54025	53,81	26,296	2,04632	32,86%
30	10	6	121,072	78,607	1,54022	121,072	59,166	2,04631	32,86%
30	10	8	215,239	139,746	1,54022	215,239	105,185	2,04629	32,86%

Tablo EK A.10 ($\phi=32$, $\beta=10^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
32	10	2	12,332	7,772	1,58672	12,332	6,093	2,02396	27,56%
32	10	4	49,327	31,09	1,58659	49,327	24,372	2,02392	27,56%
32	10	6	110,986	69,952	1,58660	110,986	54,838	2,02389	27,56%
32	10	8	197,308	124,36	1,58659	197,308	97,489	2,02390	27,56%

Tablo EK A.11 ($\phi=34$, $\beta=10^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
34	10	2	11,287	7,066	1,59737	11,287	5,666	1,99206	24,71%
34	10	4	45,149	28,266	1,59729	45,149	22,664	1,99210	24,72%
34	10	6	101,586	63,6	1,59726	101,586	50,994	1,99212	24,72%
34	10	8	180,597	113,067	1,59726	180,597	90,655	1,99214	24,72%

Tablo EK A.12 ($\phi=28$, $\beta=15^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

		TBDY				DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
28	15	2	15,85	16,644	0,95230	15,85	9,077	1,74617	83,36%
28	15	4	63,402	66,574	0,95235	63,402	36,308	1,74623	83,36%
28	15	6	142,654	149,792	0,95235	142,654	81,692	1,74624	83,36%
28	15	8	253,607	266,296	0,95235	253,607	145,23	1,74624	83,36%

Tablo EK A.13 ($\phi=30, \beta=15^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

TBDY						DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
30	15	2	14,469	17,49	0,82727	14,469	8,042	1,79918	117,48%
30	15	4	57,877	69,961	0,82728	57,877	32,168	1,79921	117,49%
30	15	6	130,223	157,413	0,82727	130,223	72,378	1,79921	117,49%
30	15	8	231,508	279,845	0,82727	231,508	128,673	1,79920	117,49%

Tablo EK A.14 ($\phi=32, \beta=15^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

TBDY						DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
32	15	2	13,2	11,96	1,10368	13,2	7,248	1,82119	65,01%
32	15	4	52,801	47,842	1,10365	52,801	28,992	1,82123	65,02%
32	15	6	118,801	107,645	1,10364	118,801	65,232	1,82121	65,02%
32	15	8	211,202	191,37	1,10363	211,202	115,968	1,82121	65,02%

Tablo EK A.15 ($\phi=34, \beta=15^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

TBDY						DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
34	15	2	12,03	9,715	1,23829	12,03	6,6	1,82273	47,20%
34	15	4	48,12	38,862	1,23823	48,12	26,401	1,82266	47,20%
34	15	6	108,271	87,44	1,23823	108,271	59,402	1,82268	47,20%
34	15	8	192,481	155,449	1,23823	192,481	105,603	1,82268	47,20%

Tablo EK A.16 ($\phi=28, \beta=20^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

TBDY						DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
28	20	2	17,575	14,919	1,17803	17,575	18,44	0,95309	-19,09%
28	20	4	70,3	59,676	1,17803	70,3	73,78	0,95283	-19,12%
28	20	6	158,174	134,271	1,17802	158,174	166,005	0,95283	-19,12%
28	20	8	281,199	238,704	1,17802	281,199	295,121	0,95283	-19,12%

Tablo EK A.17 ($\phi=30, \beta=20^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

TBDY						DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
30	20	2	15,879	16,08	0,98750	15,879	11,648	1,36326	38,05%
30	20	4	63,517	64,321	0,98750	63,517	46,591	1,36328	38,05%
30	20	6	142,913	144,723	0,98749	142,913	104,830	1,36328	38,05%
30	20	8	254,068	257,285	0,98750	254,068	186,365	1,36328	38,05%

Tablo EK A.18 ($\phi=32$, $\beta=20^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	TBDY			DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
			$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
32	20	2	14,367	16,985	0,84586	14,367	9,546	1,50503	77,93%
32	20	4	57,463	67,941	0,84578	57,463	38,182	1,50498	77,94%
32	20	6	129,304	152,868	0,84585	129,304	85,91	1,50511	77,94%
32	20	8	229,874	271,765	0,84586	229,874	152,728	1,50512	77,94%

Tablo EK A.19 ($\phi=34$, $\beta=20^\circ$) TBDY ve DBYBHY göre yanal toprak basınçları

$\phi(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	H(m)	TBDY			DBYBHY			DİNAMİK YÜKTEKİ ARTIŞ (%)
			$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	$P_{as}(kN/m)$	$P_{ad}(kN/m)$	(P_{as}/P_{ad})	
34	20	2	13,003	17,672	0,73580	13,003	8,248	1,57650	114,26%
34	20	4	52,013	70,689	0,73580	52,013	32,991	1,57658	114,27%
34	20	6	117,03	159,05	0,73581	117,03	74,23	1,57659	114,27%
34	20	8	208,053	282,755	0,73581	208,053	131,964	1,57659	114,27%

ÖZGEÇMİŞ

Hasan Hüseyin Kaşlı, 1994 yılında Antalya’da doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Antalya’da tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı ve bu bölümden 2016 yılında mezun oldu. Mezun olduktan sonra özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmaya başladı. 2017 yılında Sakarya Üniversitesi’nde geoteknik alanında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimini tamamlamakla birlikte özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.