

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ASİMETRİK AĞIRLIK TİPİ DAYANMA DUVARLARININ TASARIM OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra AHISKALI**

**MART 2021  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ASİMETRİK AĞIRLIK TİPİ DAYANMA DUVARLARININ TASARIM OPTİMİZASYONU**

**Büşra AHISKALI**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde**  
**"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"**  
**Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 / 02 / 2021**

**Tezin Savunma Tarihi : 01 / 03 / 2021**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU**

**Trabzon 2021**

## ÖNSÖZ

Asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarlarının tasarım optimizasyonunu yapan bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak gerçekleştirilmiştir.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini paylaşarak yol gösteren çok değerli hocam Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU'na saygı ve minnetimi sunar, teşekkür ederim.

Her zaman arkamda olan, bana güven ve sevgi veren, maddi ve manevi desteklerini her zaman hissettiren anne ve babama şükranlarımı sunarım.

Büşra AHISKALI

Trabzon 2021

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Asimetrik Ağırlık Tipi Dayanma Duvarlarının Tasarım Optimizasyonu” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU'nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

01/03/2021

Büşra AHISKALI

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VIII
SUMMARY .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Ağırlık İstinat Duvarları .....	1
1.2.1. Taş Duvar .....	2
1.2.2. Gabyon Duvarlar .....	2
1.2.3. Kafes İstinat Duvarları .....	3
1.2.4. Betonarme Konsol Duvar .....	4
1.2. Gömülü Duvarlar.....	5
1.3. Donatılı ve Ankrajlı Zemin Duvarlar .....	6
1.4. Dayanma Duvarlarına Etkiyen Yanal Zemin Basınçları .....	7
1.4.1 Rankine Teorisi .....	7
1.4.1.1. Elastik (Sükunet) Denge Durumu.....	8
1.4.1.2. Plastik Denge Durumu .....	9
1.4.1.2.1. Aktif Durum .....	9
1.4.1.2.1.1. Eğik Zemin Yüzeyi İçin Rankine Aktif Toprak Basıncı .....	10
1.4.1.2.2. Pasif Durum.....	11
1.4.1.2.2.1. Eğik Zemin Yüzeyi İçin Rankine Pasif Toprak Basıncı.....	13
1.4.2. Coulomb Teorisi.....	14
1.4.2.1. Aktif Durum .....	14
1.4.2.2. Pasif Durum.....	15
1.5. Zeminlerin Taşıma Gücü.....	16

1.5.1.	Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi .....	17
1.6.	İstinat Duvarlarının Stabilitesi.....	18
1.6.1.	Devrilme Tahkiki.....	19
1.6.2.	Kayma Tahkiki .....	20
1.6.3.	Taşıma Gücü Tahkiki .....	21
1.7.	Optimizasyon.....	24
1.7.1.	Optimizasyonun Temel Tanımları.....	27
1.7.2.	Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması .....	29
1.7.3.	Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Metotları.....	29
1.8.	MATLAB Programı .....	30
1.8.1.	MATLAB’da Optimizasyon.....	31
1.9.	Literatür Araştırması.....	34
1.10.	Amaç ve Kapsam.....	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	39
2.1.	Tasarım Değişkenleri (Design Variables).....	39
2.2.	Amaç Fonksiyonu (Objective Function) .....	40
2.3.	Kısıtlar (Constraints) .....	41
2.3.1.	Devrilme Kısıtı .....	41
2.3.2.	Kayma Kısıtı.....	43
2.3.3.	Tabanda Çekme Gerilmeleri Oluşmaması Kısıtı .....	43
2.3.4.	Geleneksel Yönteme Göre Taşıma Gücü Kısıtı .....	45
2.3.5.	Eğilme Tahkiki Kısıtı .....	47
2.3.6.	Kesme Tahkiki Kısıtı.....	52
2.3.7.	Tasarım Kısıtı .....	53
2.4.	Optimizasyon Problemi .....	54
2.4.1.	İç Nokta (Interior Point) Metodu.....	54
2.5.	Ampatmanda Kesme ve Eğilme Kontrolü.....	55
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	57
3.1.	Optimizasyon Hesabında Kullanılan Tasarım Bilgileri.....	57
3.2.	2 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı .....	57
3.3.	3 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı .....	60
3.4.	4 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı .....	63
3.5.	Normalize Edilmiş Duvar Genişlikleri .....	67

3.5.1.	İçsel Sürtünme açısı 15° İçin Normalize Edilmiş Genişlikler .....	67
3.5.2.	İçsel Sürtünme açısı 25° İçin Normalize Edilmiş Genişlikler .....	68
3.5.3.	İçsel Sürtünme açısı 35° İçin Normalize Edilmiş Genişlikler .....	70
3.6.	Ampatmanda Kesme ve Eğilme Kontrolü .....	72
3.7.	En Kesit Alanının İçsel Sürtünme Açısıyla Değişimi .....	73
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	74
5.	KAYNAKLAR .....	76
6.	EKLER .....	79

ÖZGEÇMİŞ







## Yüksek Lisans Tezi

### ÖZET

#### ASİMETRİK AĞIRLIK TİPİ DAYANMA DUVARLARININ TASARIM OPTİMİZASYONU

Büşra AHISKALI

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU  
2021, 78 Sayfa, 12 Sayfa Ek

Zemini iki farklı kotta tutan yapılara dayanma duvarı denmektedir. Dayanma duvarları yanal zemin basınçlarına maruz kalırlar. Dayanma duvarlarının güvenli bir şekilde işlevini yerine getirebilmesi için bazı iç ve dış stabilite kontrollerinin yapılması gerekir.

Asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarlarının tasarım optimizasyonu MATLAB programlama dilinde yazılmış bir program yardımıyla bu çalışmada incelenmiştir. Bu amaçla optimizasyon probleminin sürekli fonksiyonları geliştirilmiştir. Amaç fonksiyonu maliyetin minimize edilmesi amacıyla duvarın en kesit alanı olarak tanımlanmıştır. Kısıt fonksiyonları iç ve dış stabilite tahkiklerinden türetilmiştir. Dış stabilite tahkikleri; devrilme, kayma, tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması ve geleneksel yöntemlere göre taşıma gücüdür. İç stabilite için gövdede eğilme ve kesme tahkikleri kullanılmıştır. Optimum kesitin ana hatlarını ve duvar yüksekliğinin ana hat üzerindeki etkisini araştırmak için duvar yükseklikleri 2.0, 3.0 ve 4.0 metre olarak seçilmiştir. Ek olarak, içsel sürtünme açısındaki değişimin optimum kesit alanına etkisini araştırmak için içsel

sürtünme açısı  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  olarak seçilip hesaplarda kullanılmıştır. Duvarın yüksekliğinin ve zeminin içsel sürtünme açısının optimum kesitler üzerindeki etkisini karşılaştırmak için zeminin diğer fiziksel ve mekanik özellikleri sabit tutulmuştur.

Sonuç olarak elde edilen optimum en kesit alanının, duvarın yüksekliğine bağlı olarak lineer olarak değiştiği ve en kesit geometrisini etkileyen esas parametrenin içsel sürtünme açısı olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Ağırlık dayanma duvarı, Doğrusal olmayan optimizasyon, Sürekli değişkenler, İç nokta metodu

Master Thesis

## SUMMARY

### DESIGN OPTIMIZATION FOR ASYMMETRICAL GRAVITY RETAINING WALLS

Büşra AHISKALI

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU  
2021, 78 Pages, 12 Pages Appendix

The structures that keep the soil at two different levels are called retaining walls. The retaining walls are under the effect of the lateral earth pressures. Internal and external stability checks are carried out for the purpose that the retaining walls can perform its functions safely.

The design optimization of asymmetric gravity retaining walls was examined in this study by using a program written in MATLAB programming language. For this purpose, an optimization problem of continuous functions is developed. The objective function is defined as the cross-sectional area of the wall in order to minimize the cost. The constraint functions derived from external stability and internal stability verifications. The verifications external stability are listed as the overturning, the sliding, the total vertical forces within the middle third of the base, the bearing capacity. The verifications internal stability are listed as the bendings in the stem and the shears in the stem. The heights of the walls are selected as 2.0, 3.0, and 4.0 m in order to investigate the outline of the optimum cross-section and the effect of the wall height on the outline. In addition, in order to investigate the effect of the change in the internal friction angle on the optimum cross-sectional area, the internal friction angle was chosen as  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  and  $35^\circ$  and used in the calculations. The physical and mechanical properties of the soil are kept constant in order to compare only the effect of the height of walls and internal friction angle of soil on the geometry.

As a result, it has been found that the optimum cross-sectional area changes linearly depending on the height of the wall and the main parameter affecting the cross-section geometry of concrete gravity walls is the internal friction angle.

**Key Words:** Gravity retaining wall, Nonlinear optimization, Continuous variables, Interior point method

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No




Şekil 1.	Çeşitli taş duvarların enine kesitleri .....	2
Şekil 2.	Ağırlık tipi gabyon duvar uygulaması.....	2
Şekil 3.	Kafes duvar (a) Bileşenleri (b) Kesiti.....	4
Şekil 4.	Betonarme konsol duvar tipleri (a) T tipi konsol duvar (b) L tipi konsol duvar (c) Payandalı konsol duvar .....	5
Şekil 5.	Gömülü duvarlar (a) Konsol duvar (b) Ankrajlı duvar (c) Destekli duvar.....	6
Şekil 6.	Duvarlar a) Donatılı zemin, b) Takviyeli zemin.....	7
Şekil 7.	Dayanma duvarının arkasında zeminde aktif durum oluşması ve Rankine aktif yanal zemin basıncı dağılımı.....	9
Şekil 8.	Aktif durumda eğik zemin yüzeyinde gerilme dağılışı .....	11
Şekil 9.	Dayanma duvarının arkasında zeminde pasif durum oluşması ve Rankine pasif yanal zemin basıncı dağılımı .....	12
Şekil 10.	Pasif durumda eğik zemin yüzeyinde gerilme dağılışı .....	13
Şekil 11.	Kohezyonsuz zeminde aktif durumda Coulomb Kama Teorisi.....	14
Şekil 12.	Kohezyonsuz zeminde pasif durumda Coulomb Kama Teorisi .....	16
Şekil 13.	Devrilme tahkikinde momenti alınan kuvvetler ve moment alınan T (ayakucu) noktası .....	20
Şekil 14.	Eksantrik yüklü tekil temel (a) Çekirdek içinde (b) Çekirdek üzerinde (c) Çekirdek dışında .....	22
Şekil 15.	Eksantrik yüklü duvar altı şerit temel (a) Çekirdek içinde (b) Çekirdek üzerinde (c) Çekirdek dışında .....	24
Şekil 16.	Bir probleme klasik tasarım yaklaşımı ile optimizasyon tasarım yaklaşımının karşılaştırılması.....	25
Şekil 17.	Optimizasyon sınıflandırılması .....	28
Şekil 18.	MATLAB optimizasyon toolbox komutları.....	32
Şekil 19.	Ağırlık istinat duvarının tasarım değişkenleri .....	40
Şekil 20.	Eğilme tahkiki kısıtının hesabında kullanılan kesitler.....	47
Şekil 21.	Kesme tahkiki kısıtının hesabında kullanılan kesitler .....	53
Şekil 22.	Ampatmanda kesme ve eğilme hesabında kullanılan yükler.....	55
Şekil 23.	2 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti, a. $\phi=15^\circ$ b. $\phi=25^\circ$ c. $\phi=35^\circ$ .....	59

Şekil 24. 3 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti, a. $\phi=15^\circ$ b. $\phi=25^\circ$ c. $\phi=35^\circ$ .....	62
Şekil 25. 4 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti, a. $\phi=15^\circ$ b. $\phi=25^\circ$ c. $\phi=35^\circ$ .....	65
Şekil 26. İçsel sürtünme açısı $15^\circ$ için normalize edilmiş genişlikler .....	68
Şekil 27. İçsel sürtünme açısı $25^\circ$ için normalize edilmiş genişlikler .....	70
Şekil 28. İçsel sürtünme açısı $35^\circ$ için normalize edilmiş genişlikler .....	71
Şekil 29. Ampatmanda eğilme kontrolünün gösterilmesi.....	73
Şekil 30. Duvar en kesit alanının içsel sürtünme açısıyla değişimi .....	73
















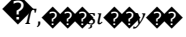












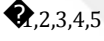






## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Temel şekil katsayıları.....	17
Tablo 2. Genel kayma kırılması ve pürüzlü temel için Terzaghi Taşıma Gücü katsayıları . 18	
Tablo 3. Optimizasyon komutları ve kullanım amaçları .....	33
Tablo 4. “fmincon” komutunun kullanımı .....	33
Tablo 5. “fmincon” komutunun parametrelerinin anlamları.....	34
Tablo 6. Tasarım örnekleri için giriş parametreleri .....	57
Tablo 7. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 2 metre duvar için tasarım değişkenleri .....	58
Tablo 8. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 2 metre duvarın optimum  değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları .....	60
Tablo 9. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 3 metre duvar için tasarım değişkenleri .....	61
Tablo 10. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 3 metre duvarın optimum  değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları .....	63
Tablo 11. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 4 metre duvar için tasarım değişkenleri .....	64
Tablo 12. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 4 metre duvarın optimum  değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları .....	66
Tablo 13. İçsel sürtünme açısı 15° için normalize edilmiş tasarım değişkenleri .....	67
Tablo 14. İçsel sürtünme açısı 15° için normalize edilmiş genişlikler.....	68
Tablo 15. İçsel sürtünme açısı 25° için normalize edilmiş tasarım değişkenleri .....	69
Tablo 16. İçsel sürtünme açısı 25° için normalize edilmiş genişlikler.....	69
Tablo 17. İçsel sürtünme açısı 35° için normalize edilmiş tasarım değişkenleri .....	70
Tablo 18. İçsel sürtünme açısı 35° için normalize edilmiş genişlikler.....	71
Tablo 19. Ampatmanda kesme ve eğilme kontrolü sonuçları.....	72

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: En kesit alanı
B	: Temelin kısa kenarının genişliği
	: Gövde genişliği
c	: Temel zemininin kohezyonu
d	: Faydalı yükseklik
E	: Ampatmanda eğilme kontrolü
	: Eksantrisite
	: Tabanda oluşan sürtünme kuvveti
	: Kaydıran kuvvetler
	: Taşıma gücü yenilmesine karşı güvenlik sayısı
	: Devrilmeye karşı güvenlik sayısı
	: Kaymaya karşı güvenlik sayısı
	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
	: Betonun tasarım çekme dayanımı
$f(x)$	: Hedef (amaç) fonksiyonu
$g_j(x)$	: Eşitsizlik tipindeki kısıtlar
H	: Duvarın yüksekliği
$h_k(x)$	: Eşitlik tipindeki kısıtlar
K	: Ampatmanda kesme kontrolü
	: Aktif toprak basınç katsayısı
	: Sükunetteki toprak basıncı kat sayısı
	: Pasif toprak basınç katsayısı
$k_1, k_2$	: Temel şekil katsayıları
L	: Temelin uzun kenarının genişliği
	: A noktasına göre moment
	: Temel tabanının orta noktasına göre moment
	: Ayak ucu noktasına göre deviren momentler
	: Ayak ucu noktasına göre karşı koyan momentler
  	: Taşıma gücü katsayıları

	: Temele etkiyen tüm düşey kuvvetler
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
	: Aktif bileşke kuvvet
	: Pasif bileşke kuvvet
	: Temel taban düzeyindeki düşey efektif gerilme
R	: Bileşke kuvvet
	: Emin taşıma gücü
	: Zeminin sınır taşıma gücü
W	: Zemin kamasının ağırlığı
	: Atalet momenti
	: Seçili bölgelerin ağırlıkları
	: Tasarım değişkenleri
	: Kesitin kesme dayanımı
	: Tasarım kesme kuvveti
z	: Duvar arkası zemin yüzünden derinlik
$\alpha$	: Duvarın arka yüzünün yatayla yaptığı açı
$\beta$	: Dolgunun yatayla yaptığı açı
	: Zeminin birim hacim ağırlığı
$\gamma$	: Doğal zeminin birim hacim ağırlığı
$\delta$	: Duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı
$\phi$	: İçsel sürtünme açısı
$\phi'$	: Efektif içsel sürtünme açısı
$\Phi$	: Direnç faktörü
$\sigma_a$	: Aktif yanal zemin basıncı
$\sigma_d$	: Düşey gerilme
	: Maksimum taban gerilmesi
	: Minimum taban gerilmesi
$\sigma_p$	: Pasif yanal zemin basıncı
$\sigma_y$	: Yanal (yatay) gerilme

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Zeminin yüzeyi arasında kot farkının olması, inşaat mühendislerinin sıkça yüz yüze kaldığı durumlardır. Bu duruma getirilecek ilk çözüm şevi düzenlemektir. Ancak, bazı durumlarda, önerilen eğim kendini destekleyemez ve böylece yatay toprak basıncı etkisi altındaki dayanma yapısı denilen başka bir tür çözüm gerekir. Sonuç olarak toprak tutma yapıları normalde zemini desteklemek ve zemini bir noktada iki farklı kotta tutmak için kullanılır. Genelde ağırlık istinat duvarları, gömülü duvarlar, takviyeli ve ankrajlı zemin duvarları olarak gruplandırılır [1].

Hangi duvar tipinin uygulanacağı birçok diğer faktörün yanı sıra özellikle aşağıdaki hususlara bağlıdır [2].

- Yeraltı suyunun ve zeminin durumu,
- Topografya ve yükseklik,
- Uygun geri dolgusu malzemesinin bulunabilirliği,
- Özel tekniklerin kullanılmasının gerekliliği, ekipman, yer, ulaşım gibi yapı kısıtları,
- Yapım sırasında çevrenin etkisi ve görünümü,
- Zeminin hareketleri ve zemin hareketinin komşu yapılara etkisi,
- Yeraltında var olan yapılar,
- Yapının kullanım süresi ve bakım gerekleri,
- Maliyet.

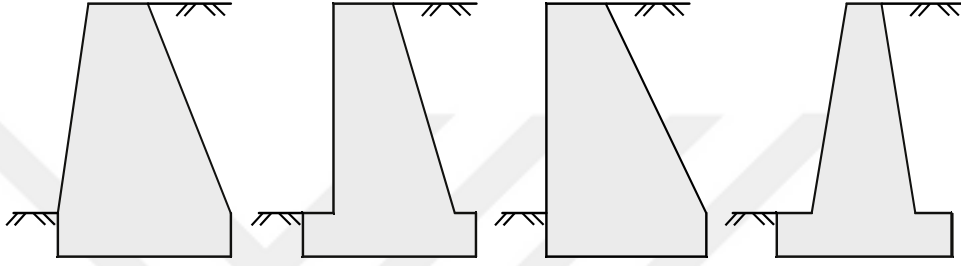
### 1.2. Ağırlık İstinat Duvarları

Ağırlık istinat duvarlarının stabilitesi büyük ölçüde kendi ağırlıklarına bağlıdır ve genellikle geniş tabana ve rijit bir yapıya sahiptir [1].



### 1.2.1. Taş Duvar

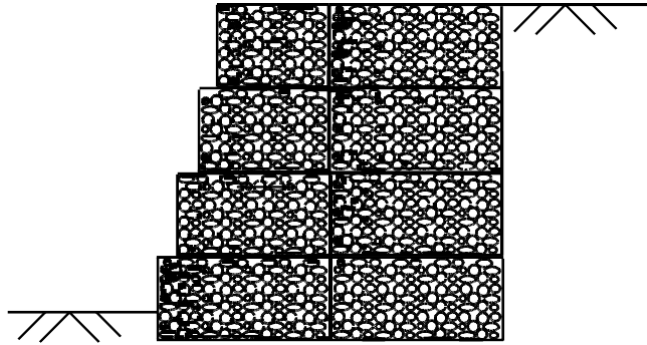
Ağırlık taş istinat duvarının ağırlığı, tutulan toprak ve yer altı suyunun etkilerine karşı gerekli stabiliteyi sağlar. Bu tip duvarlar genelde harçlı ve harçsız taş örgü, tuğla, briket veya düz betondan yapılır. Bazı durumlarda kum, çakıl ve çimento temini taşın temininden daha ucuz ve daha kolaydır, bu nedenle ağırlık tipi taş duvarlarda taş yerine beton kullanılması tercih edilir. Şekil 1’de çeşitli taş duvarların enine kesitleri verilmiştir.



Şekil 1. Çeşitli taş duvarların enine kesitleri

### 1.2.2. Gabyon Duvarlar

Ağırlık tipi istinat duvarlarının bir çeşidi de gabyon duvarlardır. Gabyonlar genellikle dikdörtgen şeklinde veya bazen de silindirik; içi iri taş, moloz veya kaldırım taşıyla doldurulmuş sepetlerdir. Bu sepetler çelik veya plastik şerit örgülerden oluşur [1]. Şekil 2’de görüldüğü gibi içi dolu sepetler yan yana ve üst üste konularak gabyon duvar istenilen ebatta inşa edilebilir.



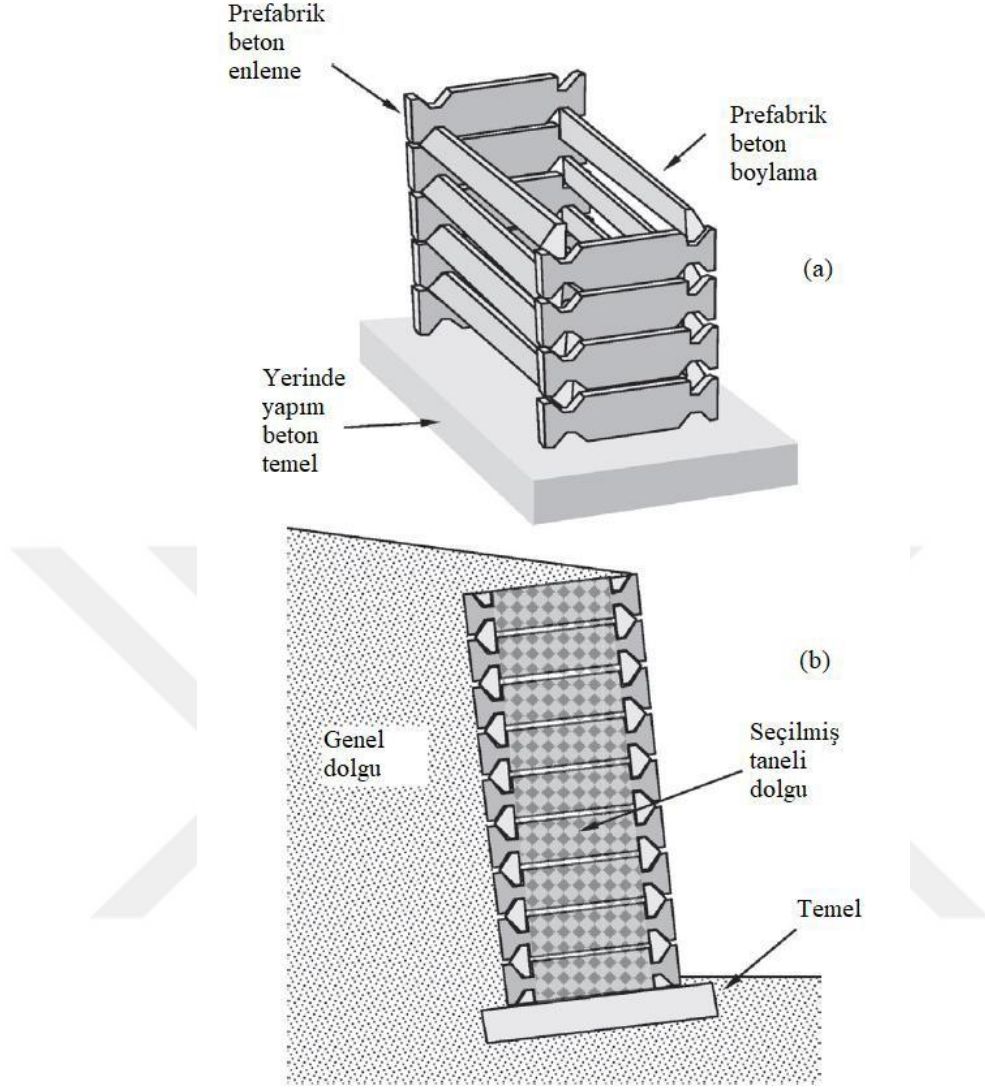
Şekil 2. Ağırlık tipi gabyon duvar uygulaması

Tipik bir gabyon duvarının yüksekliği 2-8 m olup gabyon duvarlar, darbe enerjisini emmede özellikle iyidir ve genellikle kaya dūşme bariyerleri olarak kullanılır. Gabyon duvarların bir diğer avantajları da bakım, onarımlarının kolay ve duvarı oluşturan malzemelerin geri dōnūřtürülebilir olmasıdır. Bir diğer avantajları da sepetlerin uzak alanlarda inřa edilebilmeleridir [3].

### **1.2.3. Kafes İstinat Duvarları**

Peyzaj veya geçici işlerde ahşap fakat genellikle prefabrike beton malzemenen seçilen boylama ve enlemeleri üst üste koyarak elde edilen gözleri; taş, çakıl veya diğer iri taneli dolgu malzemesiyle doldurularak inşa edilirler. Bu dolgu malzemesi aynı zamanda suyun drenajını da sağlar [1].

Prefabrike olmaları, montaj kolaylığı, malzemenin yeniden kullanılabilir olmasının yanı sıra bakımı da kolaydır.

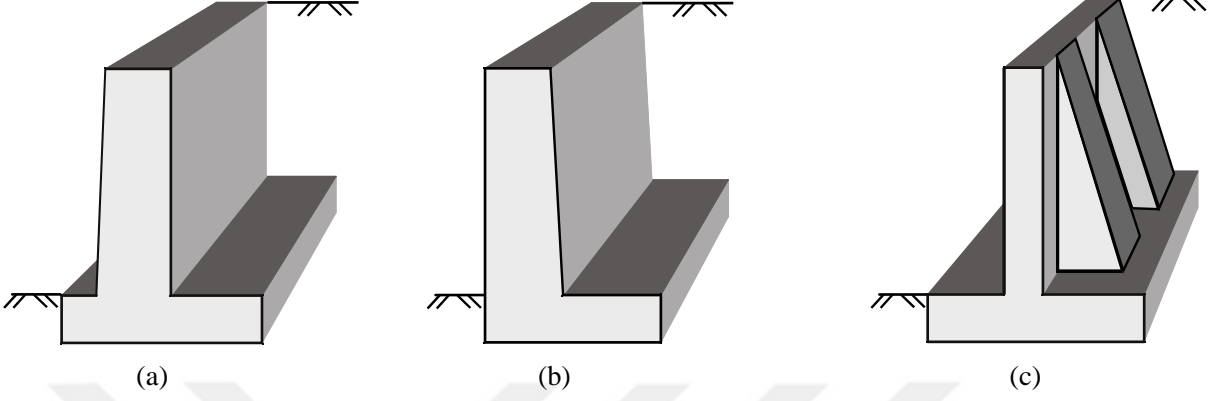


Şekil 3. Kafes duvar (a) Bileşenleri (b) Kesiti [3].

#### 1.2.4. Betonarme Konsol Duvar

Ağırlık istinat duvarların en yaygın şekli olan betonarme konsol duvarlar betonun basınç, donatının çekme dayanımını ve duvarın ağırlığını kullanarak dengeyi sağlarlar. Arsa sınırı, nehir kenarı gibi durumlarda L şeklinde tasarlanabilseler de en yaygın şekli ters T şeklindedir. Yüksekliğin ve toprak basıncının arttığı durumlarda taban plağı ile konsolu bağlayan payandalara ihtiyaç duyulabilir. Payandalar duvarın ön veya arka kısmına konulabilir. Payandalar öne konulduğunda basınca çalıştığından konsol ve temelde kullanılacak beton miktarında azalma olur. Payandalar duvarın arkasına konulduğunda ise

zemin kaması uzun olan topuk üzerine etkidiği için toprak yükünün duvar dengesine olan katkısı artar [4].

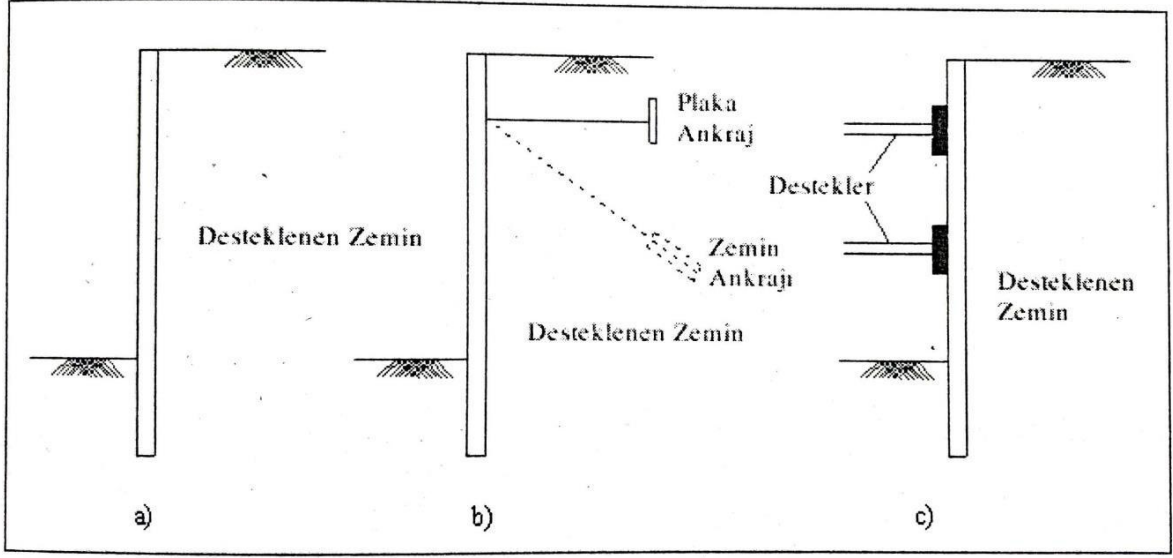


Şekil 4. Betonarme konsol duvar tipleri (a) T tipi konsol duvar (b) L tipi konsol duvar (c) Payandalı konsol duvar

## 1.2. Gömülü Duvarlar

Bu tip duvarların denge hesaplarında ağırlıkları hesaba katılmaz [1]. Ankrajlar, payandalar ve bazen de pasif toprak basıncı ile desteklenen çelik, betonarme veya ahşap duvarlardır [3].

Genellikle doğal zemin seviyesinden aşağıya inşa edilen gömülü duvarlar, konsol duvar şeklindeyse stabilitesi için gerekli kuvveti duvarın alt gömülü kısmında oluşan pasif toprak basıncından alır. Fakat bu pasif toprak basıncı yeterli olmadığında duvara ankraj ve destek ile ek denge kuvveti sağlanır. Bu durumda ortaya çıkan ankrajlı ve destekli gömülü duvarlar dengeleri için hem pasif toprak basıncını hem de ankrajlarından veya desteklerinden gelen kuvveti kullanırlar. Konsol duvarlar genellikle zeminden aşağı kazı şeklinde imal edildikleri için arkalarında önemli miktarda zemin hareketleri oluşabilir. Bu sebeple eğer gömülü duvar seçilecekse komşu yapıların durumu dikkatli bir şekilde göz önüne alınmalıdır [2]. Şekil 5'te gömülü duvarların konsol, ankrajlı veya desteklenmiş alternatiflerinin tasarımları gösterilmiştir.

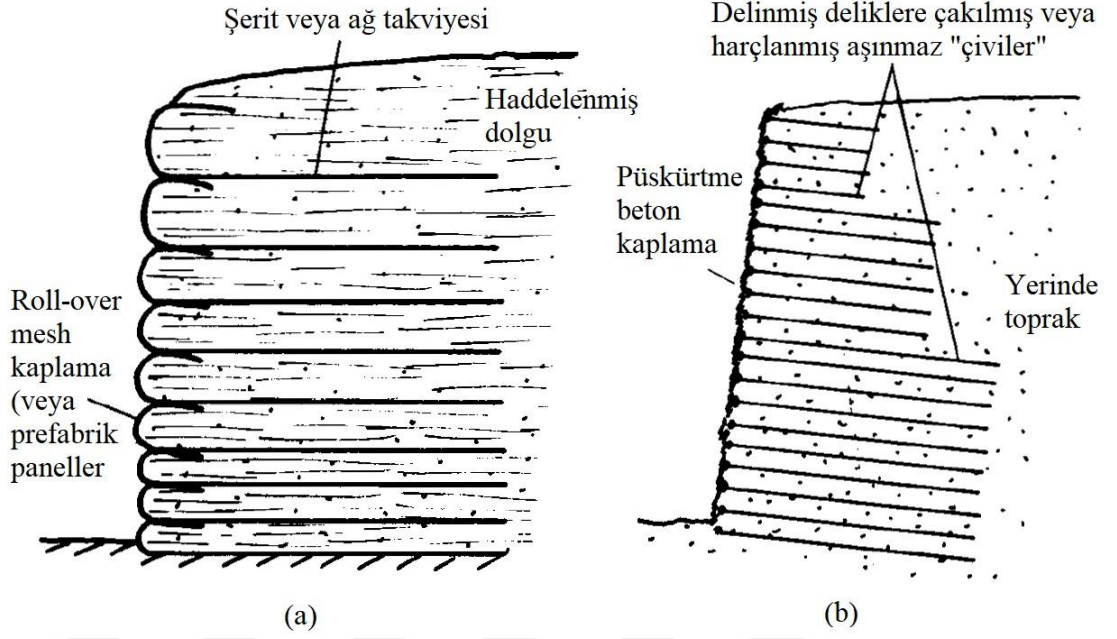


Şekil 5. Gömülü duvarlar (a) Konsol duvar (b) Ankrajlı duvar (c) Destekli duvar [2].

Palplanşlı duvarlar, gömülü konsol duvarlar, destekli duvarlar, fore kazık duvarlar, diyafram duvarlar, jet grout duvarlar, iksa kazığı duvarlar, kazık payandalı (Berlin) duvarlar gömülü duvarların çeşitleridir.

### 1.3. Donatılı ve Ankrajlı Zemin Duvarlar

Burada duvar malzemesi, takviyenin (toprak çivileri veya zemin ankrajları) içine yerleştirildiği kaya veya toprak olabilir. Dolgu toprağı yerleştirilirken de (takviyeli zemin) sıkıştırılmış katmanlar arasına takviye dönebilir. Donatılı zemin duvarlar, aralarına donatı şeritleri veya geotekstil ağ yerleştirilen katmanlar halinde serilmiş, sürtünmeli dolgu malzemesinden oluşur. Zemin çivileme, çelik çubukların veya köşebentlerin veya diğer metalik elemanların delinmiş deliklere çakıldığı veya bunlara harç uygulandığı (ancak önceden gerilmeden) yerinde bir zemin güçlendirme yöntemidir. Çiviler tipik olarak 3-5 metre uzunluğundadır ve 0.5-2 metre aralıklarla çakılır. Kaplama genellikle basit bir püskürtme beton tabakasıdır. Bu yöntem genellikle geçici işler için kullanılmasına rağmen aşınmayan çivilerle kalıcı yapılarda da kullanılır. Zemin ankrajları; çubuklardan, kıvrımlı çubuklardan veya genişleyen şerit elemanlarından oluşan tendonların delinmiş deliklere basınçla harçlanmasıyla yapılır. Palplanş duvarlar, kaya yüzlerinde, tünellerde ve maden işlerinde kullanılır [1]. Şekil 6'da donatılı zemin ve zemin çivileme yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 6. Duvarlar a) Donatılı zemin, b) Takviyeli zemin [1].

#### 1.4. Dayanma Duvarlarına Etkiyen Yanal Zemin Basıncıları

İstinat duvarı tarafından tutulan toprak, istinat duvarının arka yüzünde toprak basıncı olarak bilinen basınca sebep olur çünkü zeminin yatay deformasyonu istinat duvarı tarafından sınırlandırılmıştır. Dayanma duvarlarının tasarımı ve analizi için duvara etkiyen yatay zemin basıncının hesaplanması gerekmektedir. Aktif ve pasif yanal zemin basıncı ile ilgili başlıca iki teori Coulomb [5] ve Rankine [6] tarafından ortaya atılmıştır.

##### 1.4.1. Rankine Teorisi

Rankine, toprak basıncı problemini çözerken duvar ile zemin arasında sürtünmenin olmadığını, zeminin ise homojen olduğunu varsaymıştır. Rankine teorisi başta sadece kohezyonsuz zeminler için önerilse de daha sonra kohezyonlu zeminler için geliştirilmiştir.

Rankine Teorisi, bir zemin ortamında, zemin ortamının her noktasında kırılma olduğu plastik denge durumundaki gerilmeleri dikkate alır. Plastik durumda zeminde sıkışma veya genişleme şeklinde yanal deformasyonlar olur. Plastik durumda kendi içinde aktif veya pasif olabilir. Elastik (sükunet) durumda ise zeminde herhangi bir deformasyon

olmadığı yani istinat duvarının hiçbir şekilde hareket etmediği durumdur. Bu iki durum aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmıştır.

#### 1.4.1.1. Elastik (Sükunet) Denge Durumu

Elastik denge durumundaki yatay toprak basıncının belirlenmesi için önce düşey toprak basıncının belirlenmesi gerekir.

$$\sigma_d = \gamma \cdot z \quad (1)$$

Burada;

$\sigma_d$ : düşey gerilme,

◆ zeminin birim hacim ağırlığı,  
z: duvar arkası zemin yüzünden derinliktir.

Zeminin kendi ağırlığı ve bazen de uygulanan dış yüklerden dolayı ortaya çıkan yanal gerilme, düşey gerilmeye bağlı olarak Bağıntı 2 yardımı ile hesaplanabilir.

$$\sigma_y = \sigma_d \cdot K \quad (2)$$

Burada;

$\sigma_y$ : yanal (yatay) gerilme,

◆ sükunetteki toprak basıncı kat sayısıdır.

◆ birimsiz bir katsayı olup bu katsayının belirlenmesinde literatürde

çeşitli yaklaşımlar vardır.

Normal konsolide zeminler için Jaky [7] sükunetteki toprak basıncı kat sayısını

(◆)

Bağıntı 3'teki gibi önermiştir.

$$K = 1 - \sin \phi' \quad (3)$$

Burada,

$\phi'$ : efektif içsel sürtünme açısıdır.





Aşırı konsolide zeminler için sükunetteki toprak basıncı kat sayısını (4)

Meyerhof

[8] Bağını 4'deki ve Mayne ve Kulhawy [9] Bağını 5'deki gibi önermişlerdir.

$$K_a = (1 - \sin \phi') \sqrt{K_p} \quad (4)$$

$$K_a = (1 - \sin \phi') K_p \sin \phi \quad (5)$$

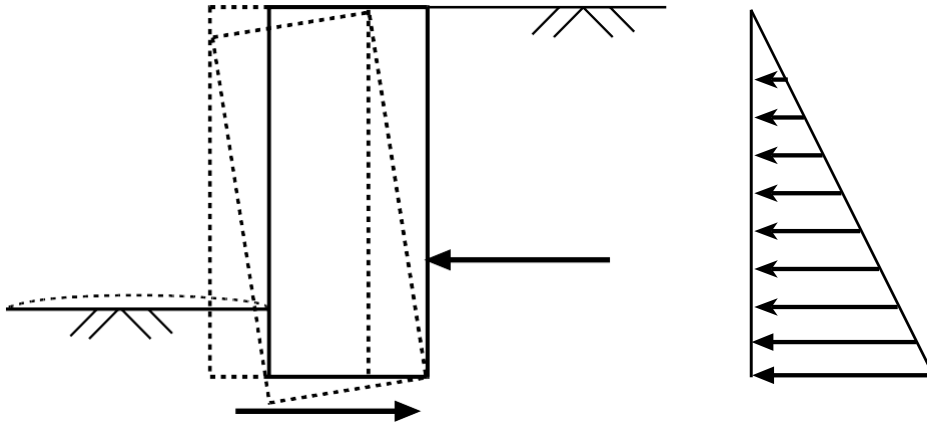
Burada,

OCR: aşırı konsolidasyon oranıdır.

### 1.4.1.2. Plastik Denge Durumu

#### 1.4.1.2.1. Aktif Durum

Yarım sonsuz ortam yanal olarak genişlerse zeminde aktif durum olur. Duvar dışarı doğru hareket ettiği için zemindeki aktif basınç, zeminin sükunet durumundaki basıncından daha düşük olacaktır.



Şekil 7. Dayanma duvarının arkasında zeminde aktif durum oluşması ve Rankine aktif yanal zemin basıncı dağılımı

Dayanma duvarı öne doğru zeminden uzaklaşırsa veya duvar öne doğru dönerse bu durumda duvarın arkasındaki zeminde aktif basınç durumu meydana gelir. Ayrıca kayma

düzleminin yatayla yaptığı açı  $(45+\phi/2)$  olur. Rankine'e göre düz bir duvarın arkasındaki homojen, izotropik ve kohezyonsuz bir toprak kütlesi içindeki dikey düzlemlere etkileyen aktif yanal basınçların hesaplandığı formül Bağıntı 6'da verilmiştir.

$$\sigma_a = K_a \sigma_d = K_a \cdot \gamma \cdot z \quad (6)$$

$$K_a = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (7)$$

Burada;

$\sigma_a$ : aktif yanal zemin basıncı,

$K_a$ : aktif toprak basınç katsayısı,

$\gamma$ : doğal zeminin birim hacim ağırlığı,

$\phi$ : içsel sürtünme açısıdır.

Birim uzunluk için duvara etkileyen aktif kuvvet Bağıntı 8 ile bulunur.  $F_a$  kuvveti duvar tabanından  $H/3$  uzaklığındadır.

$$F_a = \frac{1}{2} K_a \cdot H^2 \cdot \gamma \quad (8)$$

Burada;

$F_a$ : aktif bileşke kuvvet,

H: duvarın yüksekliğidir.

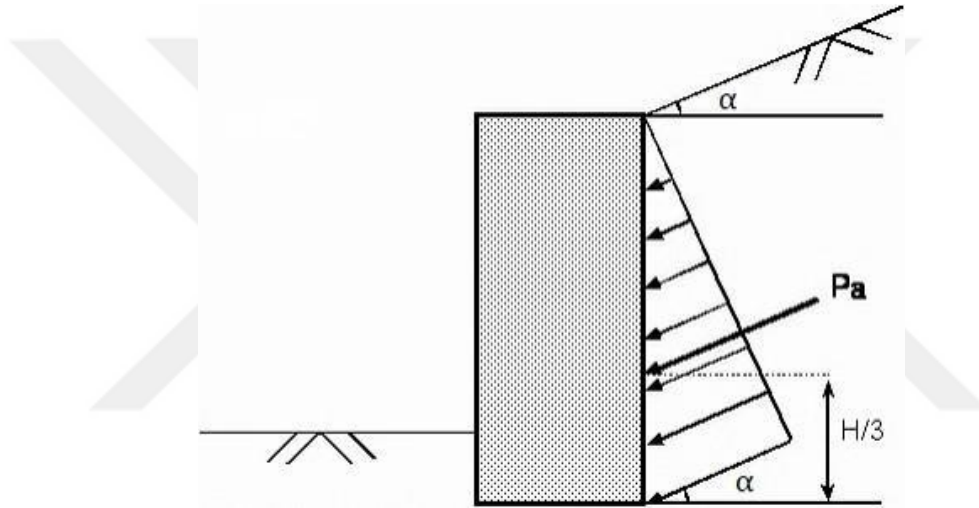
#### 1.4.1.2.1.1. Eğik Zemin Yüzeyi İçin Rankine Aktif Toprak Basıncı

Duvar sürtünmesiz ve düz olmasına rağmen, zemin duvar ile  $\alpha$  açısı yapacak şekilde eğimliyse bu durumda zeminin yüzeyinin eğik olmasının sonucu olarak basınçlar duvar arkasına eğik gelir ve aktif toprak basınç kat sayısı farklı bir şekilde hesaplanır. Bu

durumda  $K_a$  Bağıntı 9'daki gibi hesaplandıktan sonra  $K_a$  bir değişiklik olmaksızın Bağıntı 8'deki gibi hesaplanır.

$$K_a = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2(\alpha) - \cos^2(\phi)}} \quad (9)$$

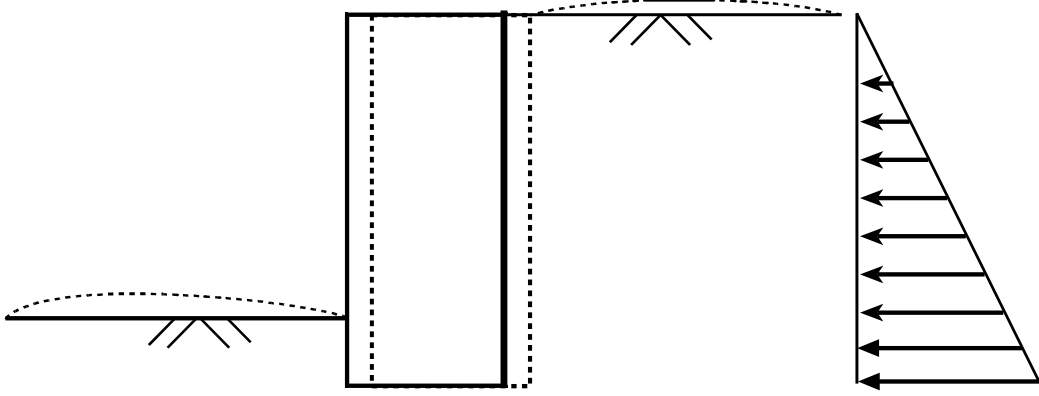
Şekil 8'de aktif durumda gerilmelerin yatayla yaptığı açının yüzeyin yatayla yaptığı açı ile aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Aktif durumda eğik zemin yüzeyinde gerilme dağılışı

#### 1.4.1.2.2. Pasif Durum

Yarım sonsuz ortam yanal olarak sıkıştırsa zeminde pasif durum olur. Bir başka deyişle duvar zemine doğru itilir veya döndürülürse zemin ortamında pasif durum oluşur ve bu durumda dikey ve sürtünmesiz duvarın arka yüzüne dik olarak pasif yanal zemin basıncı etkir.



Şekil 9. Dayanma duvarının arkasında zeminde pasif durum oluşması ve Rankine pasif yanal zemin basıncı dağılımı

Dayanma duvarı arkaya doğru zemine yaklaşırsa veya duvar zemine doğru dönerse bu durumda duvarın arkasındaki zeminde pasif basınç durumu meydana gelir. Kayma düzleminin yatayla yaptığı açı  $(45 - \phi/2)$  olur. Rankine'e göre düz bir duvarın arkasındaki homojen, izotropik ve kohezyonsuz bir toprak kütlesi içindeki dikey düzlemlere etkileyen pasif yanal basınçların hesaplandığı formül Bağıntı 10'da verilmiştir.

$$\sigma_p = K_p \sigma_d = K_p \gamma z \quad (10)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (11)$$

Burada;

$\sigma_p$ : pasif yanal zemin basıncı,

$K_p$ : pasif toprak basınç katsayısıdır.

Bağıntı 7 ve Bağıntı 11'den de anlaşılacağı gibi pasif toprak basıncı katsayısı aktif toprak basıncı katsayısından daha büyüktür. Sonuç olarak pasif durumda yanal zemin basınçları aktif durumdan daha büyük olmaktadır.

Birim uzunluk için duvara etkileyen pasif kuvvet Bağıntı 12 ile bulunur. Basınç

dağılışı üçgen biçimlidir ve  $K_p$  kuvveti duvar tabanından  $H/3$  uzaklığındadır.

$\frac{1}{2}$

2

$$P_p = \frac{1}{2} \cdot K_p \cdot H \cdot \gamma z \quad (12)$$

Burada,

◆: pasif bileşke kuvvettir.

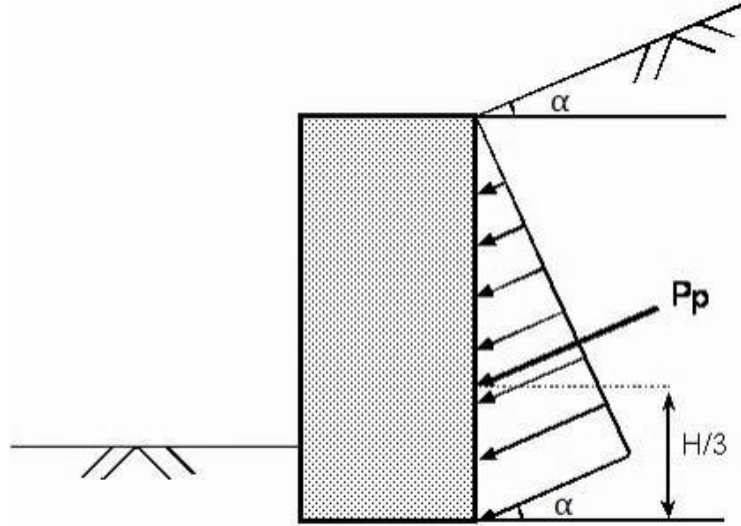
#### 1.4.1.2.2.1. Eğik Zemin Yüzeyi İçin Rankine Pasif Toprak Basıncı

Duvar sürtünmesiz ve düz olmasına rağmen zemin duvar ile  $\alpha$  açısı yapacak şekilde eğimliyse bu durumda zeminin yüzeyinin eğik olmasının sonucu olarak basınçlar duvar arkasına eğik gelir ve pasif toprak basınç kat sayısı farklı bir şekilde hesaplanır. Bu

durumda ◆ Bağıntı 13'deki gibi hesaplandıktan sonra ◆ bir değişiklik olmaksızın Bağıntı 12'deki gibi hesaplanır.

$$\text{◆} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha + \sqrt{\text{◆}(\alpha) - \text{◆}(\phi)}}{\cos \alpha - \sqrt{\text{◆}(\alpha) - \text{◆}(\phi)}} \quad (13)$$

Şekil 10'da pasif durumda gerilmelerin yatayla yaptığı açının yüzeyin yatayla yaptığı açı ile aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 10. Pasif durumda eğik zemin yüzeyinde gerilme dağılışı

### 1.4.2. Coulomb Teorisi

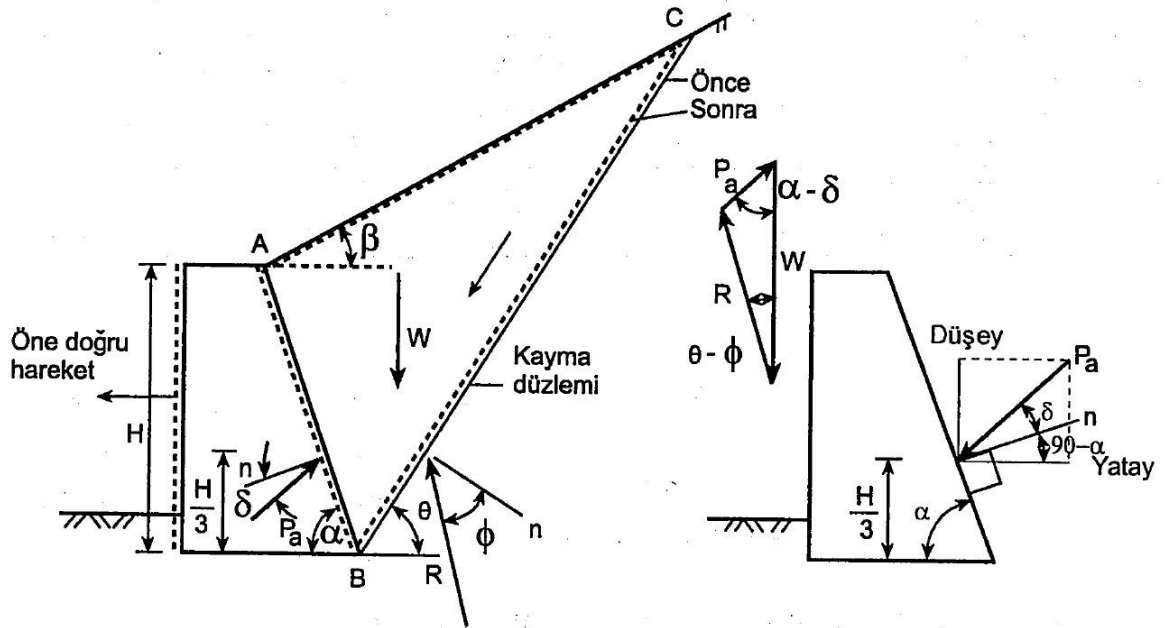
Coulomb da tıpkı Rankine gibi çalışmalarını kohezyonsuz zeminde yapmıştır fakat Rankine ile aralarındaki en büyük fark Coulomb'un Kama Teorisi'ni oluştururken duvarın arkası ile zemin arasında sürtünme olduğunu kabul etmesidir. Gerçekte Rankine Teorisi'nin aksine duvarın arkası pürüzlü olduğu için zemin ile duvar arasında sürtünme vardır.

Coulomb Teorisi aktif ve pasif durumlar için farklı toprak basıncı katsayısı formülleri önermiştir. Buna bağlı olarak da aktif ve pasif kuvvet hesaplanmaktadır.

#### 1.4.2.1. Aktif Durum

Aktif durumda duvar öne doğru hareket etmektedir yani duvar zeminden uzaklaşmaktadır. Kohezyonsuz zeminde, duvarın öne doğru hareketi sırasında duvarın arkasında üçgen biçiminde bir kitle kayma düzlemi boyunca aşağı doğru kayar. Zemin

kamasının ağırlığı ( $W$ ), bileşke kuvvet ( $R$ ) ve aktif bileşke kuvvetten ( $P_a$ ) oluşan zemin kaması dengededir (Şekil 11).



Şekil 11. Kohezyonsuz zeminde aktif durumda Coulomb Kama Teorisi [10].

Sekil 11'de görüldüğü gibi aktif bileşke kuvvet ( $R$ ) duvarın arka yüzüne çizilen normal ile  $\delta$  kadar açılar yapar. Bileşke kuvvet ( $R$ ) ise kayma düzlemine çizilen normal ile  $\phi$  açısını yapar. Aktif toprak basıncı katsayısı ( $K_a$ ) Bağıntı 14 ile hesaplandıktan sonra değer bağıntı Bağıntı 15'de yerine yerleştirilir ve böylece duvarın birim uzunluğuna

etkiyen  $K_a$  değeri bulunmuş olur.

$$K_a = \frac{\cos^2(\alpha + \phi)}{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)} \quad (14)$$

=

$$K_a = \frac{\cos^2(\alpha) \cdot \cos^2(\alpha - \delta) [1 + \sqrt{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}]}{\frac{1}{2} \gamma \cdot H^2} \quad (15)$$

2

Burada;

$\alpha$  : duvarın arka yüzünün yatayla yaptığı açı,

$\beta$  : dolgunun yatayla yaptığı açı,

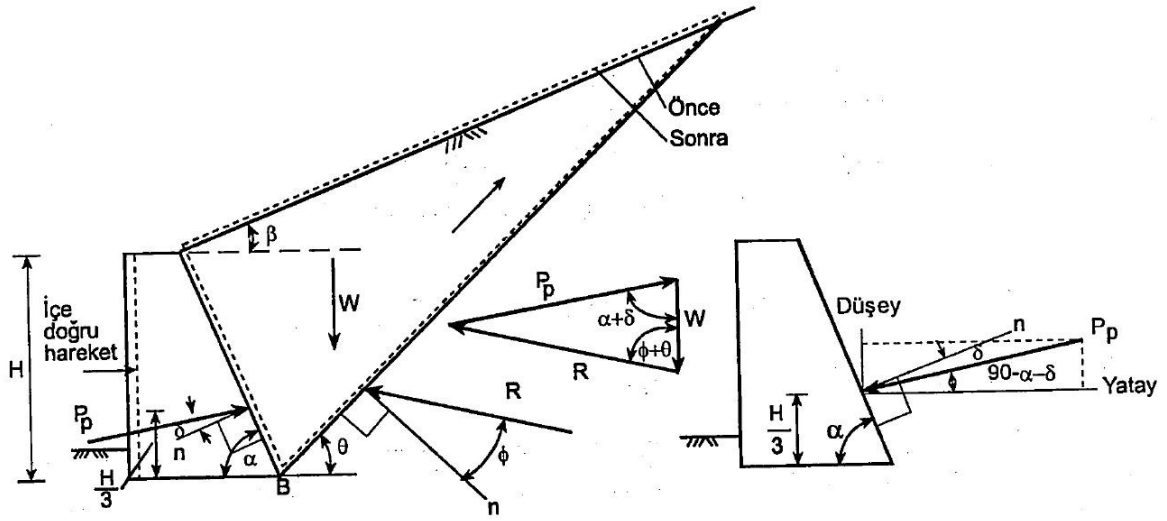
$\delta$  : duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı,

$\phi$  : zeminin içsel sürtünme açısıdır.

#### 1.4.2.2. Pasif Durum

Pasif durumda duvar arkaya doğru hareket etmektedir yani duvar zemine yaklaşmaktadır. Kohezyonsuz zeminde, duvarın arkaya doğru hareketi sırasında duvarın arkasında üçgen biçiminde bir kitle kayma düzlemi boyunca yukarı doğru kayar. Zemin

kamasının ağırlığı ( $W$ ), bileşke kuvvet ( $R$ ) ve pasif bileşke kuvvetten ( $P$ ) oluşan zemin kaması dengededir (Şekil 12).



Şekil 12. Kohezyonsuz zeminde pasif durumda Coulomb Kama Teorisi [10].

Şekil 12'de görüldüğü gibi pasif bileşke kuvvet ( $P_p$ ) duvarın arka yüzüne çizilen normal ile  $\delta$  kadar açılır. Bileşke kuvvet ( $R$ ) ise kayma düzlemine çizilen normal ile  $\phi$  açısını yapar. Pasif toprak basıncı katsayısı ( $K_p$ ) Bağımlı 16 ile hesaplandığından sonra etkileyen Bağımlı 17 de yerine yerleştirilir ve böylece duvarın birim uzunluğuna değeri bulunmuş olur.

$$K_p = \frac{\cos^2(\alpha - \phi)}{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)} \quad (16)$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\alpha) \cdot \cos^2(\alpha + \delta) [1 + \sqrt{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}]}{2} = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_p \quad (17)$$

### 1.5. Zeminlerin Taşıma Gücü

Zeminlerin emin taşıma gücünü belirlemek için taşıma gücü teorileri (Terzaghi [11], Meyerhof [12] vb), arazi deneyleri (Standart Penetrasyon Deneyi, Koni Penetrasyon Deneyi, Presiyometre Deneyi, Plaka Yükleme Deneyi vb.) ve emin taşıma gücü tabloları gibi çeşitli yöntemler kullanılabilir.



### 1.5.1. Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi

Terzaghi taşıma gücü teorisine göre homojen, izotrop ve yarım sonsuz zemindeki temel tabanı altı pürüzlüdür, sürtünmeler hesaba katılır. Fakat temelin yan yüzleri pürüzsüzdür ve zemin ile temel arasındaki sürtünmeler ihmal edilir. Zeminin sınır taşıma gücü Bağıntı 18 yardımıyla bulunabilir.

$$q_{ult} = k_1 \cdot q_c + \gamma \cdot z + k_2 \cdot \gamma \cdot B \cdot z^2 \quad (18)$$

Burada;

$q_c$ : zeminin sınır taşıma gücünü ( $kN/m^2$ ),  $c$ : temel zemininin kohezyonu ( $kN/m^2$ ),

$\gamma$ : temel zemininin birim ağırlığı ( $kN/m^3$ ),

$B$ : temelin kısa kenarının genişliği (kısa kenar veya çap, m),

$k_1, k_2$ : taşıma gücü katsayıları,

$k_1, k_2$ : temel şekil katsayıları,

$z$ : temel taban düzeyindeki düşey efektif gerilmedir.

Temel şekil katsayıları olan  $k_1$  ve  $k_2$  katsayıları boyutsuz olup temelin şekline bağlıdır çünkü temelin şekli kırılma yüzey miktarını belirler. Temel şekil katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

Taşıma gücü katsayıları olan  $k_1, k_2, k_3$  boyutsuzdur ve zeminin içsel sürtünme açısına göre Tablo 2'den seçilirler.

Tablo 1. Temel şekil katsayıları

Temel Şekli	$k_1$	$k_2$
Şerit	1	0.5
Kare	1.2	0.4
Daire	1.3	0.3
Dikdörtgen	$1+0.2(B/L)$	$0.5-0.1(B/L)$

Tablo 2. Genel kayma kırılması ve pürüzlü temel için Terzaghi Taşıma Gücü katsayıları

$\phi$ (derece)	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$	$\phi$ (derece)	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$	$\frac{c}{\sigma'_{vm}}$
0	5.7	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	6	1.1	0.01	27	29.24	15.9	11.62
2	6.3	1.22	0.04	28	31.61	17.81	13.7
3	6.62	1.35	0.06	29	34.24	19.98	16.18
4	6.97	1.49	0.1	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	31	40.41	25.28	22.65
6	7.73	1.81	0.2	32	44.04	28.52	26.87
7	8.15	2	0.27	33	48.09	32.33	31.94
8	8.6	2.21	0.35	34	52.64	36.5	38.04
9	9.09	2.44	0.44	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	36	63.53	47.16	54.36
11	10.16	2.98	0.69	37	70.01	53.80	65.27
12	10.76	3.29	0.85	38	77.5	61.55	78.61
13	11.41	3.63	1.04	39	85.97	70.61	95.03
14	12.11	4.02	1.26	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	126.5	211.56
IS	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.25	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

### 1.6. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

Ağırlık istinat duvarının doğru tasarımı hem iç hem de dış stabiliteyi sağlamalıdır. Dış stabilite, duvarın onu çevreleyen zeminle etkileşimi ile ilgilidir. Stabilite; devrilme, kayma ve taşıma kapasitesi tahkiki ile genel tahkiklerin doğrulanmasıyla sağlanır. Bu tahkikler sayesinde duvarın istenilen yerde sabit kalacağı gösterilmektedir. Dış stabilite doğrulamaları; karşı koyan kuvvetlerin (veya momentlerin), deviren kuvvetlere (veya momentlere) oranı olan bir güvenlik sayısı tanımlanarak gerçekleştirilir.

İç stabilite gereksinimleri, uygulanan yüklere güvenli bir şekilde direnç göstermek için yeterli yapısal bütünlüğe sahip bir yapısal tasarım geliştirilerek karşılanır [13]. Duvarın tasarımı, *Building Code Requirements for Structural Concrete* (ACI 318-99) [14]

göre gerçekleştirilebilir. ACI 318-99 [14], yük bileşimini kullanır. Bu nedenle, hesaplanan yükler, toprak basıncı yükleri için 1.6'ya ve sabit yükler için 1.2'ye eşit olan ACI 318-99 [14] yük faktörleri ile çarpılır. Bununla birlikte, bu yöntemde, bir kuvvet-limit analizi için kesitin kesme kapasitesine bir direnç faktörü (0.85) kullanılır. Sonuç olarak, ilgili yapı yönetmeliğinde belirtilen katsayılarla çarpılarak elde edilen yük ile kesitin kesme kapasitesi arasında bir değerlendirme yapılır. Daha açık bir şekilde, iç stabilite, duvarın bazı bölümleri için eğilme ve kesme tahkiki açısından kontrol edilir.

### 1.6.1. Devrilme Tahkiki

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı, karşı koyan momentlerin döndüren momentlere bölünmesiyle belirlenir. Karşı koyan momentler, duvarın ağırlığı ve duvarın üstündeki zemin kamasının ağırlığından kaynaklanır (Şekil 13). Döndüren moment, aktif toprak basıncının devirme etkisidir. Bununla birlikte, güvenlik sayısı, momentleri hesapladığımız noktaya bağlıdır. Devrilme tahkiki pratikte sadece ayak ucu çevresinde değerlendirilir [13]. Döndüren momenti oluşturan aktif toprak basıncı duvarı ayak ucu noktasının ektrafinda devirmeye çalışır.

Devrilmeye karşı güvenlik sayısı Bağını 19 ile hesaplanabilir.

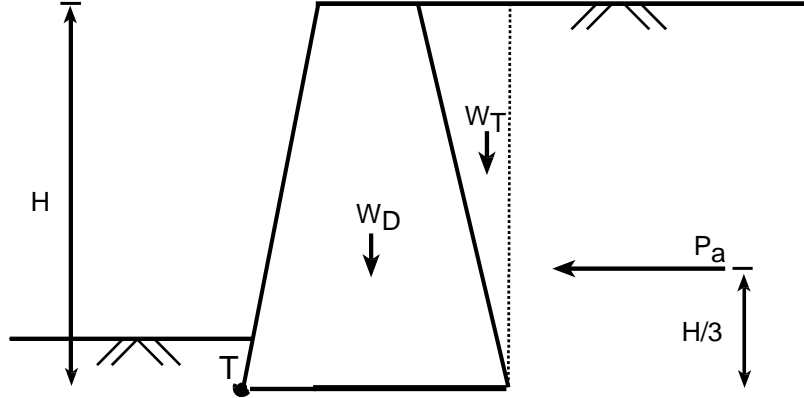
$$FS_o = \left( \frac{M_{k, \text{aktif}}}{M_{k, \text{devirme}}} \right) \geq 1.5 - 2.0 \quad (19)$$

Burada;

$FS_o$ : Devrilmeye karşı güvenlik sayısı,

$M_{k, \text{aktif}}$ : ayak ucu noktasına göre deviren momentler,

$M_{k, \text{devirme}}$ : ayak ucu noktasına göre karşı koyan momentlerdir.



Şekil 13. Devrilme tahkikinde momenti alınan kuvvetler ve moment alınan T (ayakucu) noktası

### 1.6.2. Kayma Tahkiki

Kayma tahkiki, kaymaya neden olan kuvvetler ile karşı koyan kuvvetler karşılaştırılarak gerçekleştirilir. Kaymaya neden olan (kaydıran) kuvvet, esasen duvarın tuttuğu zeminde oluşan aktif toprak basıncından kaynaklanmaktadır. Karşı koyan kuvvet ise duvarın temeli ile zemin arasında oluşan sürtünme ve bazende duvarın önünde bulunan toprağın uyguladığı pasif toprak basıncının bileşkesidir. Güvenli tarafta kalmak için duvarın ön kısmındaki pasif toprak basıncı, 0.5-1 metre gibi sığ ön derinliklerde hesaplara dahil edilmeyebilir [10].

Kaymaya karşı güvenlik sayısı Bağını 20 ile hesaplanabilir.

$$FS_s = \left( \frac{\sum Q_{k,i} + \sum Q_{k,j}}{\sum Q_{k,k}} \right) \geq 1.5 \quad (20)$$

Burada;

$Q_{k,i}$ ; kaymaya karşı güvenlik sayısı,

$Q_{k,j}$  kaydıran kuvvetler,

$Q_{k,k}$ ; tabanda oluşan sürtünme kuvvetidir.

$$Q_{k,k} = \sum Q_{k,l} \tan \delta \quad (21)$$

Burada,

$\delta$  : duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısıdır.

Duvarın arkasının zemin ile yaptığı sürtünme açısı olan  $\delta$ , zeminin cinsi, durumu ve duvarın arkasının düzliğine bağlı olarak bir tablodan alınabilir veya genellikle  $\phi/3$  ile  $2\phi/3$  arasında seçilebilir [10].

### 1.6.3. Taşıma Gücü Tahkiki

İstinat duvarı temelinde taşıma gücü tahkikinin sağlanması için, duvar temelinin altında meydana gelen maksimum taban gerilmesi zeminin emin taşıma gücünden küçük olmalıdır.

$$\frac{\sum (P + Q)}{A} = \sigma$$

Burada;

$\sigma$ : emin taşıma gücü,

$\gamma$ : taşıma gücü yenilmesine karşı güvenlik sayısıdır.

Taşıma gücü yenilmesine karşı güvenlik sayısı ( $\gamma$ ) 2-5 arasında değişir.

İstinat duvarlarına etkiyen yatay ve düşey yüklerden dolayı temel merkezi normal kuvvete maruz kalırken aynı zamanda eğilme momenti etkisinde kalır ve bu durum temelde eksantrisiteye (dışmerkezlik) sebep olur. Eksantrik yüklü temellerin basınç dağılımlarına baktığımızda temelin ön yüzünde en büyük, arka yüzünde ise en küçük basınç değerinin olduğunu görmekteyiz. Eksantrisite aşağıdaki bağıntı yardımıyla hesaplanır.

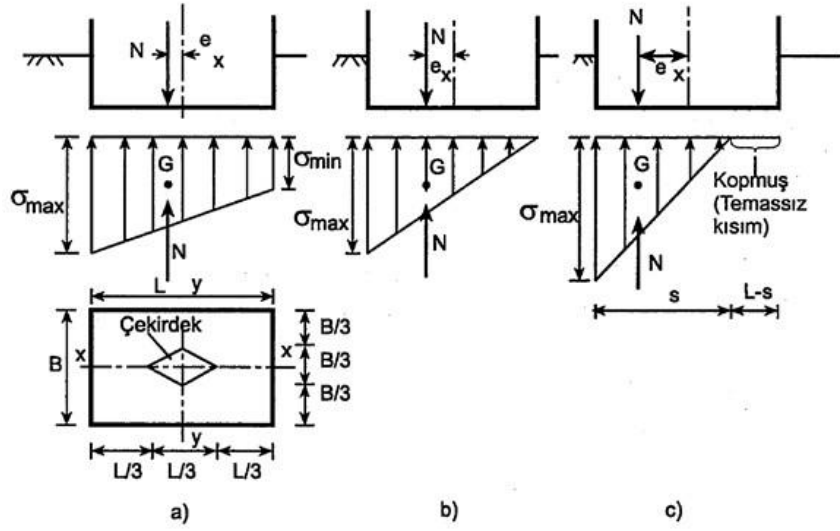
$$e = \frac{M}{\sum P}$$

Burada;

$e$ : eksantrisite,

$M$ : temel tabanının orta noktasına göre momenti (kNm),

$\sum P$ : temele etkiyen tüm düşey kuvvetlerdir (kN).



Şekil 14. Eksantrik yüklü tekil temel (a) Çekirdek içinde (b) Çekirdek üzerinde (c) Çekirdek dışında [10].

Eksantrisite temel tabanının orta noktasından bileşke kuvvetin geçtiği uzaklığı ifade eder. Eksantrik yüklü temellerin tabanını gelen maksimum ve minimum gerilmeler ve basınç dağılışı Geleneksek Yöntem ile belirlenebilir.

Şekil 14'de görüldüğü gibi eksantrisite çekirdek içinde ( $e < \frac{B}{6}$ ), çekirdek üzerinde ( $e = \frac{B}{6}$ ) veya çekirdek dışında ( $e > \frac{B}{6}$ ) olabilir.

Yük çekirdek içindeyse ( $e < \frac{B}{6}$ ) basınç dağılımı yamuk şeklini alır. Maksimum ve minimum basınçlar sıfırdan büyüktür. Geleneksel Yöntem'e göre maksimum ve minimum gerilmeler Bağıntı 24 yardımıyla hesaplanabilir.

$$\sigma = \frac{\sum P}{A} \pm \frac{\sum P \cdot e}{I} \cdot y \quad (24)$$

Burada;

$\sigma_{\max}$  maksimum taban gerilmesi,

$\sigma_{\min}$  minimum taban gerilmesi,

A: en kesit alanı,

$I$ : atalet momentidir.

$$A = B.L$$

(25)



Burada,

L: temelin uzun kenarının genişliğidir.

Temelin atalet moment aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$I = B \cdot \frac{L^2}{6} \quad (26)$$

Yük çekirdek üzerindeyse ( $e < \frac{B}{6}$ ) basınç dağılışı üçgen şeklini alır. Maksimum gerilme sıfırdan büyükken, minimum gerilme sıfıra eşit olur. Maksimum gerilme Bağıntı 27 yardımı ile bulunabilir.

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot P}{3 \cdot B} \left( 1 + \frac{6 \cdot e}{B} \right) \quad (27)$$

$\sigma$

=

Yükün çekirdek dışında ( $e > \frac{B}{6}$ ) olması istenmeyen bir durumdur çünkü bu durumda zeminde kopmalar ve çatlamlar olur. Bağıntı 24'e göre minimum basınç gerilmesi eksi bir değer almıştır yani artık basınca değil çekmeye çalışıyordur oysaki zeminin çekme özelliği yoktur. Çekme gerilmesi olan kısımlarda zemin ile temel arasındaki temas kaybolmuştur.

Minimum gerilmelerin eksi değere düşmesi istenmediği gibi maksimum gerilmelerin de eksantrik yüklü olmayan bir temelin emin taşıma gücünü aşması istenmez [10].

İstinat duvarlarının temeli şerit temeldir ve hesaplar şerit temelin birim uzunluğu ( $L=1$ ) için yapılır. Şekil 15'te eksantrik yüklü duvar altı şerit temelin toprak basıncı dağılımı görülmektedir. Yük çekirdek içindeyse ( $e < \frac{B}{6}$ ) Bağıntı 24'teki genel formül

temel için aşağıdaki biçimi alır.

$$\sigma = \frac{\sum P_i}{B} \left( 1 \pm \frac{6 \cdot e_i}{B} \right) \quad (28)$$

$\sigma$

=

Yük çekirdek üzerindeyse ( $e < \frac{B}{6}$ ) şerit temel için Bağıntı 28 aşağıdaki biçimi alır.



—

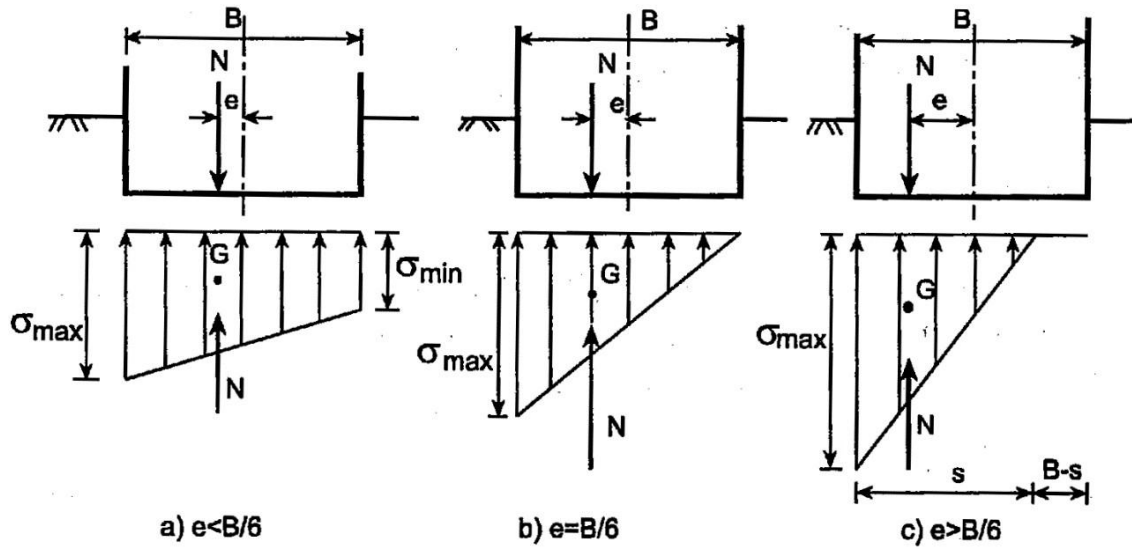
6

2.  $\sigma$  

=

(29)



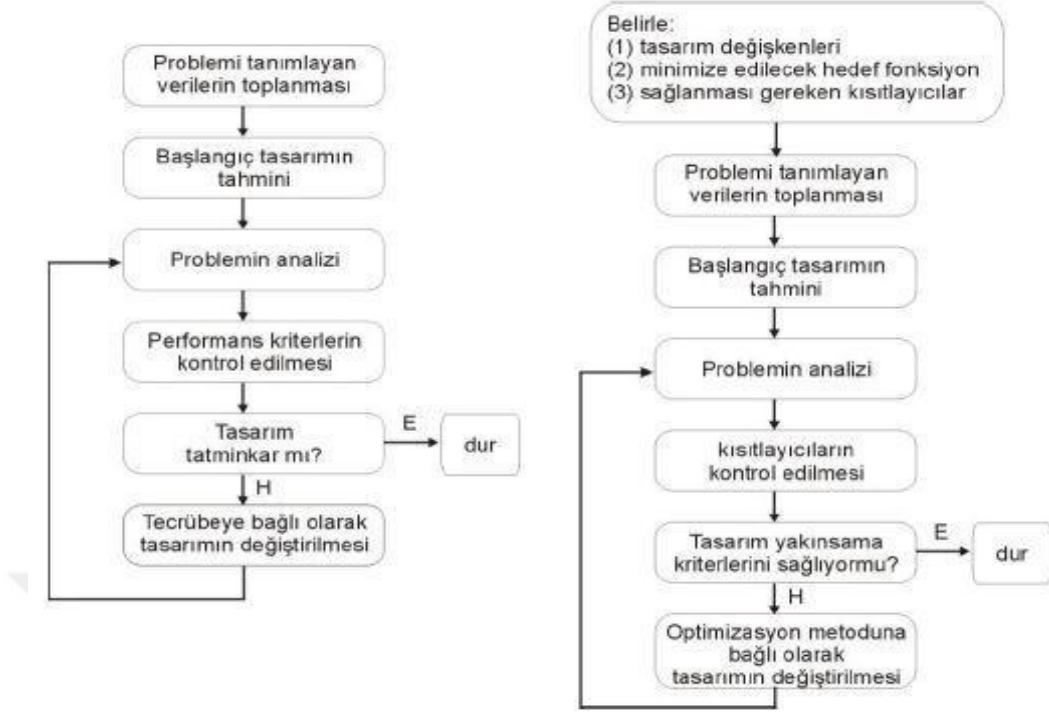


Şekil 15. Eksantrik yüklü duvar altı şerit temel (a) Çekirdek içinde (b) Çekirdek üzerinde (c) Çekirdek dışında [10].

### 1.7. Optimizasyon

Optimizasyon, iyi veya kötü olanı ölçmek ve değiştirmek mümkünse, en iyiyi elde etme sürecidir. Optimizasyon uygulaması ise optimumu bulmak için kullanılabilen teknikler, yöntemler, prosedürler ve algoritmaların toplamıdır. Optimizasyon problemleri, elektrik, mekanik, inşaat, kimya ve yapısal mühendislik gibi çeşitli mühendislik alanlarında bol miktarda bulunmaktadır. Son yıllarda, optimizasyon yöntemleri geoteknik mühendisliğinin problemlerine yaygın olarak uygulanmıştır.

Optimizasyonun bir diğer adı da matematiksel programlamadır ve Şekil 16'da klasik tasarım yaklaşımı ile optimizasyon yaklaşımının algoritması karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.



Şekil 16. Bir probleme klasik tasarım yaklaşımı ile optimizasyon tasarım yaklaşımının karşılaştırılması [15].

Şekil 16'da de görüldüğü gibi bir probleme eğer klasik tasarım yaklaşımı ile yaklaşmak istersek bu durumda tasarımın tatminkar olmaması durumunda tecrübeye bağlı olarak tasarımın değiştirilmesi gerekir. Bu da klasik yöntemin dezavantajıdır.

Probleme optimizasyon yöntemiyle yaklaşmanın avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [16].

- Sayısal model kapsamında bir optimizasyon algoritması (optimize edici) aracılığıyla çok sayıda aday çözüm arasından optimum çözüm seçilir.

- Optimizasyon yönteminde işi mühendis yerine bilgisayar yaptığı için problemin çözümü daha az zaman alır (Fakat yine de çok büyük yapılarda problemi bilgisayarla çözmek de zaman alır).

- Probleme çok sayıda kısıt koymak mümkündür ve amaç fonksiyonu otomatik olarak kontrol edilir.

Probleme optimizasyon yöntemiyle yaklaşmanın dezavantajları ise aşağıdaki gibi sıralanabilir [16].

- Modelleme fazlasıyla çaba ister.
- Optimizasyonun yapısı bir zorluktur.

- Kavramsal tasarım değişiklikleri son derece pahalı ve külfetlidir.

Analitik yöntemler, grafik yöntemler, deneysel yöntemler ve sayısal yöntemler dahil olmak üzere optimizasyona yönelik birkaç genel yaklaşım vardır. Analitik yöntemler, diferansiyel analizin klasik tekniklerine dayanır ve yüksek derecede doğrusal olmayan problemlere ve iki veya üçten fazla bağımsız değişken içeren problemlere uygulanamaz. Grafik yöntemler, işlevin bir grafiğinin maksimize edilmesini ve en aza indirilmesini gerektirir. Ancak, bağımsız değişkenlerin sayısı ikiyi geçmez. Deneysel yöntemler bir kurulum kullanır ve değişkenleri değiştirirken performans kriteri her durumda doğrudan ölçülür (örneğin, Standart Proctor Testi). Analitik olarak çözülemeyen türdeki oldukça karmaşık optimizasyon problemlerini çözmek için sayısal yöntemler kullanılabilir. Sayısal optimizasyon yöntemlerinin teorisini ve uygulamasını kapsayan disiplin, matematiksel programlama olarak bilinmeye başlamıştır. Matematiksel programlamanın dalları doğrusal programlama, tamsayı programlama, ikinci dereceden programlama, doğrusal olmayan programlama ve dinamik programlamadır. Hem doğrusal olmayan amaç fonksiyonuna hem de kısıt fonksiyonuna sahip en genel optimizasyon problemleri sınıfı doğrusal olmayan programlamadır. Bu problemler, gradyan projeksiyon yöntemleri, ardışık karesel programlama (SQP) yöntemleri, iç nokta yöntemleri vb. gibi çeşitli yöntemler kullanılarak çözülebilir.

Minimize edilecek genel bir optimizasyon problemi matematiksek olarak aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\text{minimize } f(\mathbf{x}), \mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, m$$

$$h_k(\mathbf{x}) = 0, \quad k = 1, 2, 3, \dots, t$$

Burada;

$x$ : Tasarım değişkenleri,

$f(\mathbf{x})$ : Hedef (amaç) fonksiyonu,

$g_j(\mathbf{x})$ : Eşitsizlik tipindeki kısıtlar,

$h_k(\mathbf{x})$ : Eşitlik tipindeki kısıtlar olarak tanımlanmaktadır.

Optimizasyon problemini maksimize etmek için ise hedef (amaç) fonksiyonu olan  $f(\mathbf{x})$ 'in  $(-1)$  ile çarpılması gerekir. Örnek:  $\max \{f(\mathbf{x})\} = \min \{-f(\mathbf{x})\}$ .

### 1.7.1. Optimizasyonun Temel Tanımları

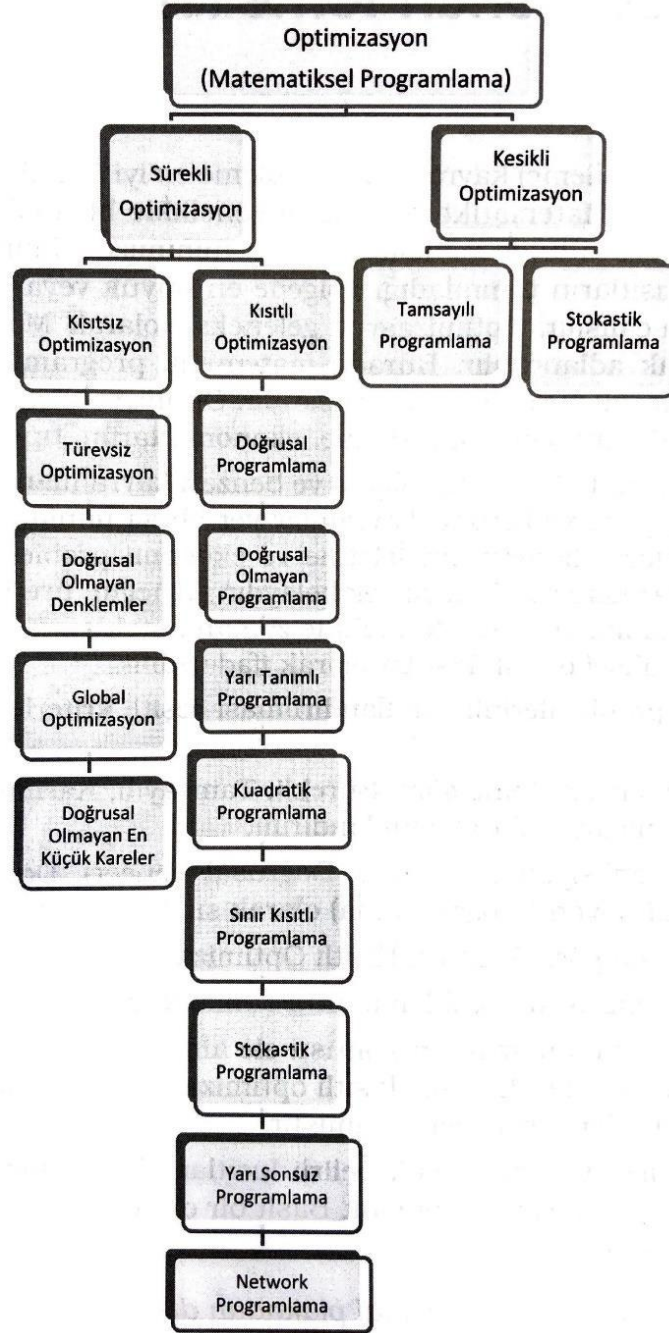
Bir optimizasyon problemini tanımlamak için atanması gereken 3 temel parametre vardır. Bunlar optimizasyon probleminin amacını belirleyen hedef fonksiyonu (maksimize ya da minimize edilecek şey), optimizasyon probleminin sonucuna göre değerler alan tasarım değişkenleri ve tasarım değişkenlerinin belirlenmesinde etkili olan, tasarım değişkenlerini sınırlayan kısıt fonksiyonudur[15].

**Amaç (Hedef) fonksiyonu:** Bir problemin olası birden fazla çözümü olabilir. Bu çözümlerden bazıları daha optimumdur ve bu olası çözümleri karşılaştıracak bir amaç fonksiyonu olmalıdır. Amaç fonksiyonu optimize edilecek konuya göre maksimize veya minimize edilir. Örnek olarak maliyet, iş gücü, işin süresi gibi amaç fonksiyonu tanımlanmışsa bu değerlerin minimum olması istenir ama kar, getiri, güvenlik gibi amaç fonksiyonu tanımlandıysa bu durumda amaç fonksiyonun maksimize edilmesi istenir.

**Tasarım değişkenleri:** Optimize edilecek problemin sistemini tanımlayan değişkenlerdir. Birbirinden bağımsız olan tasarım değişkenlerine herhangi bir değer atanabilmelidir. Tasarım değişkenleri probleme uygun ve gerekli sayıda seçilir. Tasarım değişkenleri problemi tanımladığı için doğru ve tam seçimi oldukça önemlidir.

**Kısıt fonksiyonu:** Tasarım değişkenlerinin alacağı değerleri kısıtlayan, onlara sınır koyan fonksiyonlardır. Tasarım değişkenlerinin alacağı değer kümesi bazen sonsuz olabilir ama kısıt fonksiyonu çözüm kümesinin içinden seçilen optimum değerlerin hangisi olacağına karar verdiğinden doğru kısıt fonksiyonlarının seçilmesi çok önemlidir. Örneğin optimize edilecek problem bir yapıysa bu yapının üzerine gelen yükleri bir hasara uğramadan güvenle taşıması beklenir (rijitlik), ortaya çıkan bu rijitlik kısıtı çözüm kümesi denilen çözüm uzayını önemli ölçüde kısıtlar.

Şekil 17'de optimizasyon sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 17. Optimizasyon sınıflandırılması [17].

Optimizasyon problemini çözmek için bir çok metot bulunmaktadır. Fakat bu metodların çoğu belirli bir tür problemi çözmek için tasarlanmıştır. Bu yüzden optimizasyon problemini çözmek için seçilecek metodun belirlenmesi için önce optimizasyonun türünün belirlenmesi gerekir.

Optimizasyon problemini çözmek için ilk adım problemi belirlemektir. Bunun içinde tasarım değişkenlerinin tanımlanması gerekir. Daha sonra tasarım değişkenlerine bağlı olarak amaç fonksiyonu ve probleme uygun kısıt fonksiyonu tanımlanır.

### 1.7.2. Optimizasyon Modellerinin Oluşturulması

Büyük ve kapsamlı bir sistemin tüm özelliklerine sahip ve bu özellikleri yansıtan ancak daha küçük boyutlarda olan yapılara model denir. Modeller, mühendislik ve temel bilimlerde sıkça kullanılır [19].

Optimizasyon modelleri matematiksel ifadelerden oluşmaktadır ki bu ifadeler sistemin nasıl işlediğini ve özelliklerini yansıttığı gibi aynı zamanda sistemin, iç ve dış sistemlerle olan etkileşimini kapsamaktadır [18].

Optimizasyon modellerinin sınıflandırılması tasarım değişkenleri, hedef fonksiyonu ve kısıtların özelliklerine göre sistemdeki parametrelerin bilinen sabit değerleri aldığı durumlara bağlıdır. Doğrusal programlama modelinde  $y$  değişkenleri yer almaz ve amaç fonksiyonu ( $f(x)$ ), eşitlik tipi kısıt ( $h(x)$ ) ve eşitsizlik tipi kısıt ( $g(x)$ ) fonksiyonları doğrusaldır. Doğrusal olmayan programlama modelinde  $y$  değişkenleri yer almaz ve amaç fonksiyonu ( $f(x)$ ), eşitlik tipi kısıt ( $h(x)$ ) ve eşitsizlik tipi kısıt ( $g(x)$ ) fonksiyonlarından herhangi biri doğrusal değildir. Tamsayı karışık doğrusal programlama modelinde  $y$  değişkenleri yer alır ve amaç fonksiyonu ( $f(x, y)$ ), eşitlik tipi kısıt ( $h(x, y)$ ) ve eşitsizlik tipi kısıt ( $g(x, y)$ ) fonksiyonları doğrusaldır. Tamsayı karışık doğrusal olmayan programlama modelinde  $y$  değişkenleri yer alır ve amaç fonksiyonu ( $f(x, y)$ ), eşitlik tipi kısıt ( $h(x, y)$ ) ve eşitsizlik tipi kısıt ( $g(x, y)$ ) fonksiyonlarından herhangi biri doğrusal değildir [19]. Kuadratik programlama modelinde amaç fonksiyonu ( $f(x)$ ), kuadratik (ikinci dereceden) ve kısıt fonksiyonları ( $g(x)$ ,  $h(x)$ ) doğrusaldır. Konveks programlama modelinde amaç fonksiyonu ( $f(x)$ ) ve eşitlik tipi kısıt ( $h(x)$ ) konveks (dış bükey) ve eşitsizlik tipi kısıt ( $g(x)$ ) doğrusaldır [17].

### 1.7.3. Optimizasyon Problemlerinin Çözüm Metotları

Hedef (amaç) fonksiyonu ve kısıt fonksiyonlarının doğrusal (lineer) olduğu doğrusal optimizasyon problemlerini çözmek için Simpleks Yöntemi, Büyük M Yöntemi, Doğrusal

Programlamada Dualite Teorisi, Duyarlılık Analizi ve Doğrusal Programlama İçin İç Bölge Yöntemleri geliştirilmiştir. Karar (tasarım) değişkenleri olan fakat kısıt fonksiyonu olmayan kısıtsız optimizasyon problemlerini çözmek için Newton Yöntemi, En Dik İniş Yöntemi, Konjuge Gradyan Yöntemi, Kuazi Newton Yöntemi ve Güvenli Bölge Yöntemi gibi metodlar geliştirilmiştir. Kısıtsız optimizasyon problemlerinde çözümü açık bir şekilde bulmak mümkün olsa da çoğu durumda problem yaklaşık olarak çözülür. Kısıtsız doğrusal programlama problemlerinde çözüme sonlu adımlarla ulaşılabilirken, doğrusal olmayan programlama problemlerinde çözüme sonsuz adımda yakınsama vardır. Tasarım değişkenlerinin çözümünün uygun bir çözüm kümesinde arandığı yani kısıtlandığı kısıtlı optimizasyon problemlerini çözmek için Kısıtlı Optimizasyon Dualite Teorisi, Ceza ve Bariyer Yöntemleri, Ardışık Kuadratik Programlama Yöntemleri ve Kısıtlı Optimizasyon İçin İç Bölge Yöntemleri gibi metodlar geliştirilmiştir [17].

İç nokta (interior-point) metodu, bu tez çalışmasında yapılan optimizasyon modelini oluşturduğu için bu yöntem “YAPILAN ÇALIŞMALAR” kısmında daha ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

### **1.8. MATLAB Programı**

MATLAB kelimesi MATrix’in ilk üç harfi ve LABoratory’nin ilk üç harfinin birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. MATLAB paket programı teknik ve bilimsel hesaplamaları yapmak için yazılmış, matematik ve matris esaslı yüksek performanslı bir programdır ve 1985’lerde geliştirilmeye başlanmıştır. Aşağıda MATLAB programında yapılabilecek bazı kullanım alanları verilmiştir [17].

- Karmaşık matematiksel hesaplar, matris işlemleri, integral, türev, diferansiyel denklemler gibi hesaplama işlemlerini nümerik (sayısal) veya sembolik (simgesel) olarak çözebilir.

- Sayısal veriler iki boyutlu veya üç boyutlu olarak çizilebilir.

- Veri analizi ve kontrolü yapılabilir.

- Karmaşık problemlerin modelleri kurulabilir ve simülasyon (benzetim) yapılabilir.

- Optimizasyon fonksiyonu oluşturulup maksimum veya minimum değerleri bulunabilir.

- İstatistiksel hesaplar yapılabilir.

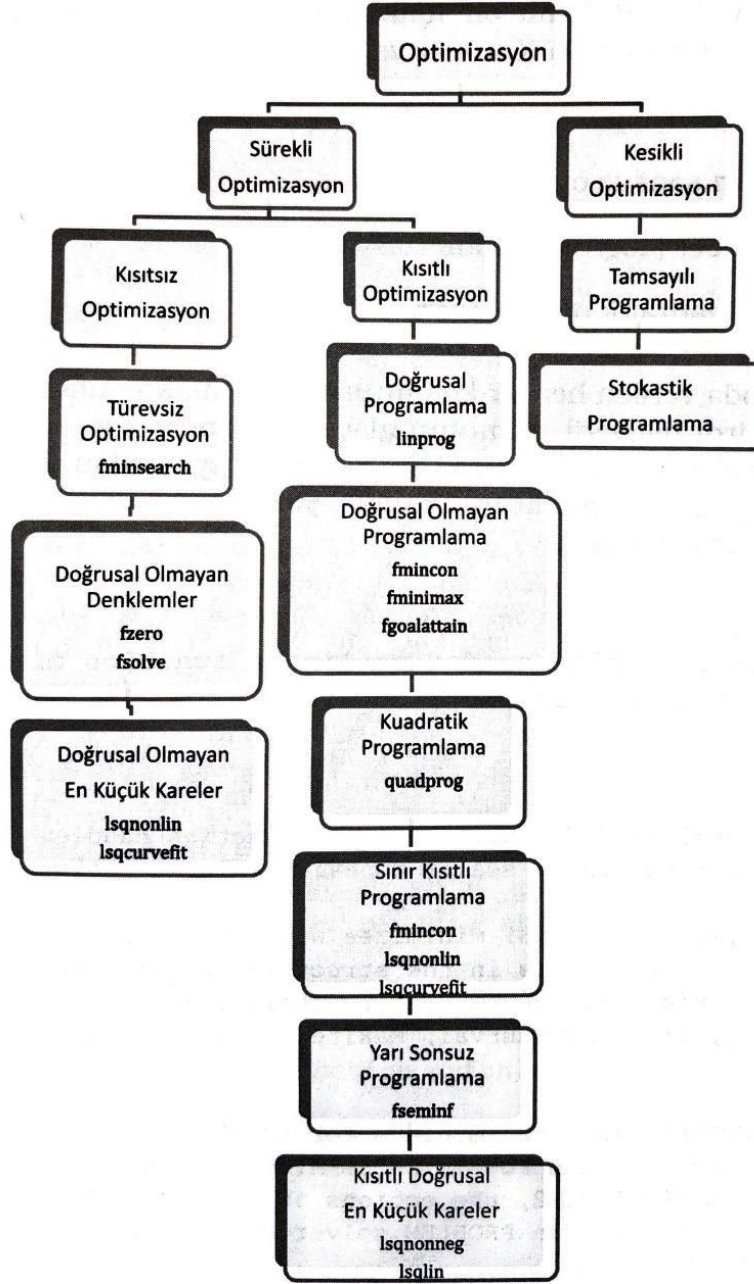


- Programlama (kod yazma), algoritma geliştirme ve grafiksel arayüz oluşturma yapılabilir.

MATLAB biyoloji, kontrol sistemleri, veri bilimi, sinir ağları, optimizasyon, görüntü işleme ve bilgisayarla görme, bilgisayarla öğrenme, veri analizi, karışık sinyal sistemleri, güç elektroniği kontrol tasarımı, öngörücü bakım (predictive maintenance), kantitatif finans ve risk yönetimi, robotik, sinyal işleme gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [20].

### **1.8.1. MATLAB’da Optimizasyon**

Optimizasyon problemini MATLAB ile çözmek için ya matematiksel metodlar ya da MATLAB’ın hazır kütüphanesi kullanılabilir. MATLAB optimizasyon toolbox’ı (alet kutusu); lineer (doğrusal) programlama, kuadratik programlama, karışık tamsayılı (mixed-integer) programlama, doğrusal olmayan (nonlinear) programlama ve en küçük kareler programları için hazır programlar içerir. MATLAB optimizasyon alet kutusu optimizasyonu problemin büyüklüğüne göre ikiye ayırır. Değişken sayısının çok fazla olduğu ve bazı parametrelerin elle girildiği büyük ölçekli algoritma (Large-Scale) ile standart algoritma (Medium-Scale). MATLAB alet kutusunda bulunan belli başlı hazır fonksiyonlar Şekil 18’de verilmiştir. Gerçekleştirilecek olan optimizasyon probleminin tipine bağlı olarak bu fonksiyonlardan biri seçilir [17].



Şekil 18. MATLAB optimizasyon toolbox komutları [17].

MATLAB araç kutusunda bulunan belli başlı optimizasyon komutları ve işlevleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Tablo 3'de verilen komutlarla ilgili yardım komut penceresine *help* yazılarak elde edilebilir. Bir örnek için *help fmincon* yazarak o komuta verilmesi gereken değer (girdi bilgisi), komutun alacağı seçenekler (options), çıktı parametrelerinin neler olduğu gibi yardım bilgileri elde edilebilir. Bu şekilde her bir komutun kullanımı hakkında bilgi ilgili yardım dosyasından alınabilir. En genel optimizasyon problemlerini

çözmek için kullanılan ve bu tezde de kullanılan fmincon komutunun kombinasyonları Tablo 4’te gösterilmektedir [21].

Tablo 3. Optimizasyon komutları ve kullanım amaçları [21].

Fonksiyon	Amacı
fgoalattain	Birden fazla hedef fonksiyonlu optimizasyon
fminbnd	Skaler nonlinear minimizasyon sınırlarla birlikte
fmincon	Kısıtlayıcı fonksiyonlu nonlinear optimizasyon
fminimax	Minimax optimizasyonu
fminsearch, fminunc	Kısıtlayıcı fonksiyonsuz nonlinear minimizasyon
fseminf	Yarı-sonlu programlama
linprog	Linear programlama
quadprog	Quadratik programlama

Tablo 4’te fmincon komutunun en yalın halinden en ileri haline kadar çeşitli biçimleri verilmiştir. Buraki komutun kullanımı temelde benzerdir, hangi varyasyonun seçileceği eşitliğin sağ tarafında bulunan değişkenlerden hangisine bilgi girişi yapılacağına bağlıdır. Dolayısıyla fmincon komutu tanımlanırken ilgili değişkenlerin ne olacağı doğru şekilde saptanıp programa tanımlanmalıdır [21].

Tablo 4. “fmincon” komutunun kullanımı [21].

```
x = fmincon(fun, x0, A, b)
x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq)
x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub)
x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon)
x = fmincon(fun, x0, A, b, Aeq, beq, lb, ub, nonlcon, options)
[x, fval] = fmincon(...)
[x, fval, exitflag] = fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output] = fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda] = fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda, grad] = fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda, grad, hessian] = fmincon(...)
```

Burada dikkat edilmesi gereken fmincon komutunun doğrusal olmayan (nonlinear) optimizasyon problemleri için MATLAB’da tanımlanmış hazır komut olmasına rağmen Tablo 4’te görüldüğü gibi tüm varyasyonlarda doğrusal (linear) eşitsizlik tipi kısıtlara (A, b) ihtiyaç duymasıdır.

Tablo 5'te fmincon komutunun parametrelerinin anlamları girdi parametreleri ve çıktı parametreleri olarak gösterilmiştir.

Tablo 5. "fmincon" komutunun parametrelerinin anlamları [21].

PARAMETRE	ANLAMI
<b>GİRDİ PARAMETRELERİ</b>	
fun	Hedef fonksiyonunu içeren m-dosyasının adı
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri
A, b	Lineer eşitsizlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ( $A*x < b$ )
Aeq, beq	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ( $Aeq*x = beq$ )
lb	Dizayn değişkenlerinin alt sınırı
ub	Dizayn değişkenlerinin üst sınırı
nonlcon	Kısıtlayıcı fonksiyonları içeren fonksiyon
options	Optimizasyon algoritmasını kontrol eden seçenekler
<b>ÇIKTI PARAMETRELERİ</b>	
x	Optimum tasarım değişkenlerinin atandığı vektör
fval	Optimum noktadaki hedef fonksiyonun değeri
exitflag	Seçilen algoritmanın sonuca yakınsama durumunu belirtir
output	Optimizasyon çözümü hakkında daha detaylı bilgi verir
lambda	Lagrange çarpanlarının değerleri
grad	Optimum noktadaki hedef fonksiyonun gradyanı
hessian	Optimum noktadaki hessian matrisinin değeri

Options parametresine optimset komutu ile MATLAB'ın atadığı (default) değer yerine istenilen optimizasyon metodu atanabilir [21].

### 1.9. Literatür Araştırması

Basudhar vd. [22] çalışmalarında, statik ve dinamik yüklemeye maruz kalan geosentetik takviyeli toprak istinat duvarlarının optimum maliyet (amaç fonksiyonu) tasarımını ele almışlardır. Sıralı Kısıtlamasız Minimizasyon Tekniği'ni (Sequential Unconstrained Minimization Technique), takviyeli toprak duvarın optimum (minimum) maliyetine ulaşmak için çok boyutlu ve tek yönlü minimizasyon için birleşik yön ve ikinci dereceden uyum yöntemleri ile birlikte kullanmışlardır. Optimizasyon (matematiksel programlama) problemlerinde kısıt ve amaç fonksiyonları doğrusal değildir ve tasarım kısıtlamaları, analizde tasarım kısıtlamaları olarak uygulanmıştır. Sonuç olarak, tasarım çizelgeleri yardımıyla mekanik olarak stabilize edilmiş toprak (mechanically stabilized

earth) duvarların geleneksel tasarımına göre %7-8 oranında tasarruf yapılabileceğini bulmuşlardır.

Khajehzadeh vd. [23] çalışmalarında, tekil temeli ve betonarme konsol dayanma duvarını ekonomik olarak optimize etmişlerdir. Tekil temelin ve dayanma duvarının optimum tasarımını bulmak için modifiye edilmiş parçacık sürü optimizasyonu (modified particle swarm optimization) yaklaşımını kullanmışlardır. Optimizasyon prosedürlerinde amaç fonksiyonu toplam maliyettir ve kısıtları geoteknik ve yapısal tasarım kısıtlarından gelmektedir. Sonuç olarak modifiye edilmiş parçacık sürü optimizasyonunun diğer iki benzer yöntem olan standart parçacık sürü optimizasyonu ve pasif topluluklu parçacık sürü optimizasyonu ile karşılaştırıldığında daha az sayıda yineleme ile amaç fonksiyonunun daha küçük değerini hesapladığını bulmuşlardır. Ayrıca betonarme konsol duvarların özellikle yükseklikleri arttığında zeminin içsel sürtünme açısının ana parametre olduğunu bulmuşlardır.

Pei ve Xia [24] çalışmalarında, betonarme konsol istinat duvarının otomatik tasarımını ve maliyetini en aza indirmeyi amaçlamışlardır. Kısıtlı optimizasyon problemini çözmek için genetik algoritma (genetic algorithm), parçacık sürü optimizasyonu (particle swarm optimization) ve benzetimli tavlama (simulated annealing) sezgisel algoritmalarını kullanmışlardır. Betonun ve metre başına donatının maliyetini amaç fonksiyonu olarak seçmişlerdir. Sonuç olarak betonarme konsol istinat duvarlarının maliyetini optimize etmek için sezgisel optimizasyon algoritmalarının etkin bir şekilde kullanılabileceğini ve tek bir algoritmanın diğer yöntemlerden daha iyi olmadığını bulmuşlardır. Fakat etkililik ve verimlilik açısından parçacık sürü optimizasyonunu (particle swarm optimization) tavsiye etmişlerdir.

Kaveh ve Khayatazad [25] çalışmalarında, konsol istinat duvarını mukavemet ve stabilite kısıtlarını karşılaması ve aynı zamanda ekonomik olması için çeşitli deprem yüklemeye koşullarında Işın (Ray) Optimizasyonu denilen yöntemle tasarlamışlardır. Sonuçta ayak bölgesinde taşıma gücü, konsol istinat duvarının kayma stabilitesi ve ayak bölgesindeki kritik kesitin kesme dayanımının en önemli parametreler olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca beklenenin aksine depremin düşey bileşkesinin artmasının istinat duvarının tasarımını ters etkilediğini bulmuşlardır.

Şadoğlu [26] çalışmasında, simetrik ağırlık tipi istinat duvarının tasarım optimizasyonunu yapmış, amaç fonksiyonu olarak duvarın en kesit alanını seçerken, kısıt fonksiyonu olarak dış stabilite için devrilme, kayma, tabanda çekme gerilmeleri

oluşmaması ve taşıma kapasitesi tahkikini seçmiş, iç stabilite için kayma ve eğilme tahkikini seçmiş ve son olarak kısıtlarına bir tasarım kısıtı eklemiştir. Sonuç olarak iç nokta problemi olarak çözdüğü optimizasyon probleminde duvarın optimum kalınlıklarının ağırlık istinat duvarları için önerilen kalınlıklardan çok daha az olduğunu bulmuş ve çok daha ekonomik bir duvar tasarımı elde etmiştir. Ayrıca dış stabilitede kayma kısıtının ve iç stabilitede gövdede eğilme kısıtının tasarımın şeklini belirlediğini bulmuştur.

Sheikholeslami vd. [27] çalışmalarında, ateşböceklerinin doğal davranışı ve uyum doğaçlama kavramları temelinde yeni bir hibrit IFA-HS algoritması önermiş ve betonarme istinat yapılarının minimum maliyetli tasarımına uygulamışlardır. Bir dizi tasarım örneği aracılığıyla hibrit IFA-HS algoritması, hem hesaplama açısından verimli olduğunu hem de güvenlik, kararlılık ve malzeme kısıtlamalarını karşılayan en düşük maliyetli istinat duvarı tasarımları üretebildiğini göstermiştir.

Temür ve Bekdaş [28] çalışmalarında, betonarme konsol dayanma duvarlarının optimum tasarımı için öğretim öğrenmeye dayalı optimizasyon (teaching learning-based optimization) algoritmasına dayalı bir metodoloji kullanmışlardır. Amaç fonksiyonu olarak dayanma duvarının birim uzunluğu başına beton ve çelik dahil olmak üzere toplam malzeme maliyetini en aza indirmeyi seçmişlerdir. Sayısal örneklerde, belgelenmiş araştırmalardan alınan bir istinat duvarını optimize etmişler ve çalışmalarında optimum sonuçlar üzerindeki çeşitli etkileri (dolgu eğimi açısı, zeminin içsel sürtünme açısı ve ilave yük) incelemişlerdir. Sonuç olarak zeminin içsel sürtünme açısı ve ilave yükün optimum maliyet üzerinde doğrusal bir etkisi olduğunu bulmuşlardır. Ve öğretim öğrenmeye dayalı optimizasyon yönteminin yakınsama ve sağlamlık performansından dolayı geliştirilmiş (improved) veya modifiye edilmiş (modified) gibi etkili iyileştirilmelerle uygulanabilir bir yöntem olduğunu bulmuşlardır.

Kayhan ve Demir [29] çalışmalarında, betonarme konsol istinat duvarlarının minimum maliyetle tasarımı amacıyla diferansiyel gelişim algoritması tekniğine dayalı bir yöntem kullanmışlardır. Çalışmalarında düşey yüklerin yanı sıra statik ve depremlilik durumdaki dinamik zemin etkilerini gözönünde bulundurmuşlardır. Optimizasyon problemlerinde kısıtları; TS-7994'te tanımlanan devrilme, kayma, zeminin taşıma gücü ve TS-500'de tanımlanan betonarme tasarım kriterleridir. Amaç fonksiyonu olarak duvarın kesit boyutları ile gerekli donatı alanlarının minimize edilmesini seçmişlerdir. Sonuç olarak diferansiyel gelişim algoritmasının betonarme konsol istinat duvarlarının optimum tasarımında etkin şekilde kullanılabileceğini bulmuşlardır. Ayrıca deprem düzeyini ifade

eden etkin yer ivmesi katsayısı ve zemin içsel sürtünme açısındaki değişimin, istinat duvarlarının optimum maliyetini dikkate değer şekilde değiştirdiğini bulmuşlardır.

Masoud vd. [30] çalışmalarında, ağırlık istinat duvarının tasarım optimizasyonu için numerik analiz kullanarak ağırlık istinat duvarının alanını kcltmeyi böylece maliyeti düşürmeyi amaçlamışlardır. Sonuç olarak istinat duvarını dikdörtgen, üçgen ve yamuk şekillerinde test etmiş ve en ekonomik şeklin yamuk olduğunu bulmuşlardır.

Bekdaş vd. [31] çalışmalarında, kohezyonsuz zemine gömülü konsol iksa kazığı dayanma duvarlarının maliyet ve boyut dengesini sağlamak için hem geoteknik hem de yapısal gereksinimleri sağlayan bir optimizasyon algoritması geliştirmişlerdir. Kazı derinliği, içsel sürtünme açısı, zeminin birim ağırlığı, dış yükleme durumu ve zemin yatak katsayısındaki değişimin parametrik analiz sonuçlarına etkisini görmek için uyum arama (harmony search) algoritması yöntemini kullanmışlardır. Tasarım değişkenleri olarak iksa kazığının gömme derinliği ve çapını seçmişlerdir. Amaç fonksiyonları duvarın toplam maliyetidir. Sonuç olarak analiz sonuçlarında konsol iksa kazığının tasarımında en etkili faktörün kazı derinliği olduğunu ve uyum arama (harmony search) algoritması yönteminin konsol iksa kazığı duvar sistemlerinin tasarlamak için kabul edilebilir bir yaklaşım olduğunu bulmuşlardır.

## 1.10. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışması, asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarlarının optimum maliyetle tasarlanması amacıyla planlanmıştır. Optimizasyon problemi MATLAB paket programının hazır komutu “fmincon” yardımıyla, iç nokta metodu (interior point method) yöntemiyle zlecektir. MATLAB paket programına girilen tasarım değişkenleriyle (duvarın genişliği) tanımlanan amaç fonksiyonunun (duvarın en kesit alanı) minimize edilmesi ve ağırlık tipi dayanma duvarları için önerilen en kesit alanlarından daha küçük en kesitler bulunması planlanmaktadır. Bu amaçla, zemine ait içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ), zeminin birim ağırlığı ( $\gamma$ ), duvar tabanı ile temel zemin arasındaki sürtünme katsayısı ( $\mu$ ), betonun karaktristik basıncı ( $f_{ck}$ ), betonun tasarım çekme dayanımı ( $f_{td}$ ), betonun güvenlik faktörü ( $\gamma_{fs}$ ), kaymaya karşı güvenlik faktörü ( $\gamma_{fs}$ ), tasıma kapasitesi arızasına karşı güvenlik faktörü ( $\gamma_{fs}$ ) programa input olarak gırilecek ve duvarın

$\phi_9, \phi_{10}, \phi_{11}, \phi_{12}$ ), duvarın en kesit alanı ( $\phi(x)$ ), kısıtlar ( $\phi_{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12}$ ), ampatmanda kesme tahkiki (K), ampatmanda eğilme tahkiki (E) değerleri “output” olarak belirlenecektir. Ardından değişen duvar yüksekliği (H=2, 3, 4 m) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi=15^0, 25^0, 35^0$ ) değerleriyle birlikte oluşturulan en kesit alanları kıyaslanacak, minimum en kesit alanının elde edilmesinde içsel sürtünme açısı ve duvar yüksekliği

parametrelerinin etkisi değerlendirilecektir.

Yapılan bu tez çalışmasıyla birlikte, bulunan en kesit alanlarının ağılık tipi dayanma duvarları için önerilen en kesit alanlarından daha küçük olup olmadığı, minimum en kesit alanını belirleyen parametrelerin diğer araştırmalardaki parametreler ile tutarlı olup olmadığı ve betonun ampatmanda kesme (K) ve eğilmeyi (E) karşılayıp karşılayamadığı araştırılacaktır.



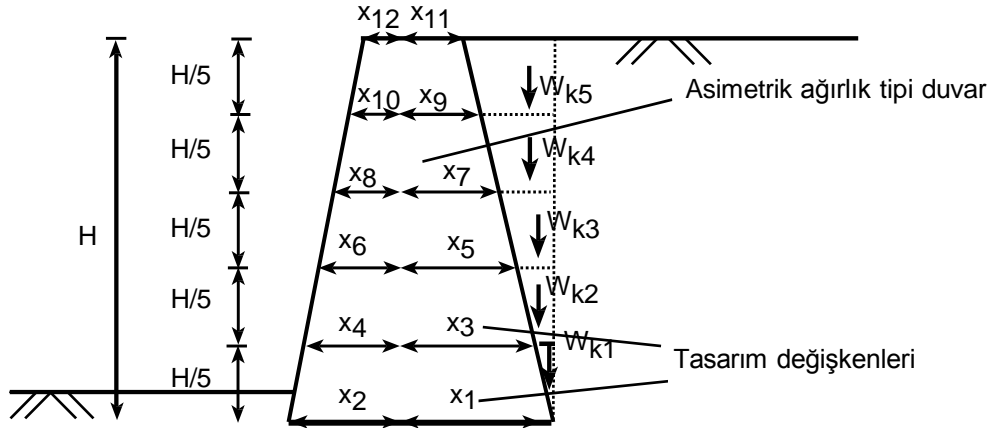


## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, kohezyonsuz zemini destekleyen bir beton ağırlık istinat duvarının optimum kesitini bulmak için kısıtlı ve doğrusal olmayan bir optimizasyon problemi tanımlanmış ve çözülmüştür. Kısıtlar (constrains), dış ve iç stabilite kriterlerinden türetilmiştir ve amaç fonksiyonu (objective function), duvarın en kesit alanı olarak tanımlanmıştır. Optimizasyon problemi, iç nokta (interior-point) metodu kullanılarak çözülmüştür.

### 2.1. Tasarım Değişkenleri (Design Variables)

İstinat duvarını tasarlarken mühendislik açısından tasarımı belirleyen etmenler güvenlik, sağlamlık ve maliyettir. Güvenlik ve stabilite, birbiriyle bağlantılı kavramlardır. Yani stabilite tahkikinin sonuçları güvenlik hakkında bilgi sağlar, çünkü güvenlik çoğunlukla stabilite tahkikinin sonuçlarına göre tanımlanır. Maliyet, en düşük maliyetle yeterli güvenlik ve kullanılabilirlikle inşa etmeyi gerektirir. Bu nedenle, maliyet minimize edilirken güvenlik için bazı tahkikler yapılır. Sonuç olarak, bir ağırlık istinat duvarının tasarımı bir optimizasyon problemi olarak düşünülebilir. Açıkça, maliyetin minimize edilmesi amaç fonksiyonu olarak ortaya çıkar ve kısıtlar, stabilite tahkiklerinden türetilir. Bu optimizasyon probleminin tasarım değişkenleri, tabandan düzenli mesafelerde ağırlık istinat duvarının genişlikleri olarak seçilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. Ağırlık istinat duvarının tasarım değişkenleri

Genişlikler arasındaki dikey mesafeler duvar yüksekliğinin beşte biri olarak seçilmiştir. Böylece tasarım parametrelerinin sayısının çok fazla olması engellenmiş ve beton ağırlık istinat duvarının optimum dış hatlarını elde etmek için yeterli noktalar belirlenmiştir.

## 2.2. Amaç Fonksiyonu (Objective Function)

Amaç fonksiyonu, belirli koşullarda maksimize edilmesi veya en aza indirilmesi gereken ve mühendislikte hacim, maliyet, ağırlık vb. olarak seçilmesi gereken matematiksel bir ifadedir [32]. Bu optimizasyon probleminin amacı, maliyeti en aza indiren duvar en kesit alanını belirlemektir. Bu nedenle, amaç fonksiyonu en kesit alanı olarak seçilmiştir. Çünkü kullanılacak beton, kalıp ve iskelenin maliyeti esas olarak duvarın yüksekliğine bağlıdır. Böylece minimum en kesit alanına sahip duvarın en düşük maliyete sahip olduğu düşünülebilir.

$$V(x) = \frac{H}{10} (x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + 2x_{10} + x_{11} + x_{12})$$

$$V(x) \quad (30)$$

### 2.3. Kısıtlar (Constrains)

Ağırlık istinat duvarının tasarımı, duvarın yeterli dış ve iç stabiliteye sahip olmasını sağlamalıdır. Duvarın temas ettiği zeminde aktif ve pasif durumlara neden olan küçük hareketler dışında, duvar istenen konumunda sabit kalırsa, dış stabilite sağlanır. Stabilite bozan kuvvetler, bu durumda toprak basıncının sonucudur. Duncan vd [33] taneli dolgu ve temel zeminleri için aşağıdaki dış stabilite tahkiklerini önermiştir:

- N'nin tabanın orta üçte birlik kısmının içinde olması (N= duvara etki eden düşey kuvvetlerin toplamı),
- $q_{\text{izinverilen}} \geq q_{\text{maks}}$ , ( $q_{\text{izinverilen}}$ = izin verilen taşıma kapasitesi,  $q_{\text{maks}}$ = maksimum taban basıncı)
- Kaymaya karşı emniyet,
- Kabul edilebilir sınırlar içinde oturma.

Ayak ucunda devrilme tahkiki genellikle yukarıdaki tahkiklere ek olarak tasarıma eklenir. Oturma tahkiki esas olarak duvarın altındaki katmanlarla ilgilidir ve bu nedenle bu çalışmada ihmal edilmiştir.

İç stabilite, duvarın üzerine etki eden yükleri kırılmadan taşımalarını garanti eder. Başka bir deyişle, bir ağırlık istinat duvarı, zemin basınçlarının neden olduğu iç kesme kuvvetlerine ve eğilme momentlerine ve diğer kesit tesirlerine karşı yeterli dayanıma sahip olmalıdır. Öyleyse, iç stabilite kriterlerini değerlendirmek için gereken iç kuvvetleri ve momentleri bulmak için yanal toprak basınçlarının dağılımı ve büyüklüğü bilinmelidir. Yanal toprak basıncı, Rankine teorisine göre hesaplanmıştır, çünkü yaygın olarak kullanılır ve bu optimizasyon çalışmasına kolayca uyarlanabilir.

#### 2.3.1. Devrilme Kısıtı

Daha önce bahsedildiği gibi devrilme tahkiki ayak ucu çevresinde değerlendirildiği için bu çalışmada devrilme kısıtını oluşturan momentler ayak ucu noktasına göre alınmıştır. Ayak ucu etrafında devrilmenin kısıtı aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\diamond(x) = FS_o \cdot \sum M_{T,\text{deviren}} - \sum M_{T,\text{karşıkoayan}} \leq 0 \quad (31)$$

Bağıntı 31'deki genel formülden  $\phi_1(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned}
& \gamma \approx 3 \qquad \qquad \qquad \frac{\phi_1^2 + (\phi_1 \cdot \phi_3) + \phi_3^2}{2} \\
\phi_1(x) = & \frac{(\phi_1 \phi_2 \phi_3)_6 \cdot H \cdot \phi_6 - (H/10) \phi_6 ((\phi_1 + \phi_3) (\phi_2^2 + (\phi_2 \cdot \phi_4) + \phi_4^2) + 3(\phi_2 + \phi_4) (\phi_3^2 + (\phi_3 \cdot \phi_5) + \phi_5^2) + \phi_2)}{(\phi_2 + \phi_4) (\phi_2 - (\frac{3(\phi_2 + \phi_4)}{\phi_2^2 + (\phi_2 \cdot \phi_4) + \phi_4^2})) + (\phi_3 + \phi_5) (\frac{3(\phi_3 + \phi_5)}{\phi_3^2 + (\phi_3 \cdot \phi_5) + \phi_5^2} + \phi_2) +} \\
& \frac{(\phi_4 + \phi_6) (\phi_2 - (\frac{3(\phi_4 + \phi_6)}{\phi_4^2 + (\phi_4 \cdot \phi_6) + \phi_6^2})) + (\phi_7 + \phi_9) (\frac{3(\phi_7 + \phi_9)}{\phi_7^2 + (\phi_7 \cdot \phi_9) + \phi_9^2} + \phi_2) +} \\
& \frac{(\phi_8 + \phi_{10}) (\phi_2 - (\frac{3(\phi_8 + \phi_{10})}{\phi_8^2 + (\phi_8 \cdot \phi_{10}) + \phi_{10}^2})) + (\phi_9 + \phi_{11}) (\frac{3(\phi_9 + \phi_{11})}{\phi_9^2 + (\phi_9 \cdot \phi_{11}) + \phi_{11}^2} + \phi_2) +} \\
& \frac{(\phi_8 + \phi_{10}) (\phi_2 - (\frac{3(\phi_8 + \phi_{10})}{\phi_{10}^2 + (\phi_{10} \cdot \phi_{12}) + \phi_{12}^2})) + (\phi_9 + \phi_{11}) (\frac{3(\phi_9 + \phi_{11})}{\phi_9^2 + (\phi_9 \cdot \phi_{11}) + \phi_{11}^2} + \phi_2) +} \\
& \frac{\phi_2 + (\phi_{10} + \phi_{12}) (\phi_2 - (\frac{3(\phi_{10} + \phi_{12})}{\phi_{10}^2 + (\phi_{10} \cdot \phi_{12}) + \phi_{12}^2})) - ((H/10) \phi_6 ((\phi_1 - \phi_3) (\phi_2^2 + (\phi_2 \cdot \phi_4) + \phi_4^2) + (\phi_2 - \phi_3) (\phi_3^2 + (\phi_3 \cdot \phi_5) + \phi_5^2) + (\phi_2 - \phi_4) (\phi_4^2 + (\phi_4 \cdot \phi_6) + \phi_6^2) + (\phi_2 - \phi_5) (\phi_5^2 + (\phi_5 \cdot \phi_7) + \phi_7^2) + (\phi_2 - \phi_6) (\phi_6^2 + (\phi_6 \cdot \phi_8) + \phi_8^2) + (\phi_2 - \phi_7) (\phi_7^2 + (\phi_7 \cdot \phi_9) + \phi_9^2) + (\phi_2 - \phi_8) (\phi_8^2 + (\phi_8 \cdot \phi_{10}) + \phi_{10}^2) + (\phi_2 - \phi_9) (\phi_9^2 + (\phi_9 \cdot \phi_{11}) + \phi_{11}^2) + (\phi_2 - \phi_{10}) (\phi_{10}^2 + (\phi_{10} \cdot \phi_{12}) + \phi_{12}^2) + (\phi_1 - \phi_3))}{3(2\phi_1 - \phi_3 - \phi_5) (\phi_1 + \phi_2 - ((\phi_1 - \phi_3)^2 + (\phi_1 - \phi_3)(\phi_2 - \phi_3) + (\phi_2 - \phi_3)^2)) + (2\phi_1 - \phi_3 - \phi_5) (\phi_1 + \phi_2 - ((\phi_1 - \phi_3)^2 + (\phi_1 - \phi_3)(\phi_2 - \phi_3) + (\phi_2 - \phi_3)^2)) + (2\phi_1 - \phi_7 - \phi_9) (\phi_1 + \phi_2 - ((\phi_1 - \phi_7)^2 + (\phi_1 - \phi_7)(\phi_2 - \phi_9) + (\phi_2 - \phi_9)^2)) + (2\phi_1 - \phi_7 - \phi_9) (\phi_1 + \phi_2 - ((\phi_1 - \phi_7)^2 + (\phi_1 - \phi_7)(\phi_2 - \phi_9) + (\phi_2 - \phi_9)^2)) + (2\phi_1 - \phi_9 - \phi_{11}) (\phi_1 + \phi_2 - ((\phi_1 - \phi_9)^2 + (\phi_1 - \phi_9)(\phi_2 - \phi_{11}) + (\phi_2 - \phi_{11})^2))}{3(2\phi_1 - \phi_3 - \phi_{11})} \leq 0 \tag{32}
\end{aligned}$$

Deviren moment ( $M_{T,deviren}$ ) aktif toprak basıncının ( $P_s$ ) bileşkesinden gelmektedir. Karşı koyan moment ( $M_{T,karşı koyan}$ ) ise duvarın kendi ağırlığı ile duvarın bir parçası gibi

hareket eden zemin kamasının ağırlığından ( $W_{k1}$ ,  $W_{k2}$ ,  $W_{k3}$ ,  $W_{k4}$ ,  $W_{k5}$ ) gelmektedir. Duvarın ön kısmındaki pasif itki ihmal edilmiştir.

### 2.3.2. Kayma Kısıtı

Duvarın arkasına etki eden aktif toprak basıncının bileşkesi duvarı kaydırmaya çalışan tek kuvvettir ve duvar tabanı boyunca oluşan sürtünme direnci de tek karşı koyan kuvvettir. Sürtünmenin sonucu, duvarın ağırlığı ile duvarın parçası olarak hareket eden zeminin taban sürtünme katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır. Bu nedenle, kayma kısıtı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_2(x) = \sum_{i=1}^n (W_{ki} \cos \alpha_i) - \sum_{i=1}^n (W_{ki} \sin \alpha_i) \leq 0 \quad (33)$$

Bağıntı 33'deki genel formülden  $F_2(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$F_2(x) = \left( \frac{1}{2} \gamma H^2 \left( \frac{1}{2} \gamma H^2 \right) - \left( \frac{H}{10} \right) \left( \gamma_1 + \gamma_2 + 2\gamma_3 + 2\gamma_4 + 2\gamma_5 \right) + \left( \frac{H}{10} \right) \left( \gamma_1 - \gamma_2 \right) + \left( 2\gamma_1 - \gamma_3 - \gamma_5 \right) + \left( 2\gamma_1 - \gamma_3 - \gamma_7 \right) + \left( 2\gamma_1 - \gamma_7 - \gamma_9 \right) + \left( 2\gamma_1 - \gamma_9 - \gamma_{11} \right) \right) \tan \delta \leq 0 \quad (34)$$

Duvarın tabanı ile zemin arasındaki sürtünme açısı olan  $\delta$ , bu çalışmada  $2\phi/3$  olarak seçilmiştir.

### 2.3.3. Tabanda Çekme Gerilmeleri Oluşmaması Kısıtı

Duncan vd [33], eksantrisitenin tabanın orta üçte biri içinde olması gerektiğini öne sürmüştür. Böylelikle duvar tabanı ile zemin arasında ayrılma oluşmaz. Bu kısıt, taban basıncı dağılımında çekme gerilmelerinin oluşmadığı fikrinden esinlenmiştir. Kısıt Bağıntı 35'de verilmiştir.

$$\varphi(x) = \frac{\sum \varphi_i}{3} \leq 0 \quad (35)$$

$$-$$

Bağıntı 35'deki genel formülden  $\varphi_3(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned} \varphi_3(x) = & \left( \left( \frac{1}{6} \cdot \varphi_3(H^3) \cdot \varphi_3 \right) - \left( \frac{H}{10} \varphi_3 \left( (\varphi_1 + \varphi_3) \left( \frac{\varphi_1^2 + (\varphi_1 \cdot \varphi_3) + \varphi_3^2}{3(\varphi_1 + \varphi_3)} \right) \right. \right. \right. \\ & \left. \left. \left( \frac{\varphi_2^2 + (\varphi_2 \cdot \varphi_4) + \varphi_4^2}{\varphi_4^2 + (\varphi_4 \cdot \varphi_5) + \varphi_5^2} \right) \right) + (\varphi_2 + \varphi_4) \left( \frac{3(\varphi_3 + \varphi_5)}{\varphi_5^2 + (\varphi_5 \cdot \varphi_7) + \varphi_7^2} \right) \right. \\ & \left. \left( \frac{\varphi_2^2 + (\varphi_2 \cdot \varphi_6) + \varphi_6^2}{\varphi_6^2 + (\varphi_6 \cdot \varphi_8) + \varphi_8^2} \right) \right) + (\varphi_2 + \varphi_6) \left( \frac{3(\varphi_3 + \varphi_9)}{\varphi_7^2 + (\varphi_7 \cdot \varphi_9) + \varphi_9^2} \right) \\ & \left. \left( \frac{\varphi_2^2 + (\varphi_2 \cdot \varphi_8) + \varphi_8^2}{\varphi_8^2 + (\varphi_8 \cdot \varphi_{10}) + \varphi_{10}^2} \right) \right) + (\varphi_2 + \varphi_8) \left( \frac{3(\varphi_3 + \varphi_{10})}{\varphi_9^2 + (\varphi_9 \cdot \varphi_{11}) + \varphi_{11}^2} \right) \\ & \left. \left( \frac{\varphi_2^2 + (\varphi_2 \cdot \varphi_{10}) + \varphi_{10}^2}{3(\varphi_3 + \varphi_{10})} \right) \right) + (\varphi_2 + \varphi_{10}) \left( \frac{3(\varphi_3 + \varphi_{11})}{\varphi_{10}^2 + (\varphi_{10} \cdot \varphi_{12}) + \varphi_{12}^2} \right) \\ & \left( \frac{\varphi_{10}^2 + (\varphi_{10} \cdot \varphi_{12}) + \varphi_{12}^2}{3(\varphi_{10} + \varphi_{12})} \right) \right) + \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \right) \\ & \left( \frac{3(\varphi_{10} + \varphi_{12})}{2} \right) \right) + \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \right) \left( \frac{\varphi_1 + \varphi_2 - \left( \frac{\varphi_1 - \varphi_3}{2} \right)}{2} \right) + \\ & \left( \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_3 - \varphi_5)(\varphi_1 + \varphi_2 - \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_3 - \varphi_5)}{((\varphi_1 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)(\varphi_2 - \varphi_5) + (\varphi_2 - \varphi_5)^2))}{2} \right) + \\ & \left( \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_7)(\varphi_1 + \varphi_2 - \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_5 - \varphi_7)}{((\varphi_1 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)(\varphi_2 - \varphi_7) + (\varphi_2 - \varphi_7)^2)}{2} \right) + \\ & \left( \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_7 - \varphi_9)(\varphi_1 + \varphi_2 - \frac{3(2\varphi_1 - \varphi_7 - \varphi_9)}{((\varphi_1 - \varphi_3)^2 + (\varphi_1 - \varphi_3)(\varphi_2 - \varphi_9) + (\varphi_2 - \varphi_9)^2)}{2} \right) + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \left( \frac{((q_1 - q_2)^2 + (q_1 - q_2)(q_1 - q_{11}) + (q_1 - q_{11})^2)}{3(2q_1 - q_2 - q_{11})} \right) + \\
& (2q_1 - q_2 - q_{11})(q_1 + q_2 - \\
& \left( \frac{H}{2} \right) (q_1 + q_2 + \frac{q_1}{2} + \frac{q_2}{2} + \frac{q_3}{2} + \frac{q_4}{2} + \frac{q_5}{2} + \frac{q_6}{2} + \frac{q_7}{2} + \frac{q_8}{2} + \frac{q_9}{2} + \frac{q_{10}}{2} + \frac{q_{11}}{2} + \\
& \frac{H}{12} ) + ( \\
& 10 \cdot q_2 \left( (q_1 - q_3) + (2q_1 - q_3 - q_5) + (2q_1 - q_3 - q_7) + (2q_1 - q_3 - \right. \\
& \left. \frac{q_4 + q_6}{2} + \frac{(q_4 + q_6)^2}{6} \right) - \left( \frac{H}{10} \right) (q_1 + q_2 + 2q_3 + \\
& q_4 + 2q_5 + 2q_6 + 2q_7 + 2q_8 + 2q_9 + 2q_{10} + q_{11} + q_{12}) + \left( \frac{H}{10} \cdot q_2 \right) \left( (q_1 - q_3) + \right. \\
& \left. (2q_1 - q_3 - q_5) + (2q_1 - q_3 - q_7) + (2q_1 - q_3 - q_9) + (2q_1 - q_3 - q_{11}) \right) / \\
& (q_1 + q_2) \leq 0 \tag{36}
\end{aligned}$$

### 2.3.4. Geleneksel Yönteme Göre Taşıma Gücü Kısıtı

Duvar tabanı ile zemin arasındaki taban basıncı, temel zemininde kayma kırılmasına neden olduğunda, zeminde taşıma gücü problemi ortaya çıkar. Bu optimizasyon probleminde emin taşıma gücünü hesaplamak ve maksimum taban basıncı ile karşılaştırmak için Terzaghi Taşıma Gücü Teorisi kullanılmıştır. Maksimum taban basıncı Geleneksel Yöntem'e göre hesaplanmıştır. Taşıma gücü tahkikinden kaynaklanan kısıt aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned}
& \frac{\sum q_1}{\sum q_2} + \frac{\sum q_3}{\sum q_4} + \frac{\sum q_5}{\sum q_6} + \frac{\sum q_7}{\sum q_8} + \frac{\sum q_9}{\sum q_{10}} + \frac{\sum q_{11}}{\sum q_{12}} \leq 0 \tag{37} \\
& =
\end{aligned}$$

Bağıntı 37'deki genel formülden  $q_1(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden türetilerek Bağıntı 38'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \diamond_4(x) = & \left( \left( \frac{1}{6} \right) \cdot \diamond_2(H^3) \cdot \diamond_2 \right) - \left( \frac{H}{10} \right) \diamond_2((\diamond_1 + \diamond_3)) \left( \frac{\diamond_1^2 + (\diamond_1 \cdot \diamond_3) + \diamond_3^2}{3(\diamond_1 + \diamond_3)} + \right. \\
 & \left. \frac{\diamond_2^2 + (\diamond_2 \cdot \diamond_4) + \diamond_4^2}{\diamond_3^2 + (\diamond_3 \cdot \diamond_5) + \diamond_5^2} + \right. \\
 & \left. \frac{\diamond_2 + (\diamond_2 + \diamond_4)(\diamond_2 - \frac{3(\diamond_3 + \diamond_4)}{\diamond_4^2 + (\diamond_4 \cdot \diamond_6) + \diamond_6^2})}{\diamond_5^2 + (\diamond_5 \cdot \diamond_7) + \diamond_7^2} + \right. \\
 & \left. \frac{\diamond_2 + (\diamond_4 + \diamond_6)(\diamond_2 - \frac{3(\diamond_3 + \diamond_6)}{\diamond_6^2 + (\diamond_6 \cdot \diamond_8) + \diamond_8^2})}{\diamond_7^2 + (\diamond_7 \cdot \diamond_9) + \diamond_9^2} + \right. \\
 & \left. \frac{\diamond_2 + (\diamond_6 + \diamond_8)(\diamond_2 - \frac{3(\diamond_3 + \diamond_8)}{\diamond_8^2 + (\diamond_8 \cdot \diamond_{10}) + \diamond_{10}^2})}{3(\diamond_3 + \diamond_9)} + \right. \\
 & \left. \frac{\diamond_2 + (\diamond_8 + \diamond_{10})(\diamond_2 - \frac{3(\diamond_3 + \diamond_{10})}{\diamond_9^2 + (\diamond_9 \cdot \diamond_{11}) + \diamond_{11}^2})}{3(\diamond_3 + \diamond_{10})} \right) + (\diamond_3 + \diamond_5) \\
 & \left( \frac{\diamond_1}{3(\diamond_3 + \diamond_{11})} + \diamond_2 + (\diamond_{10} + \diamond_{12})(\diamond_2 - \frac{\diamond_1 - \diamond_3}{10}) \right) + \\
 & \left( \frac{\diamond_{10}^2 + (\diamond_{10} \cdot \diamond_{12}) + \diamond_{12}^2}{3(\diamond_{10} + \diamond_{12})} \right) + \left( \left( \frac{H}{2} \right) \diamond_2((\diamond_1 - \diamond_3)) \left( \frac{\diamond_1 + \diamond_2 - \frac{\diamond_1 - \diamond_3}{2}}{2} \right) + \right. \\
 & \left. \frac{3}{((\diamond_2 - \diamond_3) + (\diamond_2 - \diamond_3)(\diamond_2 - \diamond_3) + (\diamond_2 - \diamond_3)^2)} \right) + \\
 & \left( \frac{2(\diamond_1 - \diamond_3 - \diamond_5)(\diamond_1 + \diamond_2 - \frac{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_3))}{((\diamond_2 - \diamond_3)^2 + (\diamond_2 - \diamond_3)(\diamond_2 - \diamond_3) + (\diamond_2 - \diamond_3)^2)}}{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_3))} \right) + \\
 & \left( \frac{2(\diamond_1 - \diamond_5 - \diamond_7)(\diamond_1 + \diamond_2 - \frac{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_3))}{((\diamond_2 - \diamond_3)^2 + (\diamond_2 - \diamond_3)(\diamond_2 - \diamond_3) + (\diamond_2 - \diamond_3)^2)}}{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_3))} \right) + \\
 & \left( \frac{2(\diamond_1 - \diamond_7 - \diamond_9)(\diamond_1 + \diamond_2 - \frac{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_3))}{((\diamond_1 - \diamond_3)^2 + (\diamond_1 - \diamond_3)(\diamond_1 - \diamond_{11}) + (\diamond_1 - \diamond_{11})^2)}}{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_{11}))} \right) + \\
 & \left( \frac{2(\diamond_1 - \diamond_9 - \diamond_{11})(\diamond_1 + \diamond_2 - \frac{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_{11}))}{((\diamond_1 - \diamond_3)^2 + (\diamond_1 - \diamond_3)(\diamond_1 - \diamond_{11}) + (\diamond_1 - \diamond_{11})^2)}}{3(2(\diamond_2 - \diamond_3 - \diamond_{11}))} \right) + \\
 & \left( \left( \frac{H}{10} \right) \diamond_2 \left( \frac{\diamond_1}{2} + \frac{\diamond_2}{2} + \frac{\diamond_3}{2} + \frac{\diamond_4}{2} + \frac{\diamond_5}{2} + \frac{\diamond_6}{2} + \frac{\diamond_7}{2} + \frac{\diamond_8}{2} + \frac{\diamond_9}{2} + \frac{\diamond_{10}}{2} + \frac{\diamond_{11}}{2} \right) + \right. \\
 & \left. \frac{10}{\diamond_2} \right) + \frac{H}{\diamond_2}
 \end{aligned}$$



12 (

$$10. \binom{2n}{2} ((\binom{2n}{1} - \binom{2n}{3}) + (2\binom{2n}{1} - \binom{2n}{3} - \binom{2n}{5}) + (2\binom{2n}{1} - \binom{2n}{5} - \binom{2n}{7}) + (2\binom{2n}{1} - \binom{2n}{7} - \binom{2n}{9}) + \dots)$$

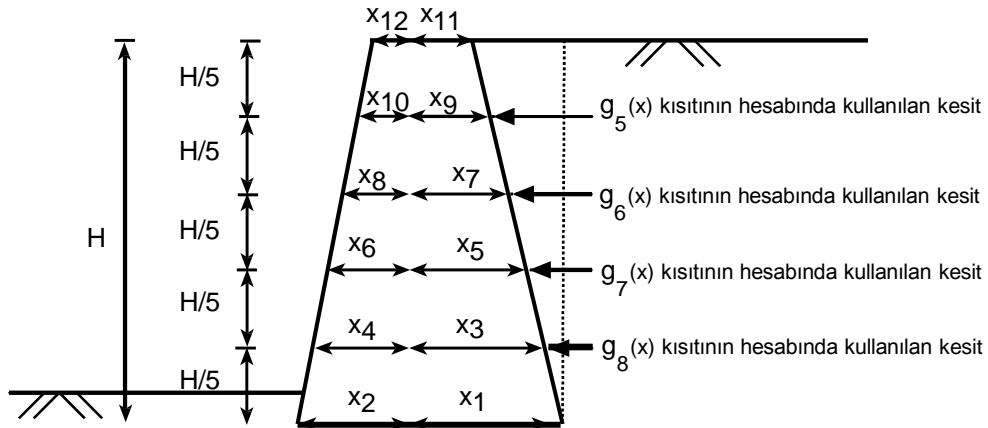


$$\begin{aligned}
& \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \left( \frac{(A_1 + A_2)^2}{6} \right) + \left( \frac{H}{10} \right) (A_1 + A_2 + 2A_3 + \\
& 2A_4 + 2A_5 + 2A_6 + 2A_7 + 2A_8 + 2A_9 + 2A_{10} + A_{11} + A_{12}) + \left( \frac{H}{10} \right) (A_1 - A_2) + \\
& \left( \frac{H}{10} \right) (2A_1 - A_3 - A_5) + \left( \frac{H}{10} \right) (2A_1 - A_7 - A_9) + \left( \frac{H}{10} \right) (2A_1 - A_9 - A_{11})) / \\
& (A_1 + A_2) - (A_1 - A_2) / 2 \leq 0 \quad (38)
\end{aligned}$$

### 2.3.5. Eğilme Tahkiki Kısıtı

İstinat duvarının iç stabilitesini sağlamak ve doğrulamak için eğilme ve kesme tahkikleri yapılır. Gövde genişlikleri, eğilme momentlerine karşı koyacak yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. ACI 318-99'a [14] göre betonun çekme dayanımı bazı durumlar için tasarımda kullanılabilir şöyleki duvarın gövdesi yapısal bütünlüğünü bozmadan rastgele çatlakları tolere edebilir ve süneklik tasarımının temel bir özelliği değildir.

Eğilme tahkikinden kaynaklanan kısıtlar üstten alta dört farklı kesit için Şekil 20'de gösterilmiştir.



Şekil 20. Eğilme tahkiki kısıtının hesabında kullanılan kesitler

Eğilme tahkiki kısıtının genel formülü Bağntı 39'da verilmiştir.

$$\sigma_s(x) = 1.6 \left( \frac{H^3}{6} \sigma_{s5} - \frac{H}{10} \sigma_{s10} \right) - \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s12} \right) \left( \sigma_{s10} - \left( \sigma_{s10}^2 + \sigma_{s10} \sigma_{s12} + \sigma_{s12}^2 \right) \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s12} \right) + \sigma_{s10} - \left( \frac{\sigma_{s10} - \sigma_{s11}}{3} \right) \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} + \sigma_{s10} + \sigma_{s12} + \sigma_{s11} \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s11} \right) \right) / \left( \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s10} \right)^2 / 6 \right) - 1.2 \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s12} + \sigma_{s11} \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s11} \right) \right) / \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s10} \right) - \sigma_{s10} \right) \leq 0 \quad (39)$$

Burada,

$\sigma_{s10}$ : betonun tasarım çekme dayanımıdır.

Bağntı 39'daki genel formülden  $\sigma_s(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\sigma_s(x) = 1.6 \left( \frac{H^3}{6} \sigma_{s5} - \frac{H}{10} \sigma_{s10} \right) - \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s12} \right) \left( \sigma_{s10} - \left( \sigma_{s10}^2 + \sigma_{s10} \sigma_{s12} + \sigma_{s12}^2 \right) \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s12} \right) + \sigma_{s10} - \left( \frac{\sigma_{s10} - \sigma_{s11}}{3} \right) \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} + \sigma_{s10} + \sigma_{s12} + \sigma_{s11} \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s11} \right) \right) / \left( \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s10} \right)^2 / 6 \right) - 1.2 \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s12} + \sigma_{s11} \right) + \left( \frac{H}{10} \sigma_{s10} \left( \sigma_{s10} - \sigma_{s11} \right) \right) / \left( \sigma_{s10} + \sigma_{s10} \right) - \sigma_{s10} \right) \leq 0 \quad (40)$$

Bağntı 39'daki genel formülden  $\sigma_s(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden türetilerek Bağntı 41'de verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{3} \frac{2H}{3} \frac{H}{3} \\
 \diamond_6(x) = & 1.6 \left( \binom{6}{6} \binom{5}{5} - \binom{10}{10} \binom{10}{10} (\binom{10}{10} + \binom{12}{12}) (\binom{8}{8} - \right. \\
 & \left. \frac{(\binom{10}{10})^2 + \binom{10}{10} \binom{12}{12} + (\binom{12}{12})^2}{3(\binom{10}{10} + \binom{12}{12})} \binom{8}{8} + \frac{(\binom{9}{9})^2 + \binom{9}{9} \binom{11}{11} + (\binom{11}{11})^2}{3(\binom{9}{9} + \binom{11}{11})} \right) + \\
 & \left( \frac{(\binom{8}{8} + \binom{10}{10}) (\binom{8}{8} - \binom{3(\binom{8}{8} + \binom{10}{10})}{10} \frac{H}{10} \binom{7-9}{7-9})}{3(\binom{8}{8} + \binom{10}{10})} \right) + \left( \binom{7}{7} \binom{9}{9} (\binom{7}{7} - \binom{9}{9}) (\binom{7}{7} + \binom{8}{8} - \binom{7-9}{7-9}) \right) + \\
 & \left( \frac{(\binom{7}{7} \binom{9}{9})^2 + (\binom{7}{7} - \binom{9}{9}) (\binom{7}{7} \binom{11}{11}) + (\binom{11}{11})^2}{3(2\binom{7}{7} \binom{9}{9} \binom{11}{11})} \right) + \\
 & \left( \binom{H}{H} \binom{10}{10} (\binom{7}{7} + \binom{8}{8} + \binom{9}{9} + 2\binom{10}{10} + \binom{11}{11} + \binom{12}{12}) + \binom{H}{H} \binom{10}{10} (\binom{7}{7} - \binom{9}{9}) + \binom{7-9}{7-9} - \binom{7-9}{7-9} \right) \\
 & \frac{(\binom{10}{10} + \binom{7}{7}) (\binom{8}{8} + \binom{9}{9})}{2} - 1.2 \left( \binom{10}{10} \binom{7}{7} (\binom{7}{7} + \binom{8}{8} + 2\binom{9}{9} + 2\binom{10}{10} + \binom{11}{11} + \binom{12}{12}) + \right. \\
 & \left. \binom{H}{H} \binom{10}{10} (\binom{7}{7} - \binom{9}{9}) + \frac{(\binom{7}{7} - \binom{9}{9})}{6} - \binom{7-9}{7-9} \right) + \binom{7}{7} - \binom{7-9}{7-9} \leq 0 \quad (41)
 \end{aligned}$$

Bağıntı 39'daki genel formülden  $\diamond_6(x)$  tasarım değişkenleri cinsinden türetilerek Bağıntı 42'de verilmiştir.



$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{3} \frac{4H}{3} \quad H \\
 \diamond_6(x) = & 1.6 \left( \binom{6}{5} \cdot \binom{2}{2} - \binom{10}{10} \cdot \binom{2}{2} \left( \binom{10}{10} + \binom{2}{2} \right) \binom{4}{4} - \right. \\
 & \left. \left( \binom{10}{10}^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \binom{2}{2}^2 \right) \right) + \\
 & \frac{\left( \binom{10}{10}^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \binom{2}{2}^2 \right) \left( \binom{2}{2}^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \binom{2}{2}^2 \right) + \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right)}{3 \left( \binom{10}{10} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} \right) + \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right)} \\
 & \frac{\left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{4}{4} - \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{7}{7}^2 + \binom{9}{9} \cdot \binom{4}{4} + \binom{8}{8}^2 \right)}{\left( \binom{2}{2} \right)^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \left( \binom{2}{2} \right)^2} \right) + \\
 & \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \right) + \\
 & \frac{\left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{4}{4} + \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \right) + \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \left( \binom{2}{2}^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \binom{2}{2}^2 \right) \right)}{\left( \binom{2}{2} \right)^2 + \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} + \left( \binom{2}{2} \right)^2} \\
 & \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} + \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} \right) \right) + \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \left( \binom{2}{2} \right) \right) \right) + \\
 & \frac{10}{2} \cdot \binom{3}{3} \left( \binom{5}{5} - \binom{2}{2} \right) \left( \binom{3}{3} + \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \frac{3}{2} \left( \binom{5}{5} - \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \\
 & \frac{\left( \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} \right) + \left( \binom{2}{2} \cdot \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right)}{\left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right)^2 + \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right)^2} \\
 & \left. \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \right) + \frac{H}{\binom{10}{10}} \cdot \binom{2}{2} \left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} + 2 \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right) \\
 & \frac{H}{10} \\
 & 2 \binom{2}{2} + 2 \binom{2}{2} + 2 \binom{2}{2} + 2 \binom{2}{2} + 2 \binom{2}{2} + \binom{2}{2} + \binom{2}{2} + \binom{2}{2} + \left( \binom{2}{2} \right) \binom{2}{2} \left( \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \left( 2 \binom{2}{2} - \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) \\
 & \frac{\binom{2}{2} + \binom{2}{2}}{2} \frac{\left( \binom{2}{2} + \binom{2}{2} \right)^2}{6} - \\
 & \binom{2}{2} + \left( 2 \binom{2}{2} - \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right) + \left( 2 \binom{2}{2} - \binom{2}{2} - \binom{2}{2} \right)
 \end{aligned}$$

)



$$1.2 \left( \frac{H}{10} \cdot \left( \frac{V_1}{2} + \frac{V_2}{2} + \frac{V_3}{2} + \frac{V_4}{2} + \frac{V_5}{2} + \frac{V_6}{2} + \frac{V_7}{2} + \frac{V_8}{2} + \frac{V_9}{2} + \frac{V_{10}}{2} + \frac{V_{11}}{2} + \frac{V_{12}}{2} \right) + \right)$$

$$\left( \frac{H}{10} \cdot \left( \frac{V_1}{2} \left( \frac{V_1}{2} - \frac{V_2}{2} \right) + \left( \frac{V_2}{2} - \frac{V_3}{2} - \frac{V_4}{2} \right) + \left( \frac{V_3}{2} - \frac{V_4}{2} - \frac{V_5}{2} \right) + \left( \frac{V_4}{2} - \frac{V_5}{2} - \frac{V_6}{2} \right) + \left( \frac{V_5}{2} - \frac{V_6}{2} - \frac{V_7}{2} \right) + \left( \frac{V_6}{2} - \frac{V_7}{2} - \frac{V_8}{2} \right) + \left( \frac{V_7}{2} - \frac{V_8}{2} - \frac{V_9}{2} \right) + \left( \frac{V_8}{2} - \frac{V_9}{2} - \frac{V_{10}}{2} \right) + \left( \frac{V_9}{2} - \frac{V_{10}}{2} - \frac{V_{11}}{2} \right) + \left( \frac{V_{10}}{2} - \frac{V_{11}}{2} - \frac{V_{12}}{2} \right) \right) \right) /$$

$$\left( \frac{V_1}{2} + \frac{V_2}{2} \right) - \frac{V_1}{2} \leq 0 \quad (43)$$

### 2.3.6. Kesme Tahkiki Kısıtı

Bir beton ağırlık duvarının farklı gövde bölümlerinin kesme kapasitesi, ACI 318-99'a [14] göre hesaplanabilir. Entriye donatısı olmadığından, gövde betonu kesme kuvvetine dayanacak yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. Kesitin kesme kapasitesi:

$$\frac{V_n}{b} = \frac{1}{6} \cdot \phi \cdot \sqrt{f'_c} \cdot d \quad (44)$$

Burada;  
 $V_n/b$ : kesitin kesme kapasitesi,  
 $\phi$ : gövde genişliği,  
 $d$ : faydalı yükseklik,

$f'_c$ : betonun karakteristik basınç dayanımıdır.

ACI 318-99 [14], yük bileşimini kullanır, bu nedenle hesaplanan yanal toprak basıncı, yük faktörleriyle çarpılmalıdır. Toprak basıncı ve ölü yük, yük faktörleri sırasıyla 1,6 ve 1,2'dir.

Aşağıdaki koşulun yerine getirilmesi için gövde yeterli kalınlığa sahip olmalıdır.

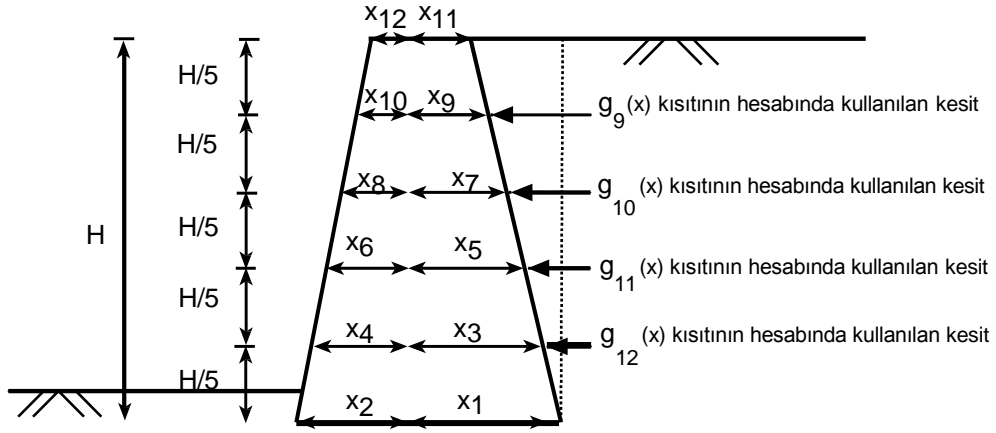
$$\frac{V_u}{b} \leq 0.5 \phi V_n / b \quad (45)$$

$V_u/b$  : tasarım kesme kuvveti,

$\phi$  : direnç faktörüdür.

Kesme tahkiki kısıtının hesabında kullanılan kesitler Şekil 21'de gösterilmiştir.





Şekil 21. Kesme tahkiki kısıtının hesabında kullanılan kesitler

Sonuç olarak, üstten alta dört farklı bölüm için aşağıdaki kısıtlar elde edilmiştir.

$$g_9(x) = 1.6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{H^2}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{0.85}{6} \cdot (x_9 + x_{10}) \cdot \sqrt{x_9} \leq 0 \quad (46)$$

$$g_{10}(x) = 1.6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{2H}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{0.85}{6} \cdot (x_7 + x_8) \cdot \sqrt{x_7} \leq 0 \quad (47)$$

$$g_{11}(x) = 1.6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{3H}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{0.85}{6} \cdot (x_5 + x_6) \cdot \sqrt{x_5} \leq 0 \quad (48)$$

$$g_{12}(x) = 1.6 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{4H}{5} \cdot \frac{1}{6} \cdot \frac{0.85}{6} \cdot (x_3 + x_4) \cdot \sqrt{x_3} \leq 0 \quad (49)$$

### 2.3.7. Tasarım Kısıtı

Beton ağırlık duvarının üst kısmının minimum genişliğinin 0,3 m olması önerilir [34]. Bununla birlikte, bu husus, bu çalışmanın amacı ile çelişmektedir, yani optimum

kesitin ana hatlarını görmek için bu husus dikkate alınmamıştır. Ancak  $\epsilon$  boyutları sıfırdan büyük olmalıdır. Bu nedenle, Bağıntı 50'deki kısıt tanımlanmıştır.



$$\begin{array}{cccccccccccccccc}
-1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array} \cdot \begin{array}{c} \diamond \\ \diamond \\ \diamond \\ \diamond \\ \diamond \\ \diamond \end{array} \leq \begin{array}{c} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \quad (50)$$

$$\begin{array}{cccccccccccccccc}
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & \diamond & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & \diamond & 0 & 0 \\
[0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1] & [\diamond] & [0]
\end{array}$$

## 2.4. Optimizasyon Problemi

Kısıtlı doğrusal olmayan optimizasyon problemi aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\text{minimize } f(\mathbf{x}), \mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_{12}) \quad (51)$$

$$g_j(\mathbf{x}) \leq 0, \quad j = 1, 2, 3, \dots, 12 \quad (52)$$

Burada  $f(\mathbf{x})$  ve  $g_j(\mathbf{x})$  süreklidir ve sürekli ikinci kısmi türevlere sahiptir ve kısıtlarla tanımlanan çözüm uzayı boş küme değildir.

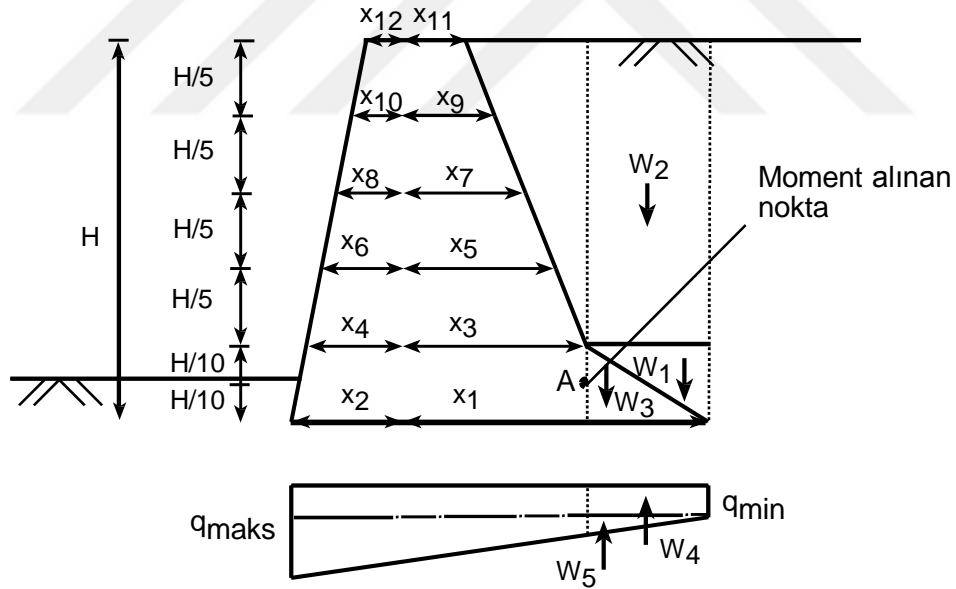
### 2.4.1. İç Nokta (Interior-Point) Metodu

Çoğu doğrusal programlama probleminin, doğrusal olmayan eşitlikler ve doğrusal olmayan optimizasyon problemleri için geliştirilen formüller ve algoritmalar yardımıyla çözülebildiği 1980'lerde keşfedilmiştir. 1990'ların başındaysa iç bölge yöntemlerinin bir alt sınıfı olan primal-dual yöntemler, büyük problemlerin çözümünde ve pratik uygulamalarda simplex yönteminin yerini almaya başlamıştır. İç bölge yöntemleri büyük veya küçük eşitsizlik kısıtlarını kesin olarak sağladığı için iç bölge yöntemleri olarak adlandırılırlar. İç bölge yöntemleri problemin çözümünü asla sınırda bulmaz, sınıra iç veya dış bölgeden sadece limitten yaklaşır. Simplex yöntemi ise geometrik olarak uygun çözüm bölgesinin sınırında çalışır ve çözüm bölgesinin her köşesini optimal çözüme ulaşana kadar

test eder . Kısıtlı bir optimizasyon problemi, iç bölge yönteminin bir alt sınıfı olan primal-dual iç bölge yöntemi adı verilen bir yöntemle çözülebilir. Primal-dual iç bölge yönteminde primal ve dual değişkenlere eşit önem verilir ve iç bölge yöntemi olduğu için yinelemeler uygun çözüm bölgesinin içinde yer alır. Hesaplamalar göstermiştir ki primal-dual iç bölge yöntemi doğrusal, doğrusal olmayan ve konveks kuadratik optimizasyon problemlerinde çok iyi sonuçlar verir [17].

## 2.5. Ampatmanda Kesme ve Eğilme Kontrolü

Optimizasyon çalışmasına bir kısıt olarak girilmemesine rağmen ampatmanda kesme ve eğilme kontrolü yapılmıştır. Buradaki amaç betonun oluşacak narin kesitlerde kesmeyi ve eğilmeyi karşılayacak basınç ve çekme dayanımına sahip olup olmadığının araştırılmasıdır.



Şekil 22. Ampatmanda kesme ve eğilme hesabında kullanılan yükler

1

—

$$\sigma = 1.6[\sigma_1 + \sigma_2 - (\sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5)] - 2(0.85) \cdot (1/6) \cdot (H/5) \leq 0 \quad (53)$$

$$\sqrt{\sigma}$$

Burada;

K: ampatmanda kesme kontrolü,

$\alpha_{2,3,4,5}$ : seçili bölgelerin ağırlıklarıdır.

$$\alpha_2 = (\alpha_1 \alpha_3) (H/5) (1/2) \alpha_4 \quad (54)$$

$$\alpha_3 = (\alpha_1 \alpha_3) (4H/5) \alpha_4 \quad (55)$$

$$\alpha_4 = (\alpha_1 \alpha_3) (H/5) (1/2) \alpha_5 \quad (56)$$

$$\alpha_4 = \sigma_{\alpha_1 \alpha_3} (\alpha_1 - \alpha_3) \quad (57)$$

$$\alpha_5 = (\sigma_{\alpha_1 \alpha_3} - \sigma_{\alpha_2 \alpha_4}) (\alpha_1 - \alpha_3) (1/2) \quad (58)$$

$$\alpha_2 = 1.6 \frac{\alpha_4}{(H/5)_6^2} - \alpha_{\alpha_1 \alpha_3} \leq 0 \quad (59)$$

Burada;

E: ampatmanda eğilme kontrolü,

$\alpha_6$ : A noktasına göre momenttir.

$$\alpha_6 = (\alpha_1 - \alpha_3 - ((\alpha_1 - \alpha_3)/3)) \alpha_1 + ((\alpha_1 - \alpha_3)/2) \alpha_2 + ((\alpha_1 - \alpha_3)/3) \alpha_3 - ((\alpha_1 -$$

$$\alpha_3)/2) \alpha_4 - ((\alpha_1 - \alpha_3)/3) \alpha_5 \quad (60)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Optimizasyon Hesabında Kullanılan Tasarım Bilgileri

Duvarların ve zeminlerin çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri optimum alanı elde etmek için optimizasyon problemine tanımlanmıştır. Optimizasyon problemine atanan parametreler Tablo 6'da verilmiştir. Duvarların yükseklikleri 2.0, 3.0 ve 4.0 metre olarak seçilmiştir. Çünkü ağırlık istinat duvarlarında tuğla duvar için 4 m, beton duvar için 3 m'den daha fazla yükseklikler ekonomik olmamaktadır [3]. Diğer parametreler beton ve kohezyonsuz zemin için tipik değerler olarak seçilmiştir. Bowles'a [35] göre, killer için içsel sürtünme açısı  $20-42^{\circ}$  (konsolidasyonlu-drenajlı) arasında değişirken, sıkı durumdaki kuru kumlarda  $35-46^{\circ}$  (konsolidasyonsuz) arasında değişmektedir. Bu sebeple, içsel sürtünme açısı her duvar için sıklıkla karşılaşılan 15, 25 ve 35 derece olarak hesaplarda kullanılmıştır.

Tablo 6. Tasarım örnekleri için giriş parametreleri

Giriş Parametreleri	Birim	Sembol	Değer
Duvarın yüksekliği	metre	H	2.0, 3.0, 4.0
İçsel sürtünme açısı	derece	$\phi$	15, 25, 35
Duvar tabanı ile temel zemini arasındaki sürtünme katsayısı	derece	$\frac{2\phi}{3}$	
Toprağın birim ağırlığı	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	16.0
Betonun tasarım çekme dayanımı	Mpa	$f_{ct}$	0.9
Betonun karakteristik basınç dayanımı	Mpa	$f_{cd}$	16.0
Betonun birim ağırlığı	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_c$	25.0
Devrilmeye karşı güvenlik faktörü	-	FS <sub>o</sub>	2.0
Kaymaya karşı güvenlik faktörü	-	$\frac{2}{3}$	1.5
Taşıma kapasitesi arızasına karşı güvenlik faktörü	-	$\frac{2}{3}$	3.0

#### 3.2. 2 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı

İlk örnek 2 m yüksekliğinde duvardır ve optimizasyon çalışmasından elde edilen

duvarın  $\frac{2}{3}$  değerleri Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 2 metre duvar için tasarım değişkenleri

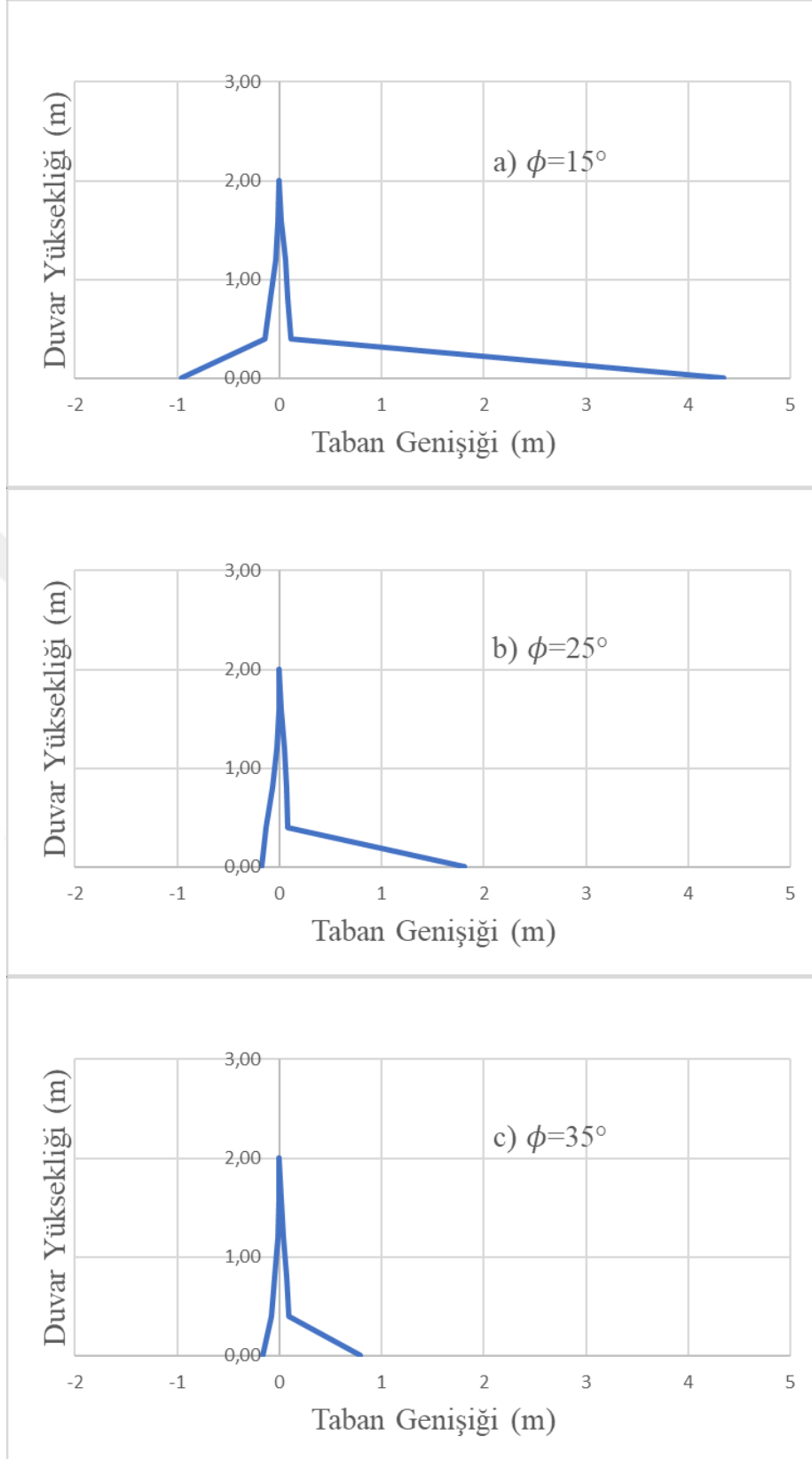
Tasarım Değişkenleri	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
1	4.3446	1.8133	0.7917
2	0.9622	0.1773	0.1663
3	0.1118	0.0818	0.0905
4	0.1426	0.1292	0.0822
5	0.0813	0.0697	0.0648
6	0.0851	0.0685	0.0482
7	0.0572	0.0480	0.0420
8	0.0342	0.0279	0.0201
9	0.0216	0.0180	0.0152
10	0.0109	0.0090	0.0069
11	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000

15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında duvarın kesit alanı sırasıyla 1.28 m<sup>2</sup>

(Şekil 23 (a)), 0.58 m<sup>2</sup> (Şekil 23 (b)) ve 0.34 m<sup>2</sup>dir (Şekil 23 (c)) ve bu da amaç fonksiyonunun bir sonucudur. Kesitin ilk göze çarpan özelliği, duvarın dibinde bir ayak gibi geniş bir kısmın oluşmasıdır.

İçsel sürtünme açısının 15° olduğu (Şekil 23 (a)) optimum duvarın kesit alanı ile 25° olduğu (Şekil 23 (b)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %54.73'lük bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının 15° olduğu (Şekil 23 (a)) optimum duvarın kesit alanı ile 35° olduğu (Şekil 23 (c)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %73.46'lık bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının 25° olduğu (Şekil 23 (b)) optimum duvarın kesit alanı ile 35° olduğu (Şekil 23 (c)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %41.35'lik bir azalma olmuştur.

İçsel sürtünmenin  $\phi=15^\circ$  olduğu Şekil 23 (a)'da duvarın temel genişliği (1 + 2) 5.31 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=25^\circ$  olduğu Şekil 23 (b)'de duvarın temel genişliği (1 + 2) 1.99 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=35^\circ$  olduğu Şekil 23 (c) de duvarın temel genişliği (1 + 2) 0.96 metredir. Bu da içsel sürtünme açısı arttıkça duvarın temelinin kesitinin önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Bu sonuç içsel sürtünme açısı arttıkça daha kendini tutabilen zeminden kaynaklanmaktadır.



Şekil 23. 2 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti; (a)

$\phi=15^\circ$ , (b)  $\phi=25^\circ$ , (c)  $\phi=35^\circ$



Sonuçlardan bütün içsel sürtünme açılarında optimum değerleri belirleyen aktif kısıtın kayma ve eğilme olduğu görülmektedir (Tablo 8). Aynı zamanda içsel sürtünme açısı  $35^\circ$  iken tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı da aktif bir kısıttır. Fakat içsel sürtünme açısı  $25^\circ$  ve  $15^\circ$  değerlerine düştüğünde tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı inaktif olmuş, yerine geleneksel yöntemle göre taşıma kapasitesi kısıtı aktif olmuştur. Devrilme ve kesme tahkikinden kaynaklanan kısıtlar inaktiftir.

Tablo 8.  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında 2 metre duvarın optimum değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları

Kısıtlar	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
$\phi_1(x)$	-436.1428	-48.7664	-3.7760
$\phi_2(x)$	0.0000	0.0000	0.0000
$\phi_3(x)$	-37.0425	-21.3432	-0.0001
$\phi_4(x)$	0.0000	-0.0001	-53.5262
$\phi_5(x)$	-0.0365	-0.0439	-0.0539
$\phi_6(x)$	-0.0132	-0.0158	-0.0195
$\phi_7(x)$	-0.0073	-0.0088	-0.0108
$\phi_8(x)$	-0.0048	-0.0058	-0.0072
$\phi_9(x)$	-8.0179	-6.8270	-5.7028
$\phi_{10}(x)$	-21.0847	-18.1873	-15.3662
$\phi_{11}(x)$	-36.3142	-31.6870	-27.0351
$\phi_{12}(x)$	-52.8124	-46.5083	-40.0722

### 3.3. 3 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı

İkinci örnek 3 m yüksekliğinde bir istinat duvarıdır ve optimizasyon çalışmasından elde edilen duvarın değerleri Tablo 9'da verilmiştir.

$15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında duvarın kesit alanı ki bu optimizasyon probleminde amaç fonksiyonunun sonuçları sırasıyla 2.98 (Şekil 24 (a)), 1.39 (Şekil 24 (b)) ve 0.83 (Şekil 24 (c))'dir (Şekil 24 (c)). Duvarın enine kesiti çok dar bir üst sahiptir, tepede neredeyse sıfır ve ayak gibi geniş bir alt kısım vardır. Geniş alt kısım, özellikle devrilme ve kayma kontrolleri için duvarın tabanı üzerinde tutulan toprak ile duvarın sağlamlığına katkıda bulunur.

İçsel sürtünme açısının  $15^\circ$  olduğu (Şekil 24 (a)) optimum duvarın kesit alanı ile  $25^\circ$  olduğu (Şekil 24 (b)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında

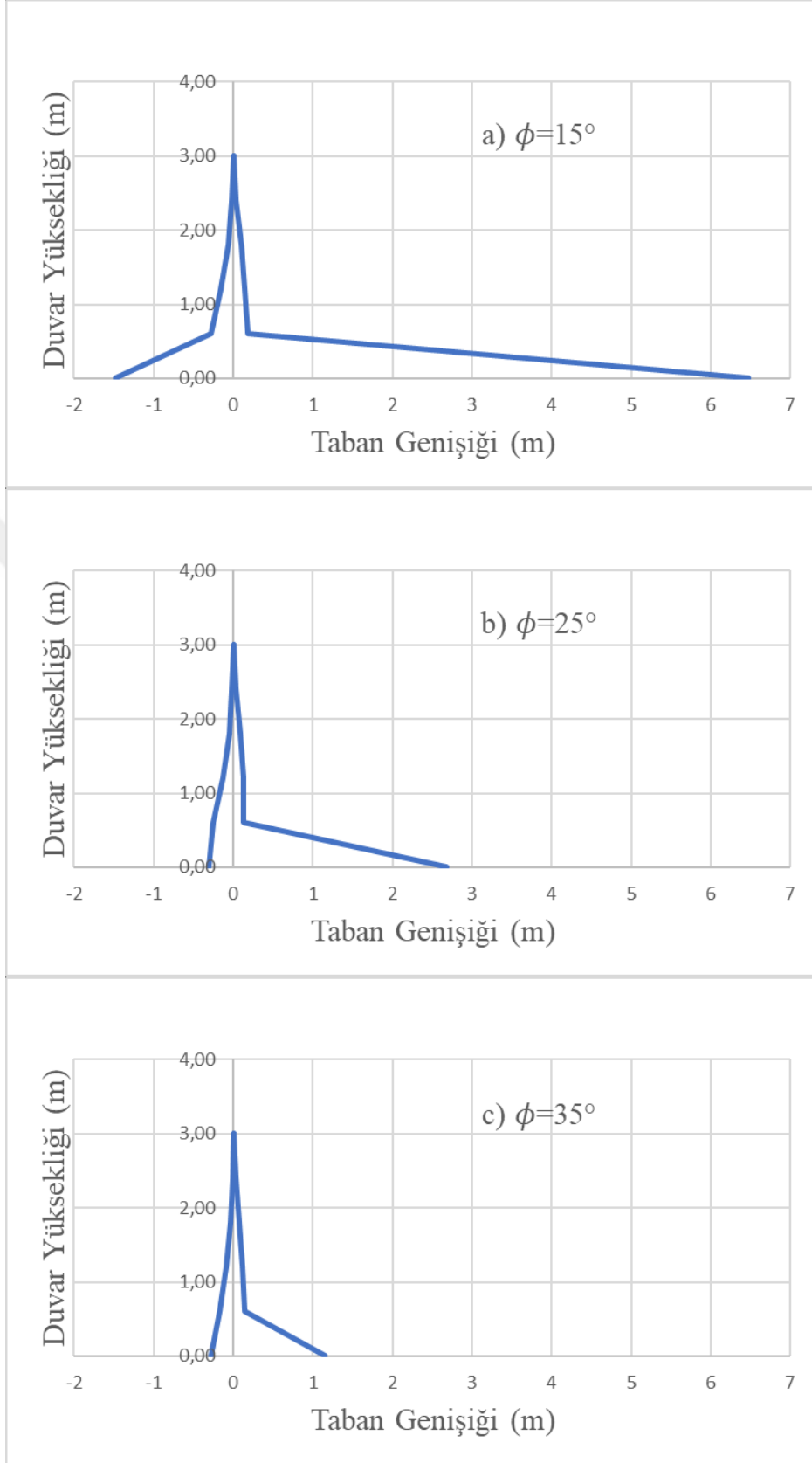
%53.44'lük bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının  $15^\circ$  olduğu (Şekil 24 (a))

optimum duvarın kesit alanı ile  $35^\circ$  olduğu (Şekil 24 (c)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %72.05'lik bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının  $25^\circ$  olduğu (Şekil 24 (b)) optimum duvarın kesit alanı ile  $35^\circ$  olduğu (Şekil 24 (c)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %39.97'lik bir azalma olmuştur.

Tablo 9.  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında 3 metre duvar için tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
1	6.4710	2.6827	1.1573
2	1.4876	0.3017	0.2770
3	0.1786	0.1355	0.1453
4	0.2817	0.2463	0.1670
5	0.1462	0.1247	0.1144
6	0.1562	0.1264	0.0910
7	0.1038	0.0870	0.0754
8	0.0630	0.0515	0.0379
9	0.0396	0.0330	0.0278
10	0.0200	0.0164	0.0126
11	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000

İçsel sürtünmenin  $\phi=15^\circ$  olduğu Şekil 24 (a)'da duvarın temel genişliği ( $\diamond + \diamond$ ) 7.96 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=25^\circ$  olduğu Şekil 24 (b)'de duvarın temel genişliği ( $\diamond + \diamond$ ) 2.98 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=35^\circ$  olduğu Şekil 24 (c)'de duvarın temel genişliği ( $\diamond + \diamond$ ) 1.43 metredir. Tıpkı 2 metrelik duvarda olduğu gibi içsel sürtünme açısı arttıkça 3 metrelik duvarın da taban genişliği azalmıştır fakat duvarın boyunun 3 metreye çıkmasına bağlı olarak 2 metrelik duvara göre gövde kalınlıklarında ve özellikle taban kalınlıklarında artmalar olmuştur.



Şekil 24. 3 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti; (a)

$\phi=15^\circ$ , (b)  $\phi=25^\circ$ , (c)  $\phi=35^\circ$

Kayma ve eğilme tahkiklerinden elde edilen kısıtlardaki değerler her içsel sürtünme açısında neredeyse sifıra eşittir. Diğer bir deyişle, bu kısıtlar aktiftir (Tablo 10). 2 metre yükseklikteki duvarda olduğu gibi içsel sürtünme açısı  $35^\circ$  iken tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı da aktif bir kısıttır. Yine 2 metrelik duvarda olduğu gibi içsel sürtünme açısı  $25^\circ$  ve  $15^\circ$  değerlerine düştüğünde tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı inaktif olmuş, yerine geleneksel yöntemle göre taşıma kapasitesi kısıtı aktif olmuştur. Devrilme ve kesme tahkikinden kaynaklanan kısıtlar inaktiftir.

Tablo 10.  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında 3 metre duvarın optimum değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları

Kısıtlar	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
$f_1(x)$	-1471.7976	-164.5881	-12.6830
$f_2(x)$	0.0000	0.0000	0.0000
$f_3(x)$	-55.5902	-32.0994	-0.0001
$f_4(x)$	0.0000	0.0000	-79.7829
$f_5(x)$	-0.0135	-0.0163	-0.0199
$f_6(x)$	-0.0049	-0.0059	-0.0073
$f_7(x)$	-0.0027	-0.0033	-0.0041
$f_8(x)$	-0.0018	-0.0022	-0.0027
$f_9(x)$	-14.1779	-12.1540	-10.2116
$f_{10}(x)$	-36.4293	-31.7793	-27.1045
$f_{11}(x)$	-61.2912	-54.3444	-46.9789
$f_{12}(x)$	-87.0497	-78.3114	-68.5766

#### 3.4. 4 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Dayanma Duvarı

4 metre yüksekliğindeki istinat duvarı üçüncü örnek olarak ele alınmıştır ve optimizasyon çalışmasından elde edilen duvarın değerleri Tablo 11’de verilmiştir.

$15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında duvarın kesit alanını veren amaç fonksiyonunun sonuçları sırasıyla  $5.45$  (Şekil 25 (a)),  $2.59$  (Şekil 25 (b)) ve

$1.58$  (Şekil 25 (c))’dir. Duvarın enine kesiti, aynı içsel sürtünme açısı hesaplarında kullanılarak elde edilen yüksekliği 2 ve 3 m olan duvarlara çok benzemektedir.

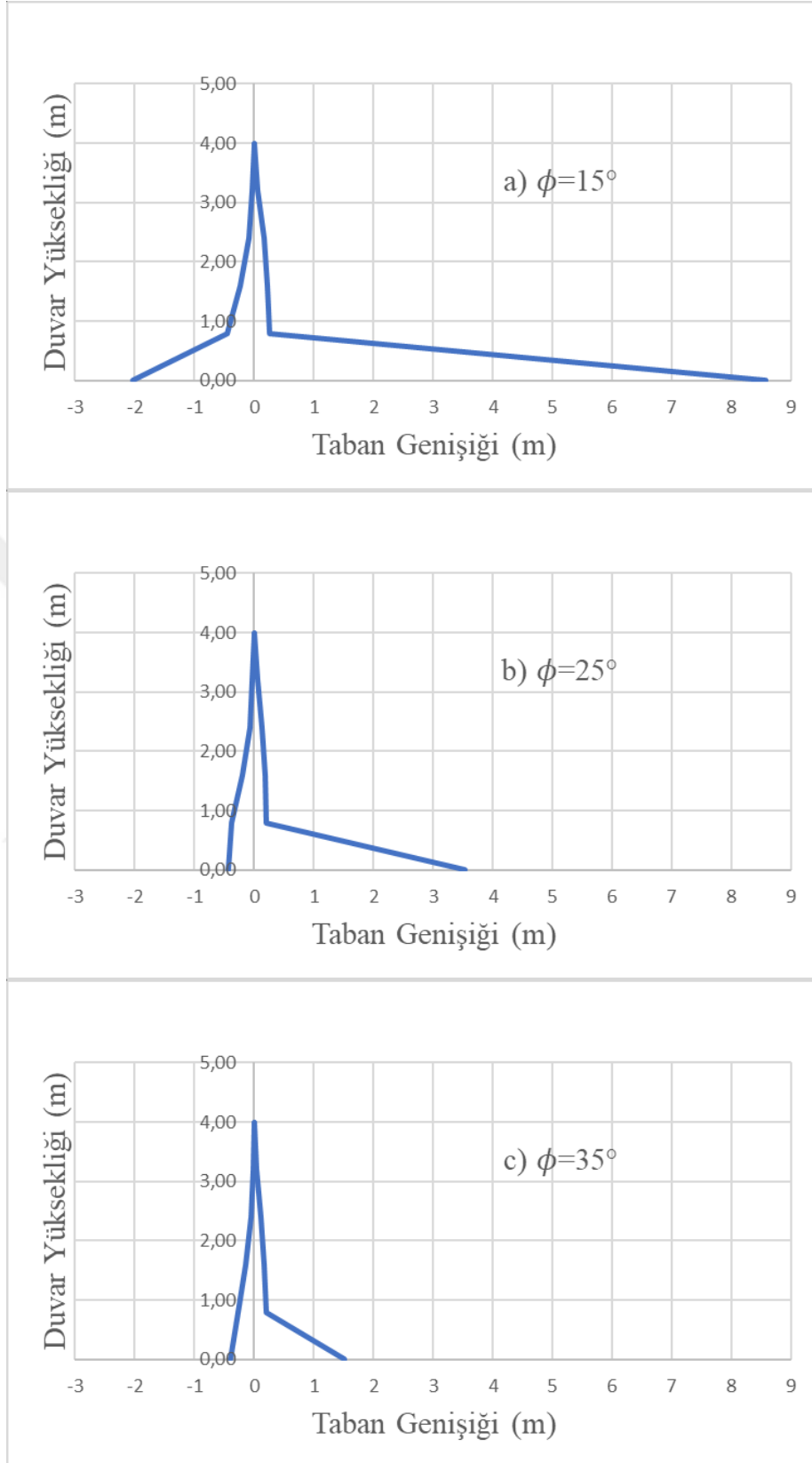
İçsel sürtünme açısının  $15^\circ$  olduğu (Şekil 25 (a)) optimum duvarın kesit alanı ile  $25^\circ$  olduğu (Şekil 25 (b)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %52.45’lik bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının  $15^\circ$  olduğu (Şekil 25 (a)) optimum duvarın kesit alanı ile  $35^\circ$  olduğu (Şekil 25 (c)) optimum duvarın kesit alanını

kıyasladığımızda kesit alanında %70.98'lik bir azalma olmuştur. İçsel sürtünme açısının  $25^\circ$  olduğu (Şekil 25 (b)) optimum duvarın kesit alanı ile  $35^\circ$  olduğu (Şekil 25 (c)) optimum duvarın kesit alanını kıyasladığımızda kesit alanında %38.96'lık bir azalma olmuştur.

Tablo 11.  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  içsel sürtünme açılarında 4 metre duvar için tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
◆ <sub>1</sub>	8.5783	3.5364	1.5102
◆ <sub>2</sub>	2.0310	0.4410	0.3990
◆ <sub>3</sub>	0.2514	0.1947	0.2044
◆ <sub>4</sub>	0.4468	0.3847	0.2695
◆ <sub>5</sub>	0.2209	0.1877	0.1707
◆ <sub>6</sub>	0.2397	0.1947	0.1422
◆ <sub>7</sub>	0.1581	0.1324	0.1140
◆ <sub>8</sub>	0.0970	0.0794	0.0592
◆ <sub>9</sub>	0.0606	0.0506	0.0424
◆ <sub>10</sub>	0.0308	0.0253	0.0196
◆ <sub>11</sub>	0.0000	0.0000	0.0000
◆ <sub>12</sub>	0.0000	0.0000	0.0000

İçsel sürtünmenin  $\phi=15^\circ$  olduğu Şekil 25 (a)'da duvarın temel genişliği (◆<sub>1</sub> + ◆<sub>2</sub>) 10.61 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=25^\circ$  olduğu Şekil 25 (b)'de duvarın temel genişliği (◆<sub>1</sub> + ◆<sub>2</sub>) 3.98 metredir. İçsel sürtünmenin  $\phi=35^\circ$  olduğu Şekil 25 (c)'de duvarın temel genişliği (◆<sub>1</sub> + ◆<sub>2</sub>) 1.91 metredir. 4 metrelik duvarda da 2 ve 3 metrelik duvarda olduğu gibi içsel sürtünme açısının artmasına bağlı olarak zeminin kendini tutmasıyla gövde ve özellikle taban genişliklerinde azalmalar olmuştur. Fakat duvarın boyunun artıp 4 metreye çıkmasının sonucu olarak aynı içsel sürtünme açısıyla kıyasladığımızda 2 ve 3 metrelik duvarlara göre taban ve gövde kalınlıklarında artmalar meydana gelmiştir.



Şekil 25. 4 m yüksekliğe sahip ağırlık istinat duvarının optimum kesiti; (a)

$\phi=15^\circ$ , (b)  $\phi=25^\circ$ , (c)  $\phi=35^\circ$

4 metrelik duvarın bütün içsel sürtünme açısı değerlerinde kayma (2) tahkiki kısıtından elde edilen değerler sifıra eşittir. Eğilme tahkiki kısıtından (3) (4) (5) (6) (7) ve (8) elde edilen değerler, optimum (9) de neredeyse sifır değerindedir. bütün içsel sürtünme açılarında aktif kısıtlardır (Tablo 12). 2 ve 3 metre yükseklikteki duvarlarda olduğu gibi içsel sürtünme açısı 35° iken tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı da aktif bir kısıttır. Yine 2 ve 3 metrelik duvarlarda olduğu gibi içsel

sürtünme açısı 25° ve 15° değerlerine düştüğünde tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması kısıtı inaktif olmuş, yerine geleneksel yöntemle göre taşıma kapasitesi kısıtı aktif olmuştur.

Devrilme ve kesme tahkiklerinden kaynaklanan kısıtlar inaktiftir.

Tablo 12. 15°, 25° ve 35° içsel sürtünme açılarında 4 metre duvarın optimum (9) değerlerinin kısıt fonksiyonu sonuçları

Kısıtlar	$\phi=15^\circ$	$\phi=25^\circ$	$\phi=35^\circ$
(1)(x)	-3488.3204	-390.1378	-29.9353
(2)(x)	0.0000	0.0000	0.0000
(3)(x)	-74.1514	-42.8977	0.0000
(4)(x)	0.0000	0.0000	-105.7781
(5)(x)	-0.0067	-0.0081	-0.0099
(6)(x)	-0.0025	-0.0030	-0.0036
(7)(x)	-0.0014	-0.0017	-0.0020
(8)(x)	-0.0009	-0.0011	-0.0014
(9)(x)	-21.0994	-18.1985	-15.3690
(10)(x)	-53.0265	-46.7523	-40.2244
(11)(x)	-87.1403	-78.4933	-68.7127
(12)(x)	-120.7548	-111.0315	-98.8157

(2)(x) kısıtı, yukarıda bahsedilen tüm ağırlık duvarları için sifıra eşittir. Böylece kayma tahkiki kısıtının tüm duvarlar için aktif olduğu söylenebilir. Ek olarak, eğilme tahkiki kısıtından elde edilen kısıtlar da duvarlar için neredeyse sifıra eşittir. Bu nedenle, eğilme tahkiki kısıtı diğer aktif kısıt haline gelmiştir. Duvarların optimum enine kesitlerinin ortak bir özelliği, şerit temel gibi geniş bir alt kısma sahip olmasıdır. Ek olarak, eğilme tahkiki kısıtı, tabandan düzenli aralıklarla gövde kalınlıklarını belirler. Optimum enine kesitin genel hatları birbirine benzemektedir. Fakat içsel sürtünme açısı düştükçe

duvarın temelinin oluşturulan (2) ve özellikle (1)'de büyük bir artış gözlemlenmektedir ve bu da düşük bir içsel sürtünme açısına bağlı olarak yüksek bir yanal toprak basıncından kaynaklanmaktadır.

### 3.5. Normalize Edilmiş Duvar Genişlikleri

Duvarların optimum kesitleri birbirine benzemektedir. Bu yüzden duvarların her bir genişliği, duvarların yüksekliğine bölünerek her bir duvar genişliği için normalize edilmiş değerler bulunmuştur.

#### 3.5.1. İçsel Sürtünme açısı $45^\circ$ İçin Normalize Edilmiş Genişlikler

Optimizasyon problemi çözüldükten sonra içsel sürtünme açısı  $15^\circ$  olarak hesaplarda kullanılıp elde edilen optimum duvarların normalize edilmiş tasarım değişkenleri Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. İçsel sürtünme açısı  $15^\circ$  için normalize edilmiş tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkenleri	H=2 m	H=3 m	H=4 m
$\phi_1$	2.1723	2.157	2.1446
$\phi_2$	0.4811	0.4959	0.5078
$\phi_3$	0.0559	0.05953	0.0629
$\phi_4$	0.0713	0.0939	0.1117
$\phi_5$	0.0407	0.04873	0.0552
$\phi_6$	0.0426	0.05207	0.0599
$\phi_7$	0.0286	0.0346	0.0395
$\phi_8$	0.0171	0.021	0.0243
$\phi_9$	0.0108	0.0132	0.0152
$\phi_{10}$	0.0055	0.0067	0.0077

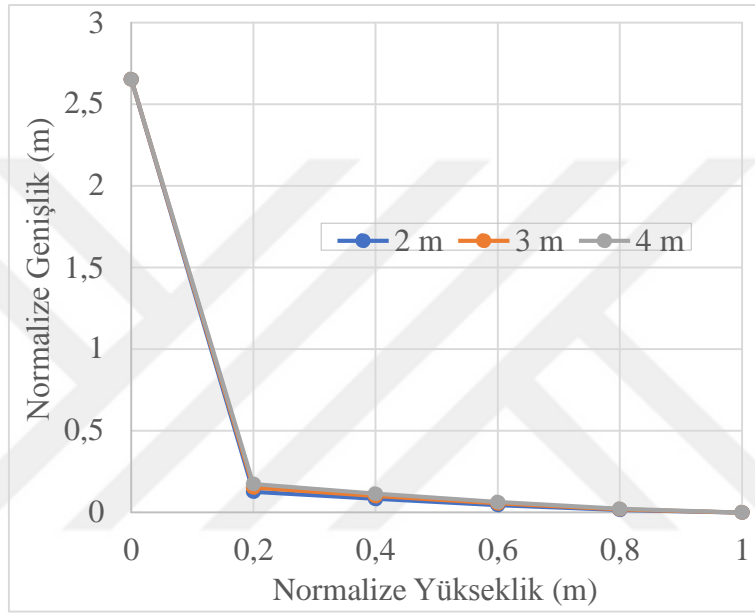
Tablo 13'den yararlanılarak her bir duvar için normalize edilmiş genişlikler Tablo 14'de verilmiştir.

Tablo 14'den yararlanılarak Şekil 26 elde edilmiştir. Şekil 26'da gözüktüğü gibi 2, 3 ve 4 metrelik duvarların normalize genişlikleri birbirine çok yakındır. Bu da duvarın yüksekliğine bağlı olarak genişliklerde bir artmanın söz konusu olduğunu ama genişlikler normalize edilip tüm duvar yükseklikleri 1 metreye düşürüldüğünde genişliklerin neredeyse aynı olduğunu göstermektedir.



Tablo 14. İçsel sürtünme açısı  $15^\circ$  için normalize edilmiş genişlikler

Duvar Genişlikleri	H=2 m	H=3 m	H=4 m
1+2	2.6529	2.6529	2.6523
3+4	0.1272	0.1534	0.1746
5+6	0.0832	0.1008	0.1152
7+8	0.0457	0.0556	0.0638
9+10	0.0163	0.0199	0.0229
11+12	0	0	0

Şekil 26. İçsel sürtünme açısı  $15^\circ$  için normalize edilmiş genişlikler

### 3.5.2. İçsel Sürtünme açısı $45^\circ$ için Normalize Edilmiş Genişlikler

Optimizasyon problemi çözümlenirken içsel sürtünme açısı  $25^\circ$  olarak hesaplarda kullanılıp elde edilen optimum duvarların normalize edilmiş tasarım değişkenleri Tablo 15'de verilmiştir.

Tablo 15'den yararlanılarak her bir duvar için normalize edilmiş genişlikler Tablo 16'da verilmiştir.

Tablo 16'dan yararlanılarak Şekil 27 elde edilmiştir. Şekil 27'de gözüktüğü gibi 2, 3 ve 4 metrelik duvarların normalize genişlikleri birbirine çok yakındır. İçsel sürtünme

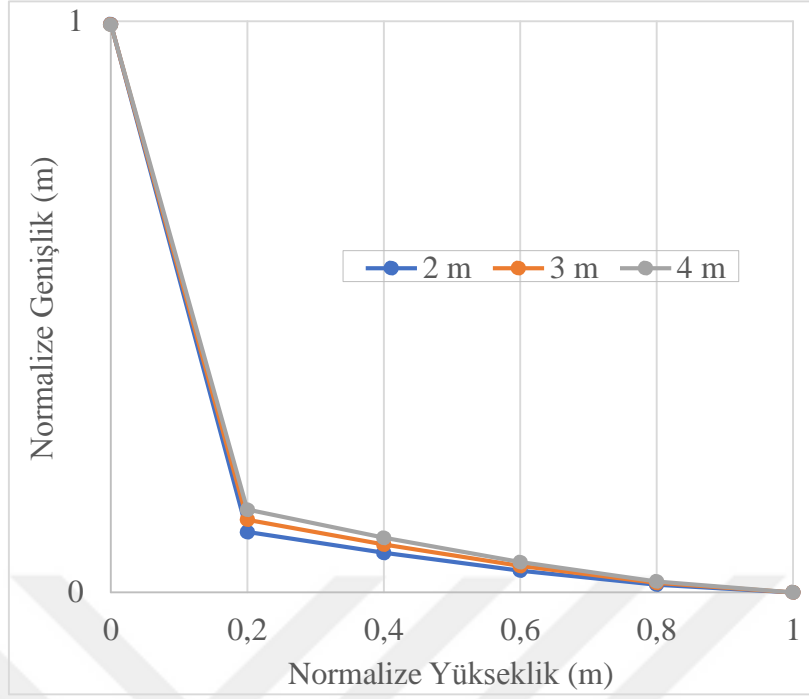
açısının  $15^\circ$  olduğu duvarlarda olduğu gibi duvarın yüksekliğine bağlı olarak genişliklerde bir artma söz konusudur ama genişlikler normalize edilip tüm duvar yükseklikleri 1 metreye düşürüldüğünde genişliklerin neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

Tablo 15. İçsel sürtünme açısı  $25^{\circ}$  için normalize edilmiş tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkenleri	H=2 m	H=3 m	H=4 m
$\phi_1$	0.9067	0.8942	0,8841
$\phi_2$	0.0887	0.1006	0,1103
$\phi_3$	0.0409	0.0452	0,0487
$\phi_4$	0.0646	0.0821	0,0962
$\phi_5$	0.0349	0.0416	0,0469
$\phi_6$	0.0343	0.0421	0,0489
$\phi_7$	0.024	0.029	0,0331
$\phi_8$	0.014	0.0172	0,0199
$\phi_9$	0.009	0.011	0,0127
$\phi_{10}$	0.0045	0.0055	0,0063
$\phi_{11}$	0	0	0
$\phi_{12}$	0	0	0

Tablo 16. İçsel sürtünme açısı  $25^{\circ}$  için normalize edilmiş genişlikler

Duvar Genişlikleri	H=2 m	H=3 m	H=4 m
$\phi_1 + \phi_2$	0.9953	0.9948	0.9944
$\phi_3 + \phi_4$	0.1055	0.1273	0.1449
$\phi_5 + \phi_6$	0.0691	0.0837	0.0956
$\phi_7 + \phi_8$	0.038	0.0462	0.053
$\phi_9 + \phi_{10}$	0.0135	0.0165	0.019
$\phi_{11} + \phi_{12}$	0	0	0



Şekil 27. İçsel sürtünme açısı 25° için normalize edilmiş genişlikler

### 3.5.3. İçsel Sürtünme açısı 35° İçin Normalize Edilmiş Genişlikler

Optimizasyon problemi çözülürken içsel sürtünme açısı 35° olarak hesaplarda kullanılıp elde edilen optimum duvarların normalize edilmiş tasarım değişkenleri Tablo 17'de verilmiştir.

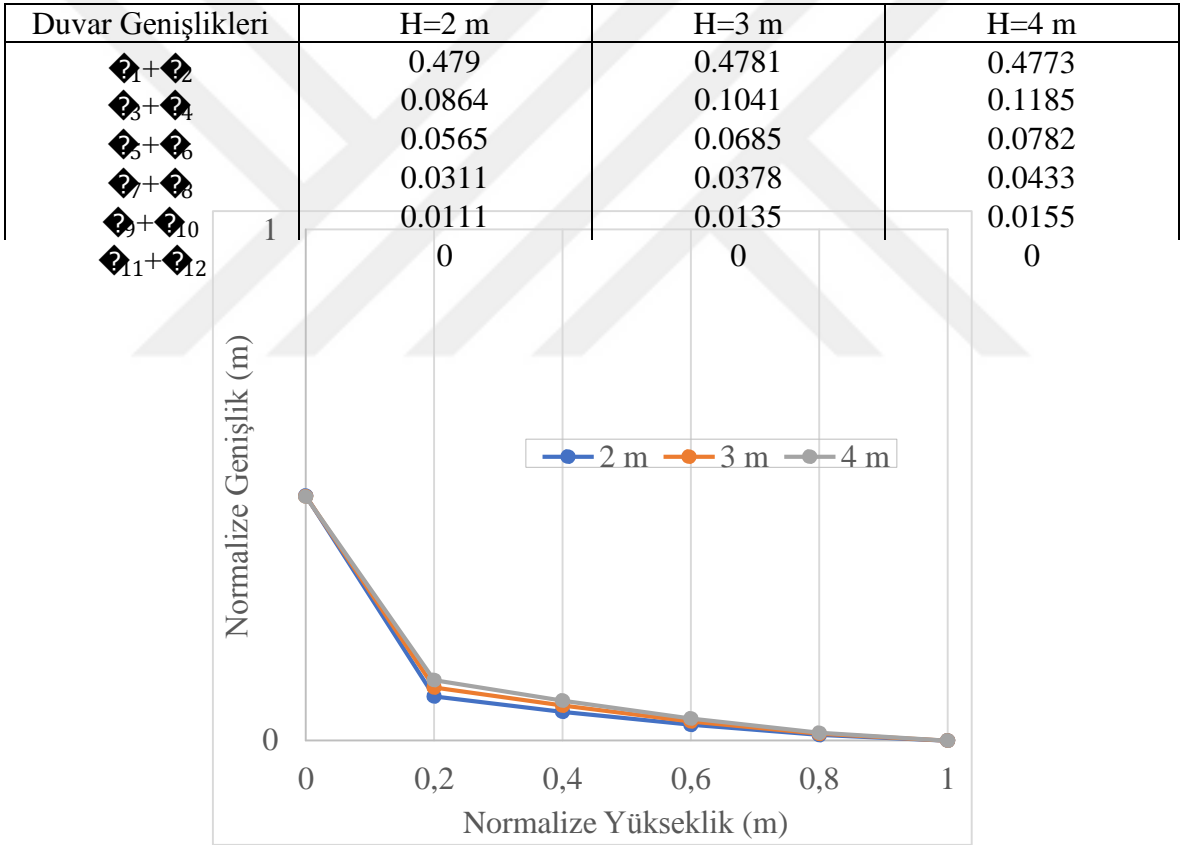
Tablo 17. İçsel sürtünme açısı 35° için normalize edilmiş tasarım değişkenleri

Tasarım Değişkenleri	H=2 m	H=3 m	H=4 m
?	0.3959	0.3858	0.3776
?	0.0832	0.0923	0.0998
?	0.0453	0.0484	0.0511
?	0.0411	0.0557	0.0674
?	0.0324	0.0381	0.0427
?	0.0241	0.0303	0.0356
?	0.021	0.0251	0.0285
?	0.0101	0.0126	0.0148
?	0.0076	0.0093	0.0106
?	0.0035	0.0042	0.0049
?	0	0	0
?	0	0	0

Tablo 17'den yararlanılarak her bir duvar için normalize edilmiş genişlikler Tablo 18'de verilmiştir.

Tablo 18'den yararlanılarak Şekil 28 elde edilmiştir. Şekil 28'de gözüktüğü gibi 2, 3 ve 4 metrelik duvarların normalize genişlikleri birbirine çok yakındır. İçsel sürtünme açısının  $15^\circ$  ve  $25^\circ$  olduğu duvarlarda olduğu gibi duvarın yüksekliğine bağlı genişliklerde bir artma söz konusudur ama genişlikler normalize edilip tüm duvar yükseklikleri 1 metreye düşürüldüğünde genişliklerin neredeyse aynı olduğu görülmektedir.

Tablo 18. İçsel sürtünme açısı  $25^\circ$  için normalize edilmiş genişlikler



Şekil 28. İçsel sürtünme açısı  $35^\circ$  için normalize edilmiş genişlikler

### 3.6. Ampatmanda Kesme ve Eğilme Kontrolü

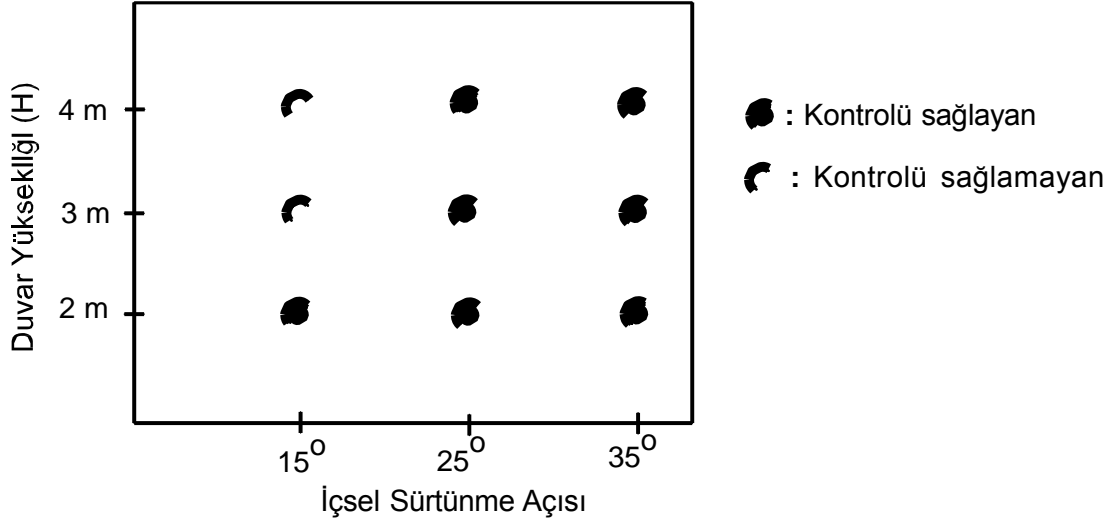
2, 3 ve 4 metrelik duvarların her biri için her bir içsel sürtüme açısında yapılan ampatmanda kesme (K) ve eğilme (E) kontrollerinin sonuçları Tablo 19’da verilmiştir.

Tablo 19’da görüldüğü gibi ampatmanda kesme kontrolü tüm duvar yükseklikleri ve tüm içsel sürtüme açısı değerleri için sağlanmıştır. Bu da seçilen C16 sınıfı betonun yeterli karakteristik basınç dayanımına sahip olduğunu göstermektedir. Fakat ampatmanda eğilme kontrolü her durumda sağlanamamıştır. Bu durum Şekil 29’da ampatmanda eğilme kontrolünü sağlayanlar içi dolu nokta, sağlamayanlar içi boş nokta olarak gösterilmiştir.

Eğilme kontrolünün sağlanamaması bize içsel sürtünme açısının  $15^0$ ye düştüğü 3 ve 4 metrelik duvarlar için seçilen betonun yeterli çekme dayanımına sahip olmadığını göstermektedir.

Tablo 19. Ampatmanda kesme ve eğilme kontrolü sonuçları

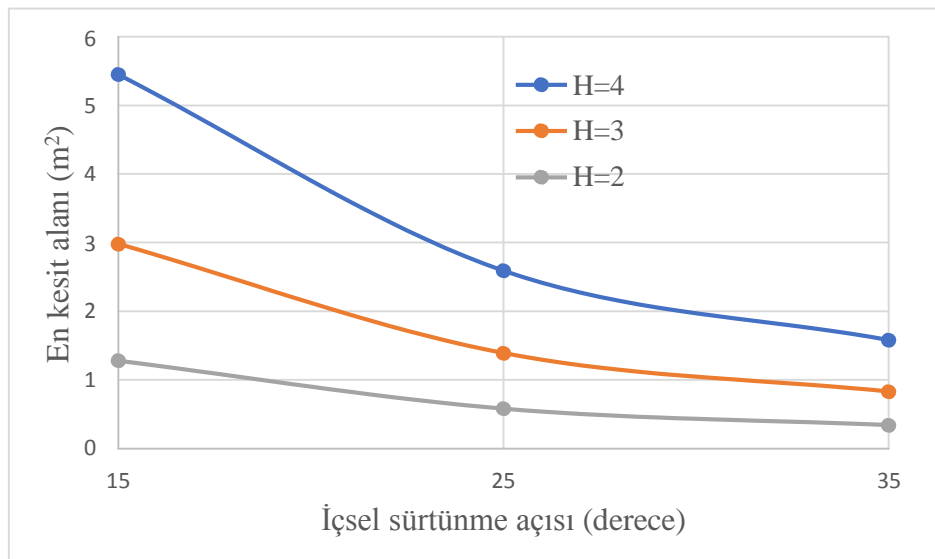
	K (kN)	E (kNm)
H=2, $\phi=15^0$	-144.0357	-182.5051
H=2, $\phi=25^0$	-116.1511	-520.9419
H=2, $\phi=35$	-116.2711	-717.4937
H=3, $\phi=15^0$	-238.3157	148.9907
H=3, $\phi=25^0$	-176.0675	-357.0345
H=3, $\phi=35$	-176.1719	-647.3845
H=4, $\phi=15^0$	-347.0097	468.3718
H=4, $\phi=25^0$	-237.0808	-203.5318
H=4, $\phi=35$	-237.0265	-585.4478



Şekil 29. Ampatmanda eğilme kontrolünün gösterilmesi

### 3.7. En Kesit Alanının İçsel Sürtünme Açısıyla Değişimi

Duvar en kesit alanının içsel sürtünme açısıyla değişimi Şekil 30'da gösterilmiştir. Düşük içsel sürtünme açılarında, optimum enkesit alanı en yüksek iken, artan içsel sürtünme açısıyla enkesit alanı azalmaktadır. Enkesit alanında içsel sürtünme açısıyla oluşan azalmalar, düşük içsel sürtünme açılarında büyük iken artan içsel sürtünme açısıyla enkesit alanındaki azalmaya içsel sürtünme açısının etkisi azalmaktadır. Bu sonuç literatürdeki çalışmalarla uyushmaktadır [23, 28, 29].



Şekil 30. Duvar en kesit alanının içsel sürtünme açısıyla değişimi

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, asimetrik bir ağırlık istinat duvarının optimum en kesit alanını belirlemeyi amaçlamıştır. Beton duvarın en kesit alanı, maliyetin doğrudan bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, amaç fonksiyonu, kesit alanının minimize edilmesi olarak tanımlanmıştır. Ek olarak, optimizasyon probleminin kısıtları, bir beton ağırlık istinat duvarının karşılaması gereken tahkiklerden elde edilmiştir. Dış stabilite tahkikleri; devrilme, kayma, tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması ve geleneksel yöntemle göre taşıma kapasitesidir. İç stabilite için gövdede eğilme ve kesme tahkikleri kullanılmıştır. Böylece, amaç fonksiyonu ve kısıtlarla tanımlanan kısıtlı doğrusal olmayan optimizasyon problemi elde edilmiştir. Problem, MATLAB bilgisayar programı yardımıyla iç nokta (interior-point) metodu kullanılarak çözülmüştür. Optimum kesitin ana hatlarını ve duvar yüksekliğinin ana hat üzerindeki etkisini araştırmak için duvar yükseklikleri 2.0, 3.0 ve 4.0 metre olarak seçilmiştir. Ek olarak, içsel sürtünme açısındaki değişimin optimum kesit alanına etkisini araştırmak için içsel sürtünme açısı  $15^\circ$ ,  $25^\circ$  ve  $35^\circ$  olarak seçilip hesaplarda kullanılmıştır. Duvar yüksekliğinin ve içsel sürtünme açısındaki değişimin optimum en kesit alanına etkisini karşılaştırmak amacıyla duvarın ve zeminin diğer fiziksel ve mekanik özellikleri sabit tutulmuştur. Optimizasyon probleminin çözümünden elde edilen asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarlarının en kesit alanlarının karşılaştırılmasından elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Duvar yükseklikleri normalize edildiğinde duvar genişliklerinin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Duvar yüksekliğindeki artış optimum en kesit alanlarını doğrusal olarak artırmaktadır.

- İçsel sürtünme açısındaki artış optimum en kesit alanlarında ciddi bir azalmaya sebep olmuştur. Bu da optimum en kesit alanının belirlenmesinde içsel sürtünme açısının ciddi bir etkisi olduğunu göstermektedir.

- Duvarların seçilen bütün yükseklikleri için içsel sürtünme açısındaki artış optimum duvarların temel genişliklerinde ciddi bir azalmaya sebep olmuştur.

- Dış stabilite tahkiklerinden türetilen kısıtlardan kayma tahkiki kısıtı, elde edilen tüm optimum duvarlar için aktif bir kısıttır. Bu nedenle bazı önlemlerle (örneğin duvar temelinde düşey bir dış, ankrajların takılması vb) beton ağırlık dayanma duvarları için daha

ekonomik en kesitler tasarlamak mümkündür.

- İç stabilite tahkiklerinden türetilen kısıtlardan eğilme tahkiki kısıtı, elde edilen tüm optimum duvarlar için aktif bir kısıttır. Betonun çekme dayanımını arttırmak için lifle güçlendirilmiş beton kullanılarak daha ekonomik kesitler elde etmek mümkündür. Burada, maliyet analizinde lifleri de gözönüne almak gerekir.

- İçsel sürtünme açısı  $35^\circ$  seçilerek hesaplarda kullanılan ve duvar yükseklikleri 2, 3 ve 4 metre olarak elde edilen optimum duvarların hepsinde tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması tahkikinden elde edilen kısıt aktif bir kısıttır. İçsel sürtünme açısı  $25^\circ$  ve  $15^\circ$  dereceye düştüğünde bu kısıt inaktif olmuştur.

- İçsel sürtünme açısı  $15^\circ$  ve  $25^\circ$  seçilerek hesaplarda kullanılan ve duvar yükseklikleri 2, 3 ve 4 metre olarak elde edilen optimum duvarların hepsinde geleneksel yöntemle göre taşıma gücü tahkikinden elde edilen kısıt aktif bir kısıttır. İçsel sürtünme

açısı  $35^\circ$  dereceye çıktığında bu kısıt inaktif olmuştur.

- Farklı yükseklikteki duvarların en kesitleri benzer ana hatlara sahiptir. Optimum en kesitlerin ana hatları, duvar ayakları gibi geniş alt parçalara ve eğilme tahkiklerini karşılayan minimum kalınlıklara sahip ince gövdelere sahiptir.

- Optimum en kesit alanları, geleneksel beton ağırlık istinat duvarlarından daha azdır. Bu optimum kesitlerin kullanılması, maliyetleri önemli ölçüde azaltacaktır. Beton ağırlık dayanma yapılarında bu tip optimum asimetrik kesitlerin kullanımı önerilir.

- Ampatmanda eğilme tahkikinin, içsel sürtünme açısının  $15^\circ$ ye düştüğü durumda 3 ve 4 metrelik optimum duvarlarda sağlanmadığı görülmüştür. Bu durumda yapılacak tasarımda duvarı, beton ağırlık tipi yerine betonarme konsol tipi seçmek gerekebilir. Duvar tipini belirlemede sadece duvar yüksekliği değil desteklenen zeminin içsel sürtünme açısı da önemli bir faktördür.



## 5. KAYNAKLAR

1. Whitlow, R., Basic soil mechanics, Third Edition, Addison Wesley Longman Limited, Essex, 1995.
2. Birand, A., Duvarlar, Teknik Yayınevi, Ankara, 2006.
3. Clayton, C. R. I., Woods, R.I., Bond, A. J. ve Milititsky, J., Earth Pressure and Earth-Retaining Structures, Third Edition, CRC Press, Boca Raton, 2013.
4. TS 7494, Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları, T. S. E., Ankara, 1. Baskı, Şubat 1990.
5. Coulomb, C. A., Essai sur une application des regles de maximus et minimus a Quelques Problèmes de Statique Relatifs a l'Architecture, Mem. Acad. Roy. Des Sciences, 3 (1776) 38.
6. Rankine, W. J. M., On the stability of loose earth, Philosophical Transactions of the Royal Society, 147 (1857) 9-27.
7. Jaky, J., The Coefficient of Earth Pressure At-rest, J. Society of Hungarian Architects and Engineers, (1944) 355-358.
8. Meyerhof, G. G., Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations, Journal of Geotechnical Engineering, 102, 3 (1976) 195-228.
9. Mayne, P. ve Kulhawy, F. H., Ko OCR Relationships in Soils, Journal of Geotechnical Engineering, 108, 6 (1982) 851-872.
10. Uzuner, B., Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, 7. Basım, Derya Kitabevi, Trabzon, 2007.
11. Terzaghi, K., Theoretical Soil Mechanics. John Wiley and Sons, New York, 1943.
12. Meyerhof, G. G., The Ultimate Bearing Capacity of Foundations, Geotechnique, 2, 4 (1951) 301-302.
13. Coduto, D. P., Foundation Design, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, 2001.
14. ACI 318-99, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, 1999.
15. Kaymaz, İ., Optimizasyon Teknikleri. <https://docplayer.biz.tr/28519763-Optimizasyon-teknikleri.html> 4 Şubat 2021

16. Hartmann, D., Ingenieurinformatik im Bauwesen Institute of Computational Engineering, Master-Studiengang, Master Course, 'Computational Engineering', Design Optimization, 2006.
17. Tezel Özturan, A., Optimizasyon ve Matlab Uygulamaları, 1. Basım, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, 2019.
18. Williams, H. P., Model Building in Mathematical Programming, 4. Basım, Wiley, New York, NY, 1999.
19. Türkay, M., Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları. <http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/optimizasyon.pdf> 4 Şubat 2021
20. [https://www.mathworks.com/solutions.html?s\\_tid=gn\\_sol](https://www.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol), mathworks. 4 Şubat 2021
21. Kaymaz, İ., Matlab Optimizasyon Araç Kutusunun Kullanımı. <https://docplayer.biz.tr/26200228-Matlab-optimizasyon-arac-kutusunun-kullanimi.html> 4 Şubat 2021
22. Basudhar, P. K., Vashistha, A., Deb, K. ve Dey, A., Cost Optimization of Reinforced Earth Walls, Geotechnical and Geological Engineering, 26 (2008) 1-12
23. Khajehzadeh, M., Taha, M. R., El-Shafie, A. ve Eslami, M., Modified particle swarm optimization for optimum design of spread footing and retaining wall, J Zhejiang Univ-Sci A (Appl Phys & Eng), 12, 6 (2011) 415-427
24. Pei, Y., Xia, Y., Design of Reinforced Cantilever Retaining Walls using Heuristic Optimization Algorithms, Procedia Earth and Planetary Science, 5 (2012) 32-36
25. Kaveh, A. ve Khayatizad, M., Optimal Design of Cantilever Retaining Walls Using Ray Optimization Method, IJST, Transactions of Civil Engineering, 38, C1<sup>+</sup> (2014) 261-274
26. Şadoğlu. E., Design Optimization for Symmetrical Gravity Retaining Walls, Acta Geotechnica Slovenica, 2 (2014) 71-79
27. Sheikholeslami, R., Gholipour Khalili, B. ve Zahrai, S. M., Optimum Cost Design of Reinforced Concrete Retaining Walls Using Hybrid Firefly Algorithm, IACSIT International Journal of Engineering and Technology, 6, 6 (2014) 465-470
28. Temür, R., ve Bekdaş, G., Teaching learning-based optimization for design of cantilever retaining walls, Structural Engineering and Mechanics, 57, 4 (2016) 763-783
29. Kayhan, A. H., Demir, A., Statik ve dinamik yüklere maruz betonarme konsol istinat duvarlarının diferansiyel gelişim algoritması ile optimum tasarımı, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 24, 3 (2018) 403-412

30. Masoud, T., Alsharie, H., Salem, Z. A., Yahia, Y. I. O. ve Suliman, M. O., Optimization of Shape Design for Gravity Retaining Walls, IJISME, 2319-6386, 5, 8 (2018) 1-4
31. Bekdaş, G., Akbay Arama, Z., Kayabekir, A. E. ve Geem, Z., W., Optimal Design of Cantilever Soldier Pile Retaining Walls Embedded in Frictional Soils with Harmony Search Algorithm, Appl. Sci., 10, 3232 (2020) 1-17
32. Truman, K. Z. ve Hoback, A. S., Optimization of steel piles under rigid slab foundations using optimality criteria, Structural and Multidisciplinary Optimization, 5, 1 (1992) 30-36.
33. Duncan, J. M., Clough, G. W. ve Ebeling, R. M., Design and performance of earth retaining structures, Proc. ASCE Conf. on Design and Performance of Earth Retaining Structures, 1990, New York, 251-277.
34. Smith, G. N. ve Smith, I. G. N., Elements of Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York, 1998.
35. Bowles, J. E., Foundation Analysis and Design, 5. Basım, McGraw-Hill, New York, 1996.

## 6. EKLER

### 6.1. Ek 1

MATLAB paket programına girilen,  $H=4$  ve  $\phi=35^0$  için asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarının tasarım optimizasyonu gerçekleştirecek olan amaç fonksiyonunun

programa girilmesi aşağıda gösterilmiştir.

```
function f=hedeffonks(x)
```

```
f=(4/10)*(x(1)+x(2)+(2*x(3))+(2*x(4))+(2*x(5))+(2*x(6))+(2*x(7))+(2*x(8))+(2*x(9))+(2*x(10))+x(11)+x(12));
```

### 6.2. Ek 2

MATLAB paket programına girilen,  $H=4$  ve  $\phi=35^0$  için asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarının tasarım optimizasyonu gerçekleştirecek olan kısıtların programa

girilmesi aşağıda gösterilmiştir.

```
function [c, ceq]=kisit1(x)
```

```
% Devrilme tahkiki
```

```
g1=(2*(1/6)*16*(4^3)*0.271)-  
(4/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3)))+x(2))+x(2)+x(4))*  
(x(2)-  
((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4))))+(x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2)  
/(3*(x(3)+x(5)))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)-  
((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2)  
/(3*(x(5)+x(7)))+x(2))+x(6)+x(8))*x(2)-  
((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2)  
/(3*(x(7)+x(9)))+x(2))+x(8)+x(10))*x(2)-  
((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+  
x(11)^2)/(3*(x(9)+x(11)))+x(2))+x(10)+x(12))*x(2)-  
((x(10)^2+(x(10)*x(12))+x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12))))-((4/10)*16*((x(1)-  
x(3))*(x(1)+x(2)-((x(1)-x(3))/3))+2*x(1)-x(3)-x(5))*(x(1)+x(2)-(((x(1)-x(3))^2+(x(1)-  
x(3))*(x(1)-x(5))+x(1)-x(5))^2)/(3*(2*x(1)-x(3)-x(5))))+(2*x(1)-x(5)-x(7))*(x(1)+x(2)-  
(((x(1)-x(5))^2+(x(1)-x(5))*(x(1)-x(7))+x(1)-x(7))^2)/(3*(2*x(1)-x(5)-x(7))))+(2*x(1)-  
x(7)-x(9))*(x(1)+x(2)-(((x(1)-x(7))^2+(x(1)-x(7))*(x(1)-x(9))+x(1)-x(9))^2)/(3*(2*x(1)-  
x(7)-x(9))))+(2*x(1)-x(9)-x(11))*(x(1)+x(2)-(((x(1)-x(9))^2+(x(1)-x(9))*(x(1)-  
x(11))+x(1)-x(11))^2)/(3*(2*x(1)-x(9)-x(11)))));
```

```
% Kayma tahkiki:
```

## Ek 2'nin devamı

$$g2=(1.5*(0.5*16*(4^2)*0.271))-$$

$$((4/10)*25*(x(1)+x(2)+(2*x(3))+(2*x(4))+(2*x(5))+(2*x(6))+(2*x(7))+(2*x(8))+(2*x(9))$$

$$+(2*x(10))+x(11)+x(12))+(4/10*16)*((x(1)-x(3))+(2*x(1)-x(3)-x(5))+(2*x(1)-x(5)-$$

$$x(7))+(2*x(1)-x(7)-x(9))+(2*x(1)-x(9)-x(11))))*\tan(0.41);$$

% Tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması tahkiki (Tezde paylaşılmamaktadır.)

% Geleneksel yöntemle göre taşıma gücü tahkiki

$$g4=(((1/6)*16*(4^3)*0.271))-$$

$$((4/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3))))+x(2))+x(2)+x(4))$$

$$*(x(2)-$$

$$((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4)))))+x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2)$$

$$/(3*(x(3)+x(5))))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)-$$

$$((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6)))))+x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2)$$

$$/(3*(x(5)+x(7))))+x(2))+x(6)+x(8))*x(2)-$$

$$((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8)))))+x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2)$$

$$/(3*(x(7)+x(9))))+x(2))+x(8)+x(10))*x(2)-$$

$$((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10)))))+x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+$$

Ek 2'nin devamı

(Tezde paylaşılmamaktadır.)

% Duvar gövdesinde eğilme tahkiki

$$g5=1.6*(((1/6)*16*(4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(10)-((x(10))^2+x(10)*x(12)+(x(12))^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+(x(9)+x(11))*(x(10)+((x(9))^2+x(9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11)))))+(4/10)*16*((x(9)-x(11))*(x(10)+x(9)-((x(9)-x(11))/3)))+(4/10)*25*(x(10)+x(12)+x(9)+x(11))+4/10)*16*(x(9)-x(11))*(x(9)+x(10))/((x(9)+x(10))^2/6)-1.2*((4/10)*25*(x(10)+x(12)+x(9)+x(11))+4/10)*16*(x(9)-x(11))/(x(9)+x(10))-900;$$

$$g6=1.6*(((1/6)*16*(2*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(8)-((x(10))^2+x(10)*x(12)+(x(12))^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+(x(9)+x(11))*(x(8)+((x(9))^2+x(9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11)))))+(x(8)+x(10))*(x(8)-((x(8))^2+x(8)*x(10)+(x(10))^2)/(3*(x(8)+x(10)))))+(x(7)+x(9))*(x(8)+((x(7))^2+x(7)*x(9)+x(9)^2)/(3*(x(7)+x(9)))))+(4/10)*16*((x(7)-x(9))*(x(7)+x(8)-((x(7)-x(9))/3)))+(2*x(7)-x(9)-x(11))*(x(7)+x(8)-((x(7)-x(9))^2+(x(7)-x(9))*(x(7)-x(11))+x(7)-x(11))^2)/(3*(2*x(7)-x(9)-x(11)))))+(4/10)*25*(x(7)+x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*16*((x(7)-x(9))+2*x(7)-x(9)-x(11))*(x(7)+x(8))/((x(7)+x(8))^2/6)-1.2*((4/10)*25*(x(7)+x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*16*((x(7)-x(9))+2*x(7)-x(9)-x(11))/(x(7)+x(8))-900;$$

$$g7=1.6*(((1/6)*16*(3*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(6)-((x(10))^2+x(10)*x(12)+(x(12))^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+(x(9)+x(11))*(x(6)+((x(9))^2+x(9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11)))))+(x(8)+x(10))*(x(6)-((x(8))^2+x(8)*x(10)+(x(10))^2)/(3*(x(8)+x(10)))))+(x(7)+x(9))*(x(6)+((x(7))^2+x(7)*x(9)+x(9)^2)/(3*(x(7)+x(9)))))+(x(6)+x(8))*(x(6)-((x(6))^2+x(6)*x(8)+(x(8))^2)/(3*(x(6)+x(8)))))+(x(5)+x(7))*(x(6)+((x(5))^2+x(5)*x(7)+x(7)^2)/(3*(x(5)+x(7)))))+(4/10)*16*((x(5)-x(7))*(x(5)+x(6)-((x(5)-x(7))/3)))+(2*x(5)-x(7)-x(9))*(x(5)+x(6)-((x(5)-x(7))^2+(x(5)-x(7))*(x(5)-x(9))+x(5)-x(9))^2)/(3*(2*x(5)-x(7)-x(9))))+(2*x(5)-x(9)-x(11))*(x(5)+x(6)-((x(5)-x(9))^2+(x(5)-x(9))*(x(5)-x(11))+x(5)-x(11))^2)/(3*(2*x(5)-x(9)-x(11)))))+(4/10)*25*(x(5)+x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*$$

Ek 2'nin devamı

$$16*((x(5)-x(7))+2*x(5)-x(7)-x(9))+2*x(5)-x(9)-x(11))*((x(5)+x(6))/2)/((x(5)+x(6))^2/6)-1.2*((4/10)*25*(x(5)+x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*16*((x(5)-x(7))+2*x(5)-x(7)-x(9))+2*x(5)-x(9)-x(11)))/(x(5)+x(6))-900;$$

$$g8=1.6*(((1/6)*16*(4*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*x(4)-((x(10))^2+x(10)*x(12)+(x(12))^2)/(3*(x(10)+x(12))))+(x(9)+x(11))*x(4)+((x(9))^2+x(9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11))))+(x(8)+x(10))*x(4)-((x(8))^2+x(8)*x(10)+(x(10))^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(7)+x(9))*x(4)+((x(7))^2+x(7)*x(9)+(x(9))^2)/(3*(x(7)+x(9))))+(x(6)+x(8))*x(4)-((x(6))^2+x(6)*x(8)+(x(8))^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(5)+x(7))*x(4)+((x(5))^2+x(5)*x(7)+(x(7))^2)/(3*(x(5)+x(7))))+(x(4)+x(6))*x(4)-((x(4))^2+x(4)*x(6)+(x(6))^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(3)+x(5))*x(4)+((x(3))^2+x(3)*x(5)+(x(5))^2)/(3*(x(3)+x(5))))+(4/10)*16*((x(3)-x(5))*x(3)+x(4)-((x(3)-x(5))/3))+2*x(3)-x(5)-x(7))*x(3)+x(4)-((x(3)-x(5))^2+(x(3)-x(5))*x(3)-x(7)+(x(3)-x(7))^2)/(3*(2*x(3)-x(5)-x(7))))+(2*x(3)-x(7)-x(9))*x(3)+x(4)-((x(3)-x(7))^2+(x(3)-x(7))*x(3)-x(9)+(x(3)-x(9))^2)/(3*(2*x(3)-x(7)-x(9))))+(2*x(3)-x(9)-x(11))*x(3)+x(4)-((x(3)-x(9))^2+(x(3)-x(9))*x(3)-x(11)+(x(3)-x(11))^2)/(3*(2*x(3)-x(9)-x(11))))+(4/10)*25*(x(3)+x(4)+2*x(5)+2*x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*16*((x(3)-x(5))+2*x(3)-x(5)-x(7))+2*x(3)-x(7)-x(9))+2*x(3)-x(9)-x(11)))/(x(3)+x(4))-900;$$

% Duvar gövdesinde kesme tahkiki

$$g9=1.6*8*(4/5)^2*0.271-283.5*(x(9)+x(10));$$

$$g10=1.6*8*(2*4/5)^2*0.271-283.5*(x(7)+x(8));$$

$$g11=1.6*8*(3*4/5)^2*0.271-283.5*(x(5)+x(6));$$

$$g12=1.6*8*(4*4/5)^2*0.271-283.5*(x(3)+x(4));$$

$$c=[g1 g2 g3 g4 g5 g6 g7 g8 g9 g10 g11 g12];$$

$$ceq=[];$$

### 6.3. Ek 3

MATLAB paket programına girilen,  $H=4$  ve  $\phi=35^0$  için asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarının tasarım optimizasyonu gerçekleştirecek olan fmincon optimizasyon

komutunun programa girilmesi aşağıda gösterilmiştir.

```
clear all
clc
close all
```

Ek 3'ün devamı

```
options = optimset('Display','iter','Algorithm','interior-point');
```

```
% Baslangic Degerleri
```

```
x0=[2.1 2.0 1.9 1.8 1.7 1.6 1.5 1.4 1.3 1.2 1.1 1.0];
```

```
lb=[0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0];
```

```
ub=[9,9,9,9,9,9,9,9,9,9,9,9];
```

```
A=[ -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0 0; 0 0 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1 0; 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 -1];
```

```
b=[ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0];
```

```
% (Tezde paylaşılmamaktadır.)
```

```
disp (x(1))
```

```
disp (x(2))
```

```
disp (x(3))
```

```
disp (x(4))
```

```
disp (x(5))
```

```
disp (x(6))
```

```
disp (x(7))
```

```
disp (x(8))
```

```
disp (x(9))
```

```
disp (x(10))
```

```
disp (x(11))
```

```
disp (x(12))
```

```
% Devrilme tahkiki
```

```
g1=(2*(1/6)*16*(4^3)*0.271)-
```

```
(4/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3)))+x(2))+x(2)+x(4))*
```

```
(x(2)-
```

```
((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4))))+(x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2)
```

```
/(3*(x(3)+x(5)))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)-
```

```
((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2)
```

```
/(3*(x(5)+x(7)))+x(2))+x(6)+x(8))*x(2)-
```

```
((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2)
```

```
/(3*(x(7)+x(9)))+x(2))+x(8)+x(10))*x(2)-
```

```
((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+
```

```
x(11)^2)/(3*(x(9)+x(11)))+x(2))+x(10)+x(12))*x(2)-
```

```
((x(10)^2+(x(10)*x(12))+x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12)))))-((4/10)*16*((x(1)-
```

```
x(3))*x(1)+x(2)-((x(1)-x(3))/3))+2*x(1)-x(3)-x(5))*x(1)+x(2)-(((x(1)-x(3))^2+(x(1)-
```

```
x(3))*x(1)-x(5))+x(1)-x(5))^2)/(3*(2*x(1)-x(3)-x(5)))+(2*x(1)-x(5)-x(7))*x(1)+x(2)-
```



## Ek 3'ün devamı

$$\begin{aligned} &(((x(1)-x(5))^2+(x(1)-x(5))*(x(1)-x(7))+(x(1)-x(7))^2)/(3*(2*x(1)-x(5)-x(7))))+(2*x(1)- \\ &x(7)-x(9))*(x(1)+x(2)-(((x(1)-x(7))^2+(x(1)-x(7))*(x(1)-x(9))+(x(1)-x(9))^2)/(3*(2*x(1)- \\ &x(7)-x(9))))+(2*x(1)-x(9)-x(11))*(x(1)+x(2)-(((x(1)-x(9))^2+(x(1)-x(9))*(x(1)- \\ &x(11))+x(1)-x(11))^2)/(3*(2*x(1)-x(9)-x(11))))); \end{aligned}$$

% Kayma tahkiki:

$$\begin{aligned} g2 &= (1.5*(0.5*16*(4^2)*0.271))- \\ &((4/10)*25*(x(1)+x(2)+(2*x(3))+(2*x(4))+(2*x(5))+(2*x(6))+(2*x(7))+(2*x(8))+(2*x(9)) \\ &+(2*x(10))+x(11)+x(12))+4/10*16*((x(1)-x(3))+(2*x(1)-x(3)-x(5))+(2*x(1)-x(5)- \\ &x(7))+(2*x(1)-x(7)-x(9))+(2*x(1)-x(9)-x(11))))*tan(0.41); \end{aligned}$$

% Tabanda çekme gerilmeleri oluşmaması tahkiki (Tezde paylaşılmamaktadır.)

% Geleneksel yöntemle taşıma gücü tahkiki

$$\begin{aligned} g4 &= (((1/6)*16*(4^3)*0.271))- \\ &((4/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3)))+x(2))+x(2)+x(4)) \\ &*(x(2)- \\ &((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4))))+(x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2) \\ &/ (3*(x(3)+x(5)))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)- \\ &((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2) \end{aligned}$$

## Ek 3'ün devamı

$$\begin{aligned} & / (3*(x(5)+x(7))+x(2)+(x(6)+x(8))*(x(2)- \\ & ((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2) \\ & / (3*(x(7)+x(9))+x(2)+(x(8)+x(10))*(x(2)- \\ & ((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+ \\ & (Tezde paylaşılmamaktadır.) \end{aligned}$$

## % Duvar gövdesinde eğilme tahkiki

$$\begin{aligned} g_5 &= 1.6*((1/6)*16*(4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(10)- \\ & ((x(10)^2+x(10)*x(12)+(x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12))))+(x(9)+x(11))*(x(10)+((x(9))^2+ \\ & x(9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11))))+(4/10)*16*((x(9)-x(11))*(x(10)+x(9)-((x(9)- \\ & x(11))/3)))+(4/10)*25*(x(10)+x(12)+x(9)+x(11))+4/10*16*(x(9)- \\ & x(11))*(x(9)+x(10))/2/((x(9)+x(10))^2/6)- \\ & 1.2*((4/10)*25*(x(10)+x(12)+x(9)+x(11))+4/10*16*(x(9)-x(11)))/(x(9)+x(10))-900; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_6 &= 1.6*((1/6)*16*(2*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(8)- \\ & ((x(10)^2+x(10)*x(12)+(x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12))))+(x(9)+x(11))*(x(8)+((x(9))^2+x \\ & (9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11))))+(x(8)+x(10))*(x(8)- \\ & ((x(8)^2+x(8)*x(10)+(x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(7)+x(9))*(x(8)+((x(7))^2+x(7)* \\ & x(9)+x(9)^2)/(3*(x(7)+x(9))))+(4/10)*16*((x(7)-x(9))*(x(7)+x(8)-((x(7)- \\ & x(9))/3)))+(2*x(7)-x(9)-x(11))*(x(7)+x(8)-((x(7)-x(9))^2+(x(7)-x(9))*(x(7)-x(11))+x(7)- \\ & x(11))^2)/(3*(2*x(7)-x(9)- \\ & x(11))))+(4/10)*25*(x(7)+x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10*16*((x(7)- \\ & x(9))+2*x(7)-x(9)-x(11))*(x(7)+x(8))/2/((x(7)+x(8))^2/6)- \\ & 1.2*((4/10)*25*(x(7)+x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10*16*((x(7)- \\ & x(9))+2*x(7)-x(9)-x(11)))/(x(7)+x(8))-900; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_7 &= 1.6*((1/6)*16*(3*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(6)- \\ & ((x(10)^2+x(10)*x(12)+(x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12))))+(x(9)+x(11))*(x(6)+((x(9))^2+x \\ & (9)*x(11)+(x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11))))+(x(8)+x(10))*(x(6)- \\ & ((x(8)^2+x(8)*x(10)+(x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(7)+x(9))*(x(6)+((x(7))^2+x(7)* \\ & x(9)+x(9)^2)/(3*(x(7)+x(9))))+(x(6)+x(8))*(x(6)- \\ & ((x(6)^2+x(6)*x(8)+(x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(5)+x(7))*(x(6)+((x(5))^2+x(5)*x(7) \\ & +x(7)^2)/(3*(x(5)+x(7))))+(4/10)*16*((x(5)-x(7))*(x(5)+x(6)-((x(5)-x(7))/3)))+(2*x(5)- \end{aligned}$$

## Ek 3'ün devamı

$$\begin{aligned} & x(7)-x(9)) * (x(5)+x(6)-(((x(5)-x(7))^2+(x(5)-x(7))*(x(5)-x(9))+(x(5)-x(9))^2))/(3*(2*x(5)- \\ & x(7)-x(9))))+(2*x(5)-x(9)-x(11))*(x(5)+x(6)-(((x(5)-x(9))^2+(x(5)-x(9))*(x(5)- \\ & x(11))+x(5)-x(11))^2))/(3*(2*x(5)-x(9)- \\ & x(11)))))))+(4/10)*25*(x(5)+x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)* \\ & 16*((x(5)-x(7))+2*x(5)-x(7)-x(9))+2*x(5)-x(9)- \\ & x(11)))*(x(5)+x(6))/((x(5)+x(6))^2/6)- \\ & 1.2*((4/10)*25*(x(5)+x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12))+4/10)*16*((x( \\ & 5)-x(7))+2*x(5)-x(7)-x(9))+2*x(5)-x(9)-x(11)))/(x(5)+x(6))-900; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g8= & 1.6*((1/6)*16*(4*4/5)^3*0.271)-((4/10)*25*((x(10)+x(12))*(x(4)- \\ & (((x(10))^2+x(10)*x(12)+x(12))^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+(x(9)+x(11))*(x(4)+(((x(9))^2+x \\ & (9)*x(11)+x(11))^2)/(3*(x(9)+x(11))))+(x(8)+x(10))*(x(4)- \\ & (((x(8))^2+x(8)*x(10)+x(10))^2)/(3*(x(8)+x(10)))))+(x(7)+x(9))*(x(4)+(((x(7))^2+x(7)* \\ & x(9)+x(9))^2)/(3*(x(7)+x(9))))+(x(6)+x(8))*(x(4)- \\ & (((x(6))^2+x(6)*x(8)+x(8))^2)/(3*(x(6)+x(8)))))+(x(5)+x(7))*(x(4)+(((x(5))^2+x(5)*x(7) \\ & +x(7))^2)/(3*(x(5)+x(7))))+(x(4)+x(6))*(x(4)- \\ & (((x(4))^2+x(4)*x(6)+x(6))^2)/(3*(x(4)+x(6)))))+(x(3)+x(5))*(x(4)+(((x(3))^2+x(3)*x(5) \\ & +x(5))^2)/(3*(x(3)+x(5)))))+(4/10)*16*((x(3)-x(5))*(x(3)+x(4)-((x(3)-x(5))/3))+2*x(3)- \\ & x(5)-x(7))*(x(3)+x(4)-(((x(3)-x(5))^2+(x(3)-x(5))*(x(3)-x(7))+x(3)-x(7))^2)/(3*(2*x(3)- \\ & x(5)-x(7))))+(2*x(3)-x(7)-x(9))*(x(3)+x(4)-(((x(3)-x(7))^2+(x(3)-x(7))*(x(3)-x(9))+x(3)- \\ & x(9))^2)/(3*(2*x(3)-x(7)-x(9))))+(2*x(3)-x(9)-x(11))*(x(3)+x(4)-(((x(3)-x(9))^2+(x(3)- \\ & x(9))*(x(3)-x(11))+x(3)-x(11))^2)/(3*(2*x(3)-x(9)- \\ & x(11)))))))+(4/10)*25*(x(3)+x(4)+2*x(5)+2*x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+ \\ & x(12))+4/10)*16*((x(3)-x(5))+2*x(3)-x(5)-x(7))+2*x(3)-x(7)-x(9))+2*x(3)-x(9)- \\ & x(11)))*(x(3)+x(4))/((x(3)+x(4))^2/6)- \\ & 1.2*((4/10)*25*(x(3)+x(4)+2*x(5)+2*x(6)+2*x(7)+2*x(8)+2*x(9)+2*x(10)+x(11)+x(12)) \\ & +(4/10)*16*((x(3)-x(5))+2*x(3)-x(5)-x(7))+2*x(3)-x(7)-x(9))+2*x(3)-x(9)- \\ & x(11)))/(x(3)+x(4))-900; \end{aligned}$$

% Duvar gövdesinde kesme tahkiki

$$\begin{aligned} g9 &= 1.6*8*(4/5)^2*0.271-283.5*(x(9)+x(10)); \\ g10 &= 1.6*8*(2*4/5)^2*0.271-283.5*(x(7)+x(8)); \\ g11 &= 1.6*8*(3*4/5)^2*0.271-283.5*(x(5)+x(6)); \\ g12 &= 1.6*8*(4*4/5)^2*0.271-283.5*(x(3)+x(4)); \end{aligned}$$

disp('constraints');

disp (g1)  
disp (g2)  
disp (g3)  
disp (g4)  
disp (g5)  
disp (g6)  
disp (g7)  
disp (g8)  
disp (g9)  
disp (g10)

## Ek 3'ün devamı

```

disp (g11)
disp (g12)
% Ampatmanda Kesme ve Eğilme Kontrolü
% Kesme= K
% Eğilme= E
% q=tabanda oluşan toprak basıncı
% M=A noktasına göre moment

Ka=0.271;
H=4;
qmin=-((((1/6)*16*(H^3)*Ka)-
((H/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3)))+x(2))+x(2)+x(4))
*(x(2)-
((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4))))+(x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2)
/(3*(x(3)+x(5)))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)-
((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2)
/(3*(x(5)+x(7)))+x(2))+x(6)+x(8))*x(2)-
((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2)
/(3*(x(7)+x(9)))+x(2))+x(8)+x(10))*x(2)-
((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+
x(11)^2)/(3*(x(9)+x(11)))+x(2))+x(10)+x(12))*x(2)-
((x(10)^2+(x(10)*x(12))+x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+((H/10)*16*((x(1)-
x(3))*x(1)+x(2)-((x(1)-x(3))/3))+2*x(1)-x(3)-x(5))*x(1)+x(2)-(((x(1)-x(3))^2+(x(1)-
x(3))*x(1)-x(5))+x(1)-x(5))^2)/(3*(2*x(1)-x(3)-x(5))))+(2*x(1)-x(5)-x(7))*x(1)+x(2)-
(((x(1)-x(5))^2+(x(1)-x(5))*x(1)-x(7))+x(1)-x(7))^2)/(3*(2*x(1)-x(5)-x(7))))+(2*x(1)-
x(7)-x(9))*x(1)+x(2)-(((x(1)-x(7))^2+(x(1)-x(7))*x(1)-x(9))+x(1)-x(9))^2)/(3*(2*x(1)-
x(7)-x(9))))+(2*x(1)-x(9)-x(11))*x(1)+x(2)-(((x(1)-x(9))^2+(x(1)-x(9))*x(1)-
x(11))+x(1)-x(11))^2)/(3*(2*x(1)-x(9)-
x(11)))))+(((H/10)*25*(x(1)+x(2)+(2*x(3))+2*x(4))+2*x(5))+2*x(6))+2*x(7))+2*x(
8))+2*x(9))+2*x(10))+x(11)+x(12))+((H/10)*16*((x(1)-x(3))+2*x(1)-x(3)-
x(5))+2*x(1)-x(5)-x(7))+2*x(1)-x(7)-x(9))+2*x(1)-x(9)-
x(11))))*(x(1)+x(2))/2)/(((x(1)+x(2))^2/6))+(((H/10)*25*(x(1)+x(2)+(2*x(3))+2*x(4))
+2*x(5))+2*x(6))+2*x(7))+2*x(8))+2*x(9))+2*x(10))+x(11)+x(12))+((H/10)*16*((x(
1)-x(3))+2*x(1)-x(3)-x(5))+2*x(1)-x(5)-x(7))+2*x(1)-x(7)-x(9))+2*x(1)-x(9)-
x(11))))/(x(1)+x(2));
qmaks=((((1/6)*16*(H^3)*Ka)-
((H/10)*25*((x(1)+x(3))*((x(1)^2+(x(1)*x(3))+x(3)^2)/(3*(x(1)+x(3)))+x(2))+x(2)+x(4))
*(x(2)-
((x(2)^2+(x(2)*x(4))+x(4)^2)/(3*(x(2)+x(4))))+(x(3)+x(5))*((x(3)^2+(x(3)*x(5))+x(5)^2)
/(3*(x(3)+x(5)))+x(2))+x(4)+x(6))*x(2)-
((x(4)^2+(x(4)*x(6))+x(6)^2)/(3*(x(4)+x(6))))+(x(5)+x(7))*((x(5)^2+(x(5)*x(7))+x(7)^2)
/(3*(x(5)+x(7)))+x(2))+x(6)+x(8))*x(2)-
((x(6)^2+(x(6)*x(8))+x(8)^2)/(3*(x(6)+x(8))))+(x(7)+x(9))*((x(7)^2+(x(7)*x(9))+x(9)^2)
/(3*(x(7)+x(9)))+x(2))+x(8)+x(10))*x(2)-
((x(8)^2+(x(8)*x(10))+x(10)^2)/(3*(x(8)+x(10))))+(x(9)+x(11))*((x(9)^2+(x(9)*x(11))+
x(11)^2)/(3*(x(9)+x(11)))+x(2))+x(10)+x(12))*x(2)-
((x(10)^2+(x(10)*x(12))+x(12)^2)/(3*(x(10)+x(12)))))+((H/10)*16*((x(1)-
x(3))*x(1)+x(2)-((x(1)-x(3))/3))+2*x(1)-x(3)-x(5))*x(1)+x(2)-(((x(1)-x(3))^2+(x(1)-

```

## Ek 3'ün devamı

$$\begin{aligned} & x(3)) * (x(1) - x(5)) + (x(1) - x(5))^2) / (3 * (2 * x(1) - x(3) - x(5))) + (2 * x(1) - x(5) - x(7)) * (x(1) + x(2) - \\ & (((x(1) - x(5))^2 + (x(1) - x(5)) * (x(1) - x(7)) + (x(1) - x(7))^2) / (3 * (2 * x(1) - x(5) - x(7)))) + (2 * x(1) - \\ & x(7) - x(9)) * (x(1) + x(2) - ((x(1) - x(7))^2 + (x(1) - x(7)) * (x(1) - x(9)) + (x(1) - x(9))^2) / (3 * (2 * x(1) - \\ & x(7) - x(9)))) + (2 * x(1) - x(9) - x(11)) * (x(1) + x(2) - ((x(1) - x(9))^2 + (x(1) - x(9)) * (x(1) - \\ & x(11)) + (x(1) - x(11))^2) / (3 * (2 * x(1) - x(9) - \\ & x(11)))))) + (((H/10) * 25 * (x(1) + x(2) + (2 * x(3)) + (2 * x(4)) + (2 * x(5)) + (2 * x(6)) + (2 * x(7)) + (2 * x(8)) + (2 * x(9)) + (2 * x(10)) + x(11) + x(12)) + (H/10 * 16) * ((x(1) - x(3)) + (2 * x(1) - x(3) - \\ & x(5)) + (2 * x(1) - x(5) - x(7)) + (2 * x(1) - x(7) - x(9)) + (2 * x(1) - x(9) - \\ & x(11)))) * ((x(1) + x(2)) / 2) / (((x(1) + x(2))^2 / 6) + (((H/10) * 25 * (x(1) + x(2) + (2 * x(3)) + (2 * x(4)) \\ & + (2 * x(5)) + (2 * x(6)) + (2 * x(7)) + (2 * x(8)) + (2 * x(9)) + (2 * x(10)) + x(11) + x(12)) + (H/10 * 16) * ((x(1) - x(3)) + (2 * x(1) - x(3) - x(5)) + (2 * x(1) - x(5) - x(7)) + (2 * x(1) - x(7) - x(9)) + (2 * x(1) - x(9) - \\ & x(11)))) / (x(1) + x(2))); \end{aligned}$$

$$W1 = (x(1) - x(3)) * (H/5) * (1/2) * 16;$$

$$W2 = (x(1) - x(3)) * (4 * H/5) * 16;$$

$$W3 = (x(1) - x(3)) * (H/5) * (1/2) * 25;$$

$$W4 = q_{min} * (x(1) - x(3));$$

$$W5 = (q_{maks} - q_{min}) * (x(1) - x(3)) * (1/2);$$

$$K = 1.6 * (W4 + W5 - (W1 + W2 + W3)) - 283.5 * (H/5)$$

$$M = (x(1) - x(3) - ((x(1) - x(3))/3)) * W1 + ((x(1) - x(3))/2) * W2 + ((x(1) - x(3))/3) * W3 - ((x(1) - x(3))/2) * W4 - ((x(1) - x(3))/3) * W5;$$

$$E = 1.6 * (M / (((H/5)^2 / 6)) - 900$$

% f=Duvarın kesit alanı

$$f = (4/10) * (x(1) + x(2) + (2 * x(3)) + (2 * x(4)) + (2 * x(5)) + (2 * x(6)) + (2 * x(7)) + (2 * x(8)) + (2 * x(9)) + (2 * x(10)) + x(11) + x(12));$$

## 6.4. Ek 4

MATLAB paket programına girilen,  $H=4$  ve  $\phi=35^0$  için aşimetrik ağırlık tipi dayanma duvarının Command Window penceresi aşağıda verilmiştir.

Iter	F-count	f(x)	Feasibility	First-order optimality	Norm of	step
0	13	1.240000e+01	0.000e+00	4.606e-01		
1	26	1.208592e+01	0.000e+00	4.607e-01	2.309e-01	
2	40	8.473934e+00	0.000e+00	3.420e-01	1.701e+00	
3	54	4.367207e+00	0.000e+00	3.091e-01	1.887e+00	
4	68	3.683982e+00	0.000e+00	1.537e-01	3.818e-01	
5	93	3.693279e+00	0.000e+00	9.324e-02	4.515e-02	
6	107	2.435176e+00	0.000e+00	2.268e-01	8.536e-01	
7	121	1.833486e+00	0.000e+00	4.050e-01	4.324e-01	
8	146	1.835933e+00	0.000e+00	1.856e-02	6.118e-03	
9	160	1.743733e+00	0.000e+00	1.503e-01	5.494e-02	
10	174	1.634961e+00	0.000e+00	6.658e-02	7.544e-02	
11	188	1.625759e+00	0.000e+00	1.412e-01	1.688e-02	

Ek 4'ün devamı

12	202	1.624359e+00	0.000e+00	4.997e-03	4.830e-03
13	216	1.624254e+00	0.000e+00	4.000e-03	1.866e-03
14	229	1.586883e+00	2.986e+00	6.716e-02	3.428e-02
15	242	1.589347e+00	0.000e+00	8.540e-03	1.343e-02
16	255	1.589409e+00	0.000e+00	2.168e-03	3.585e-03
17	268	1.589390e+00	0.000e+00	8.163e-04	4.056e-03
18	281	1.589391e+00	0.000e+00	8.000e-04	6.571e-04
19	295	1.582832e+00	0.000e+00	2.350e-03	8.719e-03
20	309	1.582864e+00	0.000e+00	3.122e-03	4.645e-03
21	323	1.582855e+00	0.000e+00	7.480e-04	6.528e-03
22	337	1.582853e+00	0.000e+00	4.435e-04	1.621e-03
23	351	1.582853e+00	0.000e+00	1.600e-04	7.082e-04
24	364	1.581554e+00	0.000e+00	9.359e-04	9.123e-03
25	377	1.581551e+00	0.000e+00	5.234e-04	6.572e-03
26	390	1.581552e+00	0.000e+00	1.423e-04	4.188e-04
27	403	1.581552e+00	0.000e+00	3.275e-05	1.696e-04
28	416	1.581552e+00	0.000e+00	3.200e-05	3.083e-05
29	429	1.581293e+00	0.000e+00	1.595e-04	5.932e-03
30	442	1.581293e+00	0.000e+00	4.003e-05	1.898e-03

Iter	F-count	f(x)	First-order Feasibility	Norm of optimality	step
31	455	1.581293e+00	0.000e+00	6.400e-06	3.039e-05
32	468	1.581242e+00	0.000e+00	1.045e-04	2.027e-03
33	481	1.581242e+00	0.000e+00	2.233e-06	2.155e-04
34	494	1.581242e+00	0.000e+00	1.280e-06	6.641e-07
35	507	1.581232e+00	0.000e+00	1.311e-05	4.575e-04
36	520	1.581232e+00	0.000e+00	1.044e-06	3.849e-05
37	533	1.581232e+00	0.000e+00	2.560e-07	9.757e-07

Local minimum found that satisfies the constraints.

Optimization completed because the objective function is non-decreasing in feasible directions, to within the value of the optimality tolerance, and constraints are satisfied to within the value of the constraint tolerance.

<stopping criteria details>

1.5102

0.3990

0.2044

0.2695

0.1707

0.1422

Ek 4'ün devamı

0.1140

0.0592

0.0424

0.0196

1.3233e-06

1.3234e-06

constraints

-29.9353

-4.3167e-05

-8.3193e-05

-105.7781

-0.0099

-0.0036

-0.0020

-0.0014

-15.3690

-40.2244

-68.7127

-98.8157

K =

-237.0265

E =

-585.4478

>>

## ÖZGEÇMİŞ

Büşra AHISKALI, İlkokul ve ortaokulu Gümüşhane Gazi Paşa İlköğretim Okulunda tamamladıktan sonra liselere giriş sınavı sonuçlarına göre Gümüşhane Mareşal Çakmak Anadolu Öğretmen Lisesini kazanmıştır. Lise eğitiminin bir yılını burada tamamladıktan sonra lise eğitimine Beşikdüzü İMKB Anadolu Öğretmen Lisesi'nde devam etmiş ve 2009 yılında mezun olmuştur. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanmış ve 2015 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. 2017 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında tezli yüksek lisans eğitimine başladı. İngilizce bilmektedir.