

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

STATİK YÜKLER ETKİSİNDEKİ AĞIRLIK TİPİ HARÇLI MOLOZ TAŞ
DAYANMA DUVARLARININ OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şafak YILDIZ

HAZİRAN 2024

TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

STATİK YÜKLER ETKİSİNDEKİ AĞIRLIK TİPİ HARÇLI MOLOZ TAŞ
DAYANMA DUVARLARININ OPTİMİZASYONU

Şafak YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce
" İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 02 / 05 / 2024

Tezin Savunma Tarihi : 10 / 06 / 2024

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Statik Yükler Etkisindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarlarının Optimizasyonu” isimli bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini ve yardımlarını esirgemeyen, tez konumu önerip optimizasyon konusunda sahip olduğu tecrübesinden çokça faydalandığım ve gerektiğinde özel hayatından ödün verip tez çalışma sürecimde her daim yanımda olan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU’na sonsuz teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışma hayatımda kolaylık sağlayan başta Sayın Kaymakamım Mustafa AKIN’a, kıymetli müdürlerime, varlığıyla beni hep destekleyen Emine PAŞALI’ya ve diğer mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatım boyunca her zaman yanımda olduklarını bildiğim annem Melek YILDIZ’a, babam Kerim YILDIZ’a, lisansüstü deneyiminden faydalandığım ağabeyim Aygün YILDIZ’a, lisansüstü ders ve tez dönemimde destek olan arkadaşım İnşaat Yüksek Mühendisi Mehbare Yaren MUHCU’ya ve diğer tüm arkadaşlarıma, eğitimime katkı sağlayan tüm öğretmenlerime sonsuz teşekkür eder, çalışmamın bilime katkı sağlamasını temenni ederim.

Şafak YILDIZ

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Statik Yükler Etkisindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarlarının 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. 10/06/2024

Şafak YILDIZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam.....	1
1.3. Dayanma Yapıları ve Çeşitleri	2
1.3.1. Rijit Dayanma Yapıları	3
1.3.2. Ağırlık Dayanma Duvarı.....	3
1.3.3. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı.....	5
1.3.4. Konsol Dayanma Duvarı.....	6
1.3.5. Eşikli Konsol Dayanma Duvarı	7
1.3.6. Payandalı Dayanma Duvarı	8
1.3.7. Ters Payandalı Dayanma Duvarı	8
1.3.8. Yarı Rijit Dayanma Yapıları	9
1.3.9. Kafes Tipi Dayanma Duvarı	9
1.3.10. Sandık Tipi Dayanma Duvarı	10
1.3.11. Kazıklı Perdeler.....	11
1.3.12. Diyafram Duvarlar	11
1.3.13. Esnek Dayanma Yapıları	12
1.3.14. Palplanş Perde	12
1.3.15. Donatılı Zemin Dayanma Duvarı.....	13
1.4. Dayanma Yapılarının Tasarımı	14
1.5. Dayanma Yapılarına Etkiyen Kuvvetler	15
1.6. Yanal Zemin Basınç Teorileri	15
1.6.1. Rankine Teorisi	15

1.6.2.	Coulomb Teorisi	21
1.6.3.	Rankine Teorisi ile Coulomb Teorisinin Karşılaştırılması	24
1.7.	Dayanma Yapılarında Stabilitate Analizleri	24
1.7.1.	Devrilme Tahkiki	25
1.7.2.	Kayma Tahkiki.....	26
1.7.3.	Zemin Taşıma Gücü (Taban Basıncı) Tahkiki.....	27
1.8.	Optimizasyon.....	30
1.9.	Optimizasyon Modelinin Formülasyonu.....	31
1.9.1.	Problemin Tanımlanması	31
1.9.2.	Problem İle Alakalı Verilerin Elde Edilmesi	32
1.9.3.	Tasarım Değişkenlerinin Tanımlanması	32
1.9.4.	Hedef (Amaç) Fonksiyonunun Belirlenmesi	32
1.9.5.	Kısıt Fonksiyonlarının Belirlenmesi	32
1.9.6.	Optimizasyon Probleminin Matematiksel Olarak Tanımlanması	33
1.10.	MATLAB, Çok Paradigmalı Sayısal Hesaplama Yazılımı.....	34
1.10.1.	Optimizasyon Probleminin MATLAB Programında Çözümü	34
1.11.	Literatür Taraması	37
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	40
2.1.	Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi.....	40
2.2.	Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması	41
2.3.	Kısıtların Oluşturulması	41
2.3.1.	Tasarım Kısıtı.....	41
2.3.2.	Devrilme Tahkiki	43
2.3.3.	Kayma Tahkiki.....	44
2.3.4.	Zemin Taşıma Gücü Tahkiki	44
2.4.	Optimizasyon Problemi.....	46
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	47
3.1.	Duvar Tasarımında Girilen Veriler	47
3.2.	3 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	48
3.2.1.	3 Metre Yüksekliğinde ve 40° İçsel Sürtünme Açısına Sahip Optimum Duvarın, Aynı Değerlerdeki Klasik Duvar Tipkesiti İle Karşılaştırılması	53
3.3.	4 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	55
3.4.	5 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	59
3.5.	6 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	63

3.6. 7 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	67
3.7. 8 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	71
3.8. 9 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	75
3.9. 10 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı	79
4. SONUÇLAR.....	83
5. ÖNERİLER.....	85
6. KAYNAKLAR	86
7. EKLER.....	89
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

STATİK YÜKLER ETKİSİNDEKİ AĞIRLIK TİPİ HARÇLI MOLOZ TAŞ DAYANMA DUVARLARININ OPTİMİZASYONU

Şafak YILDIZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU
2024, 88 Sayfa, 9 Sayfa Ek

Bu çalışmada; ağırlık tipi harçlı molozdan imal edilen 3-10 m yüksekliklerdeki dayanma duvarlarının, aktif toprak basıncı etkisindeki optimum kesitlerini bulmak için bir optimizasyon problemi geliştirilmiş ve bu problem MATLAB derleyicisinde yazılan bir program ile çözülmüştür. Çalışmaya öncelikli olarak piyasada imalatı yapılan ve Kamu kurumları tarafından kullanılan taş duvar tip kesitlerinin geometrisini tanımlayan tasarım değişkenlerinin belirlenmesi ile başlanmıştır. Duvar enkesit alanı hedef fonksiyonu olarak seçilmiş ve tasarım değişkenleri, tip kesitin kenar uzunluklarından oluşturulmuştur. Kısıt fonksiyonları; dış stabilite tahkikleri (devrilme, kayma ve taşıma gücü), konstrüktif ve matematiksel kurallardan türetilmiştir. Farklı tip zeminlerin optimum kesite etkisini irdelemek için içsel sürtünme açıları; 20° , 30° ve 40° şeklinde girilmiş ve aktif zemin itkisi Coulomb Teorisiyle belirlenmiştir. Diğer zemin ve duvar özellikleri sabit tutulup, farklı yükseklikler ve içsel sürtünme açılarının optimum kesite etkisi araştırılmış ve tasarım değişkenlerinin, hedef fonksiyonun ve kısıtların değerleri ‘active-set’ algoritması kullanılarak bulunmuştur. Böylece, optimum duvar enkesitleri belirlenmiş ve optimum enkesit alanları hesaplanmıştır. Aynı duvar yüksekliği ve zemin özellikleri için, yaygın kullanılan klasik enkesit ile bu çalışmada elde edilen optimum enkesit karşılaştırılmış ve optimum enkesite ait alanın klasik enkesitli duvar alanından daha düşük olduğu görülmüştür. Sonuç olarak hedef fonksiyonun minimizasyonu sağlanmış ve daha ekonomik duvarların imal edilebileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dayanma duvarı, Taş duvar kesiti, Optimizasyon

Master Thesis

SUMMARY

OPTIMIZATION OF WEIGHT TYPE MORTAR RUBBLE STONE RETAINING WALLS UNDER THE INFLUENCE OF STATIC LOADS

Şafak YILDIZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Erol ŞADOĞLU
2024, 88 Pages, Appendix Pages 9

In this study; an optimization problem was developed to find the optimum cross-sections of grouted rubble masonry gravity walls of 3-10 m height, under the influence of active earth pressure and this problem was solved with a program written in the MATLAB compiler. The study was started with the determination of the design variables that define the cross-section geometry of masonry gravity walls manufactured in the market and used by public institutions. The wall cross-section area was chosen as the objective function and the design variables were selected as the outline lengths of the cross-section. Constraint functions were derived from external stability verifications (overturning, sliding and bearing capacity), constructive and mathematical rules. Internal friction angles of soil were selected as 20°, 30° and 40° to examine the effect of different soil types on the optimum cross-section; and the active earth thrusts were determined by Coulomb Theory. The effects of height and internal friction angle on the optimum section were investigated by keeping constant the other soil and wall, and the values of the design variables, objective function and constraints were found using the 'active-set' algorithm. Thus, optimum wall cross-sections were determined and optimum cross-section areas were calculated. For the same wall height and soil properties, the commonly used classical cross-section was compared with the optimum cross-section obtained in this study, and it was seen that the area of the optimum cross-section was lower than the area of the classical cross-section. As a result, minimization of the objective function was achieved and it was determined that more economical walls could be manufactured.

Key Words: Retaining wall, Cross section of the stone wall, Optimization

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Kabartma derz tekniği kullanılarak yapılan ağırlık tipi harçlı moloz taş duvar uygulaması.....	4
Şekil 2.	Yarı ağırlık dayanma duvarı (TS 7994, 1990).....	5
Şekil 3.	Yarı ağırlık dayanma duvarı uygulaması.....	5
Şekil 4.	Konsol dayanma duvarı kesiti (TS 7994, 1990)	6
Şekil 5.	Konsol dayanma duvarı uygulaması.....	7
Şekil 6.	Eşikli konsol dayanma duvarı tip kesiti (TS 7994, 1990)	7
Şekil 7.	Payandalı dayanma duvarı uygulaması	8
Şekil 8.	Ters payandalı dayanma duvarı (TS 7994, 1990).....	9
Şekil 9.	Kafes tipi dayanma duvarı (TS 7994, 1990).....	10
Şekil 10.	Sandık tipi dayanma duvarı (TS 7994, 1990).....	10
Şekil 11.	Kazıklı perdeler; a) aralıklı kazıkla oluşturulan perdeler, b) teğet kazıklı perdeler, c) enjeksiyonlu teğet kazıklı perdeler, d) bindirmeli kazıklı perdeler (TS 7994, 1990).....	11
Şekil 12.	Diyafram duvarların yapım aşaması (Gökalp, 2017)	12
Şekil 13.	Palplanş perde (Önal, 2024)	13
Şekil 14.	Donatılı zemin duvar imalatı	14
Şekil 15.	Birim uzunluğa gelen kuvvet ve yanal toprak basıncı (Uzuner, 2007)	18
Şekil 16.	Genel zeminde, aktif yanal basınçlar (Uzuner, 2007)	19
Şekil 17.	Genel bir zeminde, pasif yanal basınçlar (Uzuner, 2007)	21
Şekil 18.	Aktif durumda üçgen kamaya ve duvara etki eden kuvvetler (Uzuner, 2007).....	22
Şekil 19.	Pasif durumda üçgen kamaya ve duvara etki eden kuvvetler (Uzuner, 2007).....	23
Şekil 20.	Devrilme tahkikinde duvara etkiyen kuvvetler (Uzuner, 2007)	25
Şekil 21.	Kayma tahkikinde duvara etkiyen kuvvetler (Uzuner, 2007).....	26
Şekil 22.	Taşıma gücü göçmesi (Uzuner, 2007).....	27
Şekil 23.	Eksantrisenin çekirdek içinde olma durumu (Uzuner, 2007).....	28
Şekil 24.	Eksantrisenin çekirdek üzerinde olma durumu (Uzuner, 2007).....	29
Şekil 25.	Eksantrisenin çekirdek dışında olma durumu (Uzuner, 2007)	29
Şekil 26.	Optimum tasarım aşamaları (Hartmann, 2006)	31
Şekil 27.	Tasarım değişkenlerinin tanımlanması	40

Şekil 28.	3 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	52
Şekil 29.	Tahkikler neticesinde oluşturulan klasik taş duvar enkesiti	54
Şekil 30.	4 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	58
Şekil 31.	5 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	62
Şekil 32.	6 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	66
Şekil 33.	7 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	70
Şekil 34.	8 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	74
Şekil 35.	9 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitler	78
Şekil 36.	10 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri.....	82
Ek Şekil 1.	H+Df=3 m, $\phi=40^\circ$ değerlerindeki optimum duvara ait değerler.....	97

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dayanma yapılarının sınıflandırılması	3
Tablo 2. Zemin cinsine bağlı poisson oranlarına göre K_0 değerleri.....	17
Tablo 3. Optimizasyon komutlarının kullanım amaçları	35
Tablo 4. F_{mincon} komutunun farklı gösterimleri.....	35
Tablo 5. Girdi parametreleri.....	36
Tablo 6. Çıktı parametreleri	36
Tablo 7. Optimizasyon problemi için tanımlanan değerler.....	48
Tablo 8. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	49
Tablo 9. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	50
Tablo 10. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	51
Tablo 11. $H+D_f=4$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	55
Tablo 12. $H+D_f=4$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	56
Tablo 13. $H+D_f=4$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	57
Tablo 14. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	59
Tablo 15. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	60
Tablo 16. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	61
Tablo 17. $H+D_f=6$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	63
Tablo 18. $H+D_f=6$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	64
Tablo 19. $H+D_f=6$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	65
Tablo 20. $H+D_f=7$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	67
Tablo 21. $H+D_f=7$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	68

Tablo 22.	$H+D_f=7$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	69
Tablo 23.	$H+D_f=8$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	71
Tablo 24.	$H+D_f=8$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	72
Tablo 25.	$H+D_f=8$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	73
Tablo 26.	$H+D_f=9$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	75
Tablo 27.	$H+D_f=9$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	76
Tablo 28.	$H+D_f=9$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	77
Tablo 29.	$H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri	79
Tablo 30.	$H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	80
Tablo 31.	$H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri	81

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Enkesit alanı
c	: Kohezyon değeri
e_x	: Eksantrisite
F_{SX}	: Yatayda statik aktif sürşarj itkisi
F_{sy}	: Düşeyde statik aktif sürşarj itkisi
$f(x_i)$	: Hedef (amaç) fonksiyonu
$g_j(x)$	: Eşitsizlik tipi kısıt fonksiyonu
$G_S(devrilme)$	: Devrilmeye karşı güvenlik sayısı
$G_S(kayma)$	: Kaymaya karşı güvenlik sayısı
H	: Duvar arkası zemin yüzünden derinlik
H_{arka}	: Duvar arka yüzey yüksekliği
$h_k(x)$	: Eşitlik tipi kısıt fonksiyonu
$H + D_f$	: Toplam duvar yüksekliği
I_p	: Plastisite indisi
K	: Toprak basıncı katsayısı
K_a	: Aktif zemin basınç katsayısı
K_p	: Pasif zemin basınç katsayısı
$\max(f(x))$	: Maksimizasyon fonksiyonu
$\min(f(x))$	: Minimizasyon fonksiyonu
P_a	: Aktif bileşke kuvvet
P_h	: Yatayda statik aktif zemin itkisi
P_p	: Pasif bileşke kuvvet
P_v	: Düşeyde statik aktif zemin itkisi
P_0	: Birim uzunluğa gelen kuvvet
q	: Sürşarj yükü
q_{emin}	: İzin verilebilir taşıma gücü
R	: Bileşke kuvvet
W	: Duvar ağırlığı
W_{y-y}	: Atalet momenti

x_i	: Tasarım değişkenleri
α	: Duvar arka yüzünün yatayla yaptığı açı
β	: Duvar arkası dolgu eğim açısı
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_n	: Doğal zemin birim hacim ağırlığı
γ_t	: Taş duvar birim hacim ağırlığı
γ_y	: Yatayda moment kolu
γ_z	: Zemin birim hacim ağırlığı
δ	: Duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı
ΔM_{y-y}	: y-y eksenine göre toplam moment
ν	: Poisson oranı
σ	: Aktif yanal zemin basıncı
σ_{max}	: Maksimum taban basıncı
σ_{min}	: Minimum taban basıncı
σ'_d	: Zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan gerilme
σ_p	: Pasif yanal zemin basıncı
σ'_y	: Yanal gerilme
$\Sigma F(karşı koyan)$	: Kaymaya karşı koyan kuvvetlerin toplamı
$\Sigma F(kaydıran)$	: Kaydıran kuvvetlerin toplamı
$\Sigma M_D(deviren)$	: Burun noktasına göre deviren momentler
$\Sigma M_D(karşı koyan)$	: Burun noktasına göre devrilmeye karşı koyan momentler
ΣN	: Temel tabanına etkiyen toplam düşey yük
ϕ	: İçsel sürtünme açısı
ϕ'	: Efektif içsel sürtünme açısı
AKO	: Aşırı konsolidasyon oranı
NK	: Normal konsolide

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Şevlerin stabilitesini sağlamak, tarihin ilk çağlarından itibaren sıklıkla karşılaşılan ve önem arz eden problemlerden bir tanesidir. Uygarlığın sıfır noktası olarak kabul edilen Göbeklitepe'nin dış çeperlerinde dahi zeminleri iki farklı kotta tutmak için yığma taşlarla imal edilen dayanma (istinat) yapıları göze çarpan ilk unsurlardandır.

Dayanma yapıları, zeminin ağırlığından ötürü oluşan yanal toprak basıncını engelleyen ve sonuç olarak şevin bulunduğu konumu korumasını sağlayan yapılardır.

Dayanma yapıları imal edilirken kullanım amacına göre fiziksel, çevresel, ekonomik vb. faktörler dikkate alınmalı ve en uygun tasarım buna göre yapılmalıdır. Ayrıca deprem durumu da gözetilmeli, küçük ve orta şiddetteki depremlere önemli bir hasar almaksızın ve elastik sınırlar içinde kalacak biçimde dayanmalıdır (URL-1). Aksi takdirde yapıların çökmesi, göçmesi, kayması gibi durumlarla karşılaşılır ve sonucunda ciddi yaralanmalara, hatta ölümcül kazalara davetiye çıkarması muhtemeldir.

İnsanların günlük yaşantısına empoze edilen teknolojiyi, bilim dallarında da kullanmak iş gücü, maddiyat ve süre bakımından kazanımlar sağlamaktadır. Günümüzde, geoteknik mühendisliğinde, dayanma yapıları tasarlanırken bilgisayar programları kullanılmaya başlanmakta ve en uygun tasarımlar bu şekilde elde edilmeye çalışılmaktadır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Zeminlerde, eğimden kaynaklı kot farkının bulunduğu alanlarda düz zemin oluşturmak istendiğinde, zeminleri iki farklı düzlemde tutmak ve zemin basınçlarını karşılamak üzere dayanma yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dayanma yapılarını, statik etkiler altında (devrilme, kayma ve taşıma gücü) stabilitesini koruyacak şekilde boyutlandırmak gerekmektedir. Boyutlandırma yapılırken inşaat mühendisliğinin sözlü kuralları olan emniyet, ekonomi ve estetik kavramlarına riayet etmek gerekmektedir. Kurumlarca yayınlanmış yönetmeliklerdeki hesaplamalara bağlı kalarak emniyetli bir yapı yapmak öncelikli olmakla birlikte günümüz şartlarında maliyetin de minimuma indirilmesi istenmektedir.

Bu tezimizde, günümüzde sıkça imal edilen dayanma yapılarından biri olan ağırlık tipi harçlı moloz taş duvarın, statik yükler altında, maliyeti minimuma indirmek için teknik ve ekonomik optimum kesit alanına sahip enkesitler elde etmek amaçlanmıştır. Bu şekilde yapılacak olan duvarın kesit alanını minimize ederek birim metrekare fiyatını düşürüp maliyeti azaltmak ve en uygun çözümü belirlemek hedeflenmektedir.

Dayanma yapısını, MATLAB programında optimizasyon problemi haline getirmek için statik yükleri ve ilgili yönetmeliklerdeki kuralları kısıt fonksiyonu haline getirip amaç fonksiyonu olarak da enkesit alanının optimum değerini alarak boyutların belirlenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca farklı duvar yükseklikleri ve farklı içsel sürtünme açıları altında kombinasyon yapılarak mümkün olan en optimum duvarın hangi değerlerde bulunduğu saptanacaktır.

1.3. Dayanma Yapıları ve Çeşitleri

Dayanma yapıları, iki farklı kotta bulunan zemindeki toprak basıncını, istenen bir güvenlikle karşılayan ve zeminin doğal şev açısını almasını önleyerek dengeyi koruyan yapı elemanıdır (TS 7994, 1990).

Seçilecek dayanma yapısının türü, kullanma işlevi, iki farklı kot arasında istenen yükseklik, alanın özellikleri, mevcut yapı malzemeleri, yer altı suyu durumu ve duvar arkası dolguda kullanılacak malzemenin cinsine göre belirlenmelidir. Bu dayanma yapıları Tablo 1’de gösterildiği şekilde rijit, yarı rijit ve esnek olarak sınıflandırılıp alt dallara ayrılmaktadır (TS 7994, 1990).

Tablo 1. Dayanma yapılarının sınıflandırılması

Rijit Dayanma Yapıları	Yarı Rijit Dayanma Yapıları	Esnek Dayanma Yapıları
Ağırlık Dayanma Duvarı	Kafes Tipi Dayanma Duvarı	Palplanş Perde
Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı	Sandık Tipi Dayanma Duvarı	Donatılı Zemin Dayanma Duvarı
Konsol Dayanma Duvarı	Kazıklı Perdeler	
Eşikli Konsol Dayanma Duvarı	Diyafram Duvarlar	
Payandalı Dayanma Duvarı		
Ters Payandalı Dayanma Duvarı		

1.3.1. Rijit Dayanma Yapıları

En eski ve yaygın kullanılan dayanma yapılarından biri olan rijit dayanma yapıları, yanal basınç kuvvetlerini genel olarak kendi ağırlıkları ile karşılamaya çalışmaktadır ve eğilmeye karşı rijitlikleri fazladır. Kuvvetlere karşı koyulamaması halinde yapıda devrilme, kayma ve toptan göçme sorunlarıyla karşılaşılabilir.

Ağırlık, yarı ağırlık, konsol, eşikli konsol, payandalı ve ters payandalı duvar olarak kategorize edilen rijit dayanma yapıları, hangi amaçla kullanılacağına bağlı olarak seçilerek imal edilmektedir.

1.3.2. Ağırlık Dayanma Duvarı

Ağırlık tipi dayanma duvarı çoğunlukla moloz taş, beton, kaya ya da briket kullanılarak yapılmaktadır. Taş ile imal edilenler, harçlı veya harçsız moloz taşların belli bir

nizama göre, aralarında kilit oluşturacak şekilde üst üste istif edilmesiyle kendi hacmini sağlayıp toprak basınçlarını bu ağırlıklarıyla karşılarlar. Yükseklik arttıkça dayanımın düşmemesi için kesit alanını arttırmak gerekmektedir. Bu da kullanılan malzemeyi arttırarak maliyet artışına neden olur. Ekonomik yüksekliği genel itibariyle 12 metre ile sınırlandırılır ve bu yüksekliğin üstünde taş duvarın yapılması tercih edilmemektedir. Yapılan duvarın içinde barbakan bırakılarak ve duvar arkasında drenaj boruları yerleştirilerek mevcut yer altı suyunun drenajı sağlanır. Duvar arkasında yapım esnasında kullanılan granüler malzeme de filtre vazifesi görerek suyun drenajında önemli bir rol oynar. Duvar ön yüzündeki taşların arasında genelde gömme oluklu veya kabartma derz yapılır. Şekil 1’de eğimi yüksek olan şevin kayma riskine karşı konut güvenliğini sağlamak ve afeti önlemek için kabartma derz tekniği kullanılarak yapılan harçlı moloz taş dayanma duvarı örneği görülmektedir.

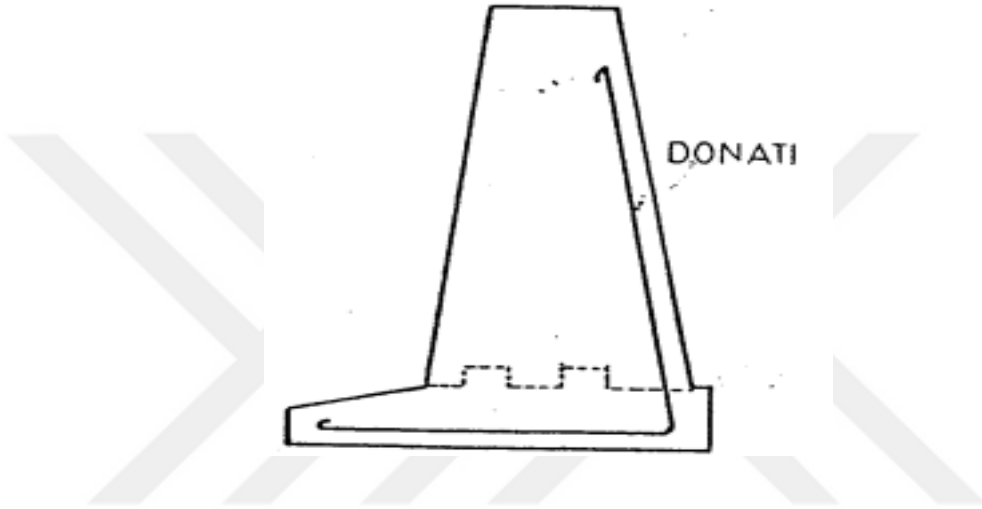


Şekil 1. Kabartma derz tekniği kullanılarak yapılan ağırlık tipi harçlı moloz taş duvar uygulaması

Moloz taş, ocaktan çıkarılıp parçalandıktan sonra kullanılacağı yere göre kenarlarının düzeltildiği, görünen yüzünde köşe açıları 60 dereceden ve en küçük kenarının ise 10 cm’den küçük olmayan taşlardır (Tosun, 2005). Moloz taşın dışında günümüzde beton dökülerek de imal edilen beton ağırlık duvarları da sıklıkla tercih edilmektedir.

1.3.3. Yarı Ağırlık Dayanma Duvarı

Ağırlık dayanma duvarındaki kesit alanını azaltmak ve malzemeden tasarruf etmek amacıyla donatı eklenerek temel genişliği küçültülür ve yarı ağırlık dayanma duvarları elde edilir. Donatılar, duvar arka iç kısmında ilave edilip çekme gerilmelerinin karşılanması sağlanır. Şekil 2’de yarı ağırlık dayanma duvarı tip kesiti ve Şekil 3’te uygulaması gösterilmektedir.



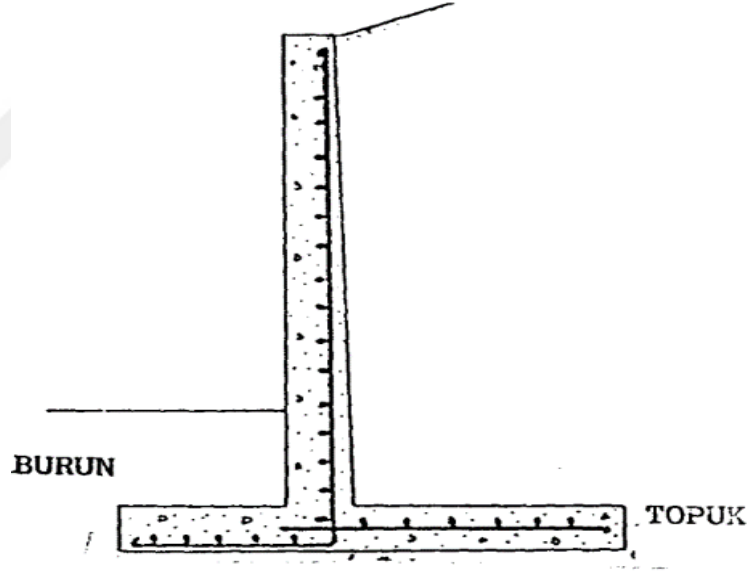
Şekil 2. Yarı ağırlık dayanma duvarı (TS 7994, 1990)



Şekil 3. Yarı ağırlık dayanma duvarı uygulaması

1.3.4. Konsol Dayanma Duvarı

Betonarme perde duvar olarak adlandırılan konsol dayanma duvarı, beton ile donatının birleşiminden oluşmaktadır. İçeriğindeki beton, basınç dayanımına; çelik ise çekme dayanımına sahip olduğundan duvar gövde kesiti oldukça incelmektedir. Yüksekliğe bağlı olarak gelen yükleri güvenli karşılamak için Şekil 4'te belirtilen kesit değişkenlik göstermektedir. Betonarme perde duvar oluşturulurken öncelikle geniş bir temel kazısı yapılır. Temelde, gövde bölgesi öne yakın orta noktaya yerleştirilecek şekilde ön kısımda burun, arka kısımda topuk alanı bırakılır, burun ve topuk kısmına dolgu yapılarak duvarın kendi ağırlığının oluşturduğu dayanımın dışında sistem dengelenmeye çalışılır. Konsol dayanma duvarları genelde Şekil 5'te gösterildiği gibi uygulanmaktadır. Günümüzde sıkça kullanılan konsol dayanma duvarı 20 metre yüksekliğine kadar imal edilebilmektedir. Taş duvardan farklı olarak daha az malzeme ile aynı dayanma gücünü sağlamaktadır.



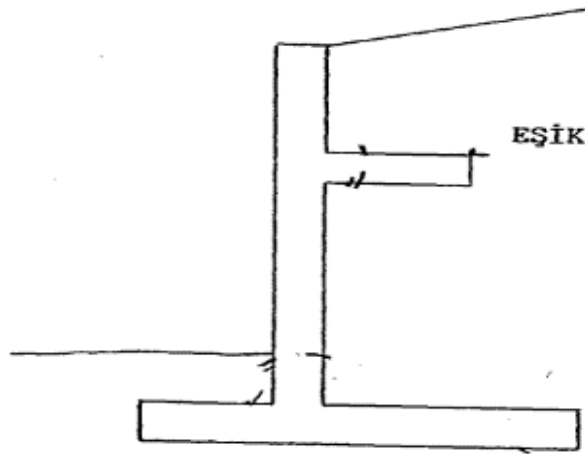
Şekil 4. Konsol dayanma duvarı kesiti (TS 7994, 1990)



Şekil 5. Konsol dayanma duvarı uygulaması

1.3.5. Eşikli Konsol Dayanma Duvarı

Eşikli konsol dayanma duvarındaki temel hedef, duvar arkasına eklenen bir veya birden fazla yatay eşiklerin üstüne gelen zeminlerin oluşturduğu momentin, temelde oluşan maksimum momenti dengelenmesidir. Eşikli konsol dayanma duvarının tip kesiti Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Eşikli konsol dayanma duvarı tip kesiti (TS 7994, 1990)

1.3.6. Payandalı Dayanma Duvarı

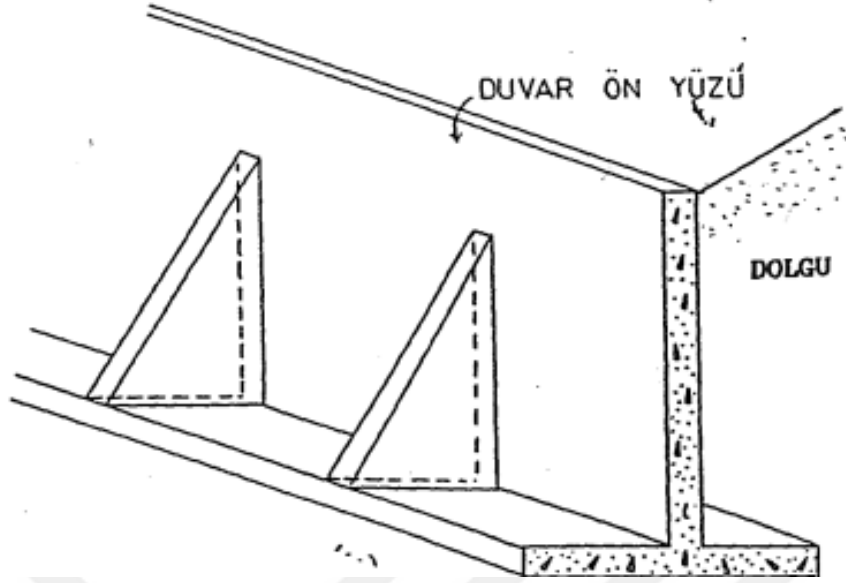
Payandalı dayanma duvarı, konsol dayanma duvarlarının arka kısmına, kontrafor olarak da anılan bu betonarme yapının eklenmesiyle zemin yükünden kaynaklanan basıncın temele aktarılmasına destek sağlar. Genelde çok yüksek boyutlarda imalat yapılacağı zaman gerek duyulur. Şekil 7’de payandalı dayanma duvarının uygulaması görülmektedir.



Şekil 7. Payandalı dayanma duvarı uygulaması

1.3.7. Ters Payandalı Dayanma Duvarı

Ters payandalı dayanma duvarı, payandaların duvarın arka yüzü yerine ön yüzüne uygulanmasıdır. Duvar arkasındaki toprak basıncını duvar ön yüzünde bulunan payandaların basıncı dengelemeye çalışır. Payandalı dayanma duvarından farklı olarak, Şekil 8’de de görüldüğü gibi, duvar arkasında bulunan topuk kısmı kısa olduğundan, üzerine gelecek olan düşey toprak basıncı daha az olacağı için dayanıma etkisi daha düşüktür.



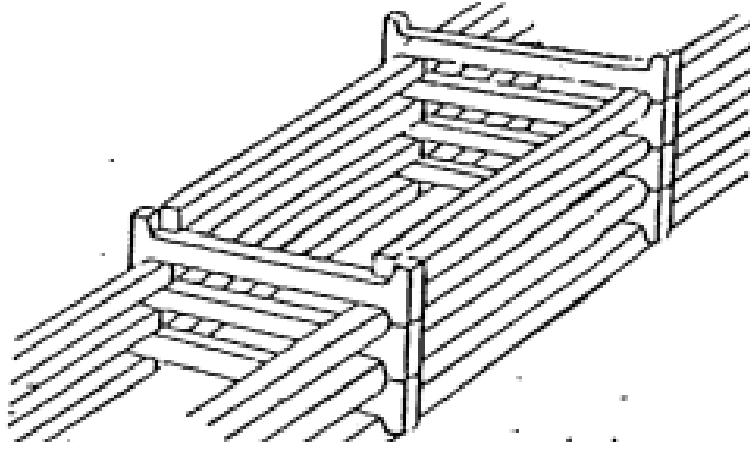
Şekil 8. Ters payandalı dayanma duvarı (TS 7994, 1990)

1.3.8. Yarı Rijit Dayanma Yapıları

Yarı rijit dayanma yapıları, üzerine gelen toprak basıncının bir kısmını ağırlıkları ile bir kısmını ise temele aktaracak şekilde karşılamaya çalışıp dayanımı sağlarlar. Başlıca yarı rijit dayanma yapıları; kafes tipi dayanma duvarı, sandık tipi dayanma duvarı, kazıklı perdeler ve diyafram duvarlardır.

1.3.9. Kafes Tipi Dayanma Duvarı

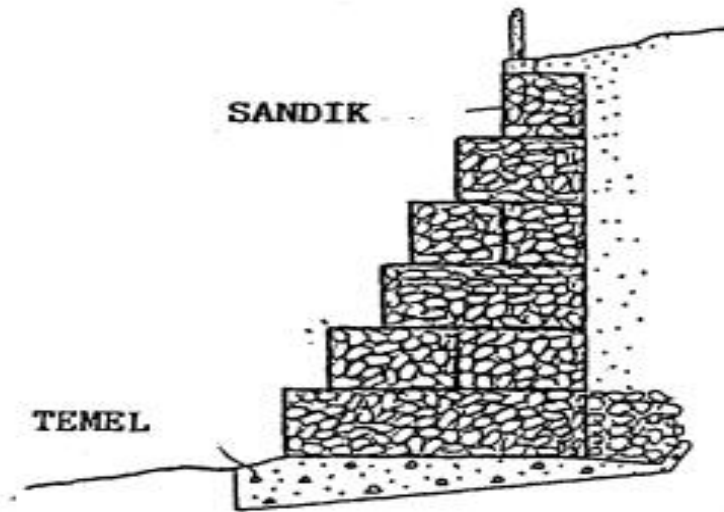
Kafes tipi dayanma duvarı, Şekil 9’da görüldüğü üzere birbirine geçecek şekilde kilitli kirişler ile hücreler oluşturulur. İçleri, taş veya farklı granüler malzemeler ile doldurulur. Üst üste ve yan yana eklenerek dayanma duvarı imal edilir. 6 metreden fazla yüksekliklerde hücre sayısı artırılır. Çelik veya betonarme kafes tipleri mevcuttur (TS 7994, 1990).



Şekil 9. Kafes tipi dayanma duvarı (TS 7994, 1990)

1.3.10. Sandık Tipi Dayanma Duvarı

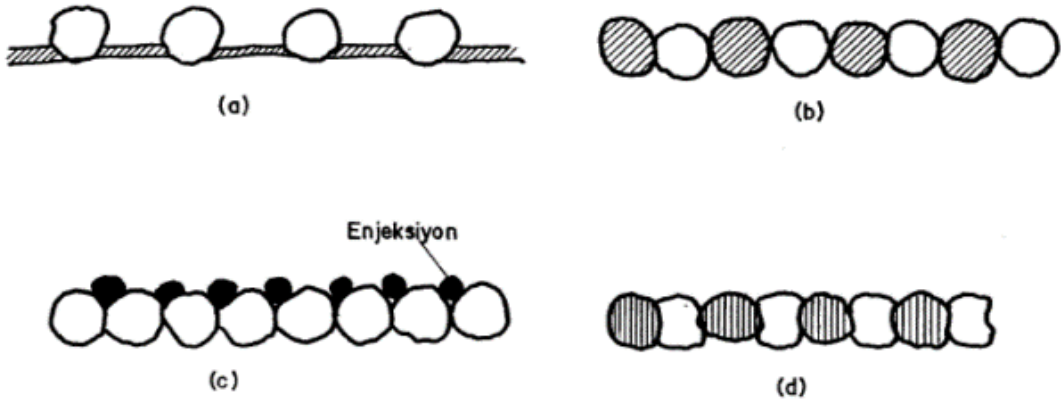
Paslanmaz çelik tellerle yapılan kafes tipi tel örgü sandıklar içine kaya dolgu yerleştirilerek uygulanır. Tipik sandık taban boyutları 1m x 1m uzunluğu 2 m - 4 m'dir. Bu sandıkların Şekil 10'daki gibi üst üste konulmasıyla sandık tipi dayanma duvarı oluşturulur. Duvarın gövdesi 250 mm - 150 mm çapında kaya dolgu olduğundan drenaj sorunu çıkmaz. Farklı oturmalarından dolayı hasara uğramaz. Bu duvarlar deniz yapı inşaatlarında, su kanalları şevlerinin korunmasında ve erozyon önleme amacıyla da kullanılabilir (TS 7994, 1990).



Şekil 10. Sandık tipi dayanma duvarı (TS 7994, 1990)

1.3.11. Kazıklı Perdeler

Tutulması gereken zemin yüksekliği fazla, buna karşın zemin özellikleri yetersiz olan ortamda önce yerine dökülen betonarme kazıklardan bir perde oluşturulur ve kazı yapılır. Kazık çapları toprak basıncına bağlı olarak 45 cm - 80 cm arası seçilir. Kazıklar uzun yapılmak istenirse beton kuşaklı veya kuşaksız uygulanan, bir veya birkaç sıra ankrajla desteklenebilir. Şekil 11’de de görülen bu tür perdeler; (a) aralıklı kazıkla oluşturulan perdeler, (b) teğet kazıklı perdeler, (c) enjeksiyonlu teğet kazıklı perdeler ve (d) bindirmeli kazıklı perdeler şeklinde imal edilebilirler (TS 7994, 1990).

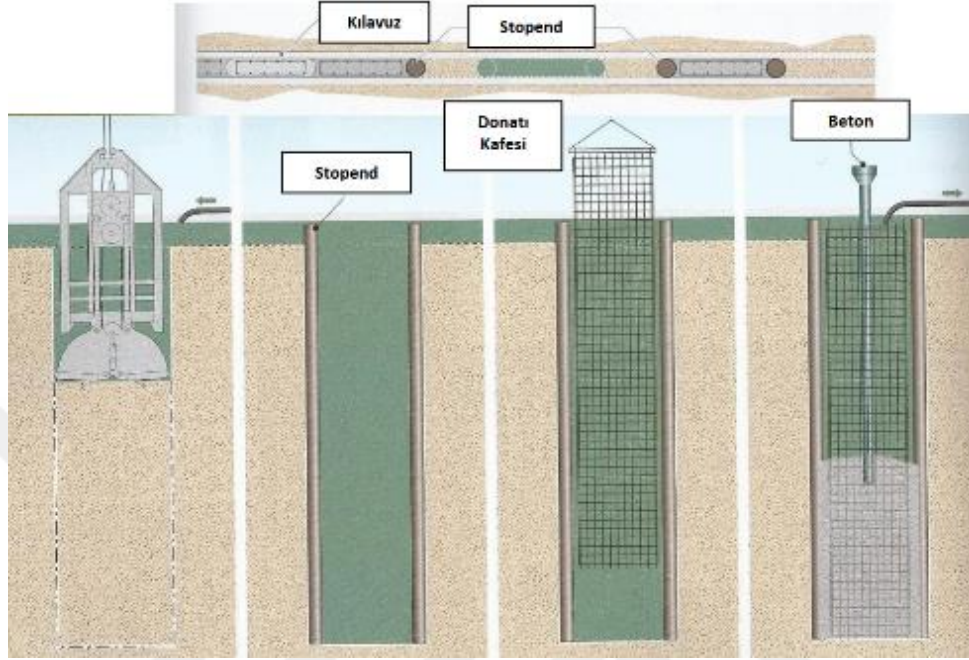


Şekil 11. Kazıklı perdeler; a) aralıklı kazıkla oluşturulan perdeler, b) teğet kazıklı perdeler, c) enjeksiyonlu teğet kazıklı perdeler, d) bindirmeli kazıklı perdeler (TS 7994, 1990).

1.3.12. Diyafram Duvarlar

Diyafram duvarlar, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu ve kendini tutamayan zeminlerde derin kazıların yapılabilmesi için oluşturulan geçirimsiz betonarme perdelerdir. Duvar yüksekliğine ve kazılacak olan toprağın niteliğine göre ekipman seçilir. Kazının yatay ve düşey yönde sapmasını engellemek için proje hattına uygun olarak inşa edilen kılavuz duvar kullanılır ve diyafram duvar imalatı bu duvar içinde yapılır. Diyafram duvar yapılacak alandaki kazı çukurunun göçmesini engellemek amaçlı kil minerallerinin bir çeşidi olan bentonit kullanılır ve zemin göçmesi önlenir. Kazı işlemi tamamlandığında önceden hazırlanan donatı, vinç aracılığı ile kazı çukuruna yerleştirilir ve ardından tremi boruları

yardımla betonlama yapılır. Şekil 12’de diyafram duvarların yapım aşaması görülmektedir.



Şekil 12. Diyafram duvarların yapım aşaması (Gökalp, 2017)

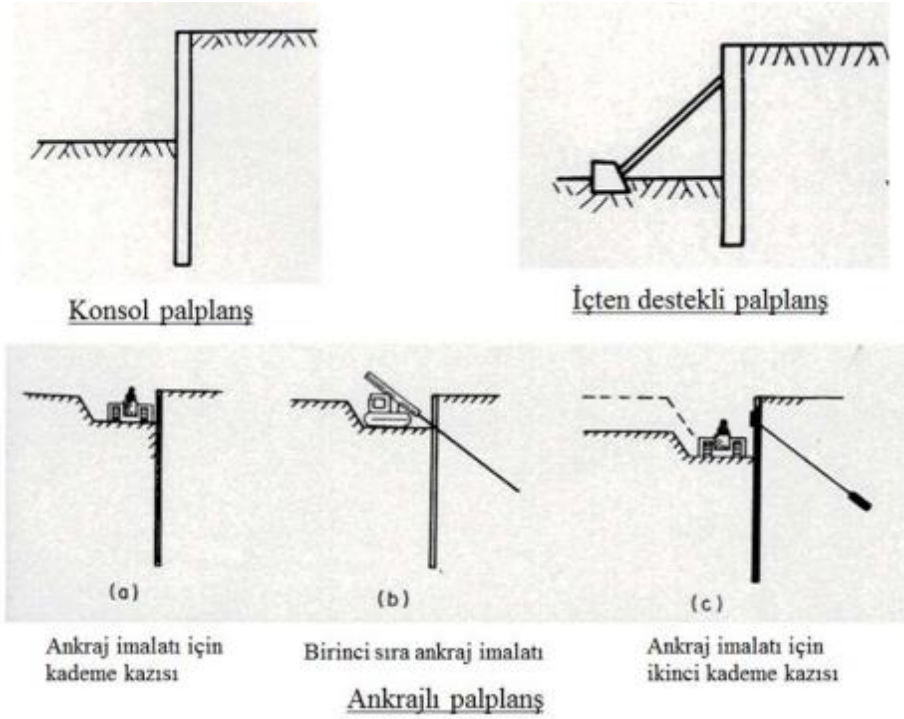
1.3.13. Esnek Dayanma Yapıları

Esnek dayanma yapıları, temel zeminin geleneksel duvarları taşıyamayacak kadar yetersiz olması, su kenarlarında inşaat çalışmalarının diğer tipler için zorluğuna karşı yapımda kolaylık sağlaması sebebiyle tercih edilir (TS 7994, 1990).

1.3.14. Palplanş Perde

Palplanş duvar, titreşim, çakarak ya da statik baskıyla sürülerek uygulanan, birbirine geçmeli çelik veya beton palplanş elemanlarından oluşmaktadır. Zemin içinde bulunan ankastrelik uzunluğu, pasif zemin direnci ve palplanş kesitinin eğilme dayanımı ile palplanş arkasında bulunan su basıncı ve zemin etkisine karşı koyacak şekilde belirlenmesi gerekir.

Yük taşıma mekanizması açısından Şekil 13’te görüldüğü gibi konsol palplanş ve ankrajlı veya iç destekli palplanş olmak üzere türleri mevcuttur (Önal, 2024).



Şekil 13. Palplanş perde (Önal, 2024)

1.3.15. Donatılı Zemin Dayanma Duvarı

Gelişen teknoloji ile alışlagelmiş birçok sistem, yerini daha pratik ve daha ekonomik yeni çözümlere ve teknolojilere bırakmaktadır. Buna örnek olarak Şekil 14'te görülen donatılı zemin duvarları verilebilir. Açık kazı yapılması gereken yerlerde betonarme perdeler, ağırlık tipi taş istinat duvarları, kazıklı perdeler gibi çözümler yerine, yeni bir alternatif geliştirilmiştir. Bu yeni sistem, donatılı zemin dayanma duvarları veya toprakarme olarak adlandırılmaktadır. Prensip olarak, donatılı zemin duvar, sıkıştırılmış granüler malzeme ile düşeyde belirli aralıklarla yerleştirilen yatay donatı tabakalarından oluşan bir istinat sistemidir. Zeminin çekmeye karşı zayıflığı, araya yerleştirilen metal veya polimer donatılar sayesinde giderilmektedir. Kullanılan donatılar şerit veya ızgara şeklindedir. Şerit donatılar genellikle üzerinde çeşitli yivler bulunan prefabrik galvanizli çelik malzemeden oluşmaktadır. Galvaniz çelik şeridin korozyona uğramasını engellemek için polyester şerit donatılar kullanılabilir. Donatının, zemin ile kaynaşmasını sağlamak amacıyla sürtünme katsayısı yüksek polimer cinsi geogrid donatı malzemeler de geliştirilip kullanılmaktadır (Tezcan & Buket, 1999).

Ön kısımda kullanılan malzemeler ise çoğunlukla prefabrik betondan yapılır ve donatılar prefabrik yapı elemanına bağlanır. Bu prefabrik yapıların tercih edilme nedeni dayanıklı oluşu, yanal toprak basınçlarını karşılaması ve estetik açıdan güzel görünmesidir.



Şekil 14. Donatılı zemin duvar imalatı

1.4. Dayanma Yapılarının Tasarımı

Dayanma duvarı tasarlamak için çalışan mühendislerin tecrübelerine ve önsezilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Tasarım beş aşamadan oluşmaktadır (Clayton vd., 2014):

- Uygun duvar tipinin seçilmesi
- Ön boyutlandırma
- Zemin parametrelerinin belirlenmesi
- Dış stabilite analizlerinin yapılması
- İç stabilite analizlerinin yapılması

Tüm bu parametreler göz önünde bulundurularak duvar tasarımı yapılır. Bu parametrelere uyulmadığı takdirde amaca hitap etmeyecek ve sorunun çözülme şekli ekonomik olmayacaktır.

1.5. Dayanma Yapılarına Etkiyen Kuvvetler

Dayanma yapıları, inşa edileceği yer ve yapılış amaçlarına göre farklı yüklerin etkisinde kalırlar. Tasarım esnasında bu yükler iyi belirlenip hesaba dahil edilmelidir. Aksi takdirde dikkate alınmayan bir yük duvarda olumsuz bir durum ortaya çıkarabileceği gibi gereksiz alınan bir yük ise tasarımı ekonomik çözümlerden uzaklaştıracaktır.

Dayanma yapılarının öz ağırlığı, yapıda iç kuvvetlerin doğmasına sebebiyet verecektir. Ağırlık duvarlarda kendi ağırlığından dolayı doğan ve ağırlık merkezinde bulunan düşey yük, duvar topuğuna göre bir moment oluşturacaktır. Duvar ağırlığının, temel ile zemin arasındaki sürtünme katsayısının çarpımı ile doğacak yatay kuvvet ise, duvara gelen yanal zemin basınçlarına karşı koyma görevini üstlenir.

Dayanma duvarının tutması istenen şevdeki zemin, duvar üzerinde yanal toprak basınç oluşturacaktır. Bu yüklerin hesaplanmasında birçok teori ortaya konmuştur. Duvar önünde bulunan zeminin de duvar üzerinde yanal basıncı mevcut ve bu basınç, duvara olumlu yansır. Ancak genelde güvenli tarafta kalmak amacıyla hesaplara dahil edilmez.

Duvar öz ağırlığı ve zeminin uyguladığı kuvvetler dışında, yer altında bulunan su basınçları, bu suların donma ve çözülmesinden oluşan don tesiri, trafik yükünden kaynaklanan titreşimler, deprem etkileri, duvar arkası dolgu üstünde bulunan sürşarj yükü ve dolgunun sıkıştırılması için kullanılan silindir yükü gibi etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır (URL-2).

1.6. Yanal Zemin Basınç Teorileri

Dayanma yapıları, bulundukları konum gereği tutulan toprağın yatay deformasyonunu sınırladığından toprak basıncı olarak bilinen yanal zemin basınçlarının etkisinde kalırlar. Yanal zemin basınçları elastik durumdaki zemin basıncı, aktif ve pasif zemin basınçlarından oluşur ve her durum için kullanılan zemin basınç katsayıları farklı değerlerdedir (Coduto vd., 2016). Yanal zemin basınçlarının bilinmesi için Rankine (1857) ve Coulomb (1776) olmak üzere başlıca iki teori geliştirilmiştir (Şadoğlu, 2014).

1.6.1. Rankine Teorisi

William Rankine (1857), bir zemin ortamının plastik denge durumuna ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alarak kohezyonsuz zeminlerin yanal basınçlarını hesaplamak için bir

çözüm geliştirmiştir. Duvar arka yüzünün pürüzsüz yani sürtünmesiz olduğu kabul edilmektedir. Zemin ortamının tüm noktalarında kırılma bulunuyorsa, böyle bir duruma plastik denge denilmektedir. Zeminin deformasyona uğramaması ise elastik denge durumudur.

Yarım sonsuz ortamda teorik olarak sükunet (elastik denge) durumu ve plastik denge şeklinde iki farklı durum oluşabilmektedir. Bir ortam elastik denge durumunda ise, gerilmedeki küçük bir artış küçük miktarda deformasyona neden olur. Gerilme artmaya devam ettirilerek zemin, kayma mukavemetine yaklaştırıldığında gerilme artırılmamasına rağmen deformasyonların arttığı görülür. Artık zemin, akma haline geçmiş ve plastik dengeye ulaşmış olur.

- Elastik denge durumunda, herhangi bir deformasyonun olmadığı doğal bir durumdaki zemin tabakası için yatay ve düşey efektif gerilme arasındaki ilişki,

$$\sigma'_y = \sigma'_d * K \quad (1)$$

şeklindedir. Burada, σ'_y , yanal gerilmeyi; σ'_d , zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan gerilmeyi ve K : toprak basıncı katsayısını göstermektedir. K değeri, zemin cinsi, gerilme zamanı vb. faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Elastik dengede K ,

$$K = K_0 = \frac{\sigma'_y}{\sigma'_d} \quad (2)$$

şeklinde sabit bir katsayıdır. Tabii zeminler için K_0 değeri, 0.4-3.0 aralığında değerler alabilir. Bu durumda yatay yer değiştirme olmaz. Aşırı konsolide killerde K_0 değeri, 1'den büyük olabilir. Zemin cinsine göre K_0 değeri için farklı parametreler geliştirilmiştir.

Normal konsolide kum için (Jaky, 1945),

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (3)$$

tanımlanır. Burada, ϕ' , efektif içsel sürtünme açısını ifade etmektedir. Aşırı konsolide kum için ise (Mayne & Kulhawy, 1982),

$$K_0 = K_0^{NK} * AKO^{\sin \phi'} \quad (4)$$

denklemini tanımlanır. Bu denklemde, AKO, aşırı konsolidasyon oranını; NK, normal konsolideyi belirtmektedir. Normal konsolide kil için,

$$K_0 = 0.19 + 0.23 * \log I_p \quad (5)$$

denklemini kullanılır. Bu denklemde, I_p , plastisite indisi olarak ifade edilmektedir. Aşırı konsolide kil için,

$$K_0 = 0.7 + 0.1 * (AKO - 1.2) \quad (6)$$

denklemini kullanılır. Aşırı konsolide killerde K_0 değeri 1'den büyük olabilir. K_0 değeri, ν , poisson oranı ile ifade edilecek olursa,

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu} \quad (7)$$

denklemini elde edilir. Zemin cinsleri ve buna bağlı poisson oranları için hesaplanan K_0 değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Zemin cinsine bağlı poisson oranlarına göre K_0 değerleri

Zemin Cinsi	ν İçin Tipik Değerler	K_0
Doygun Kil	0.40-0.50	0.67-1.00
Doygun Olmayan Kil	0.10-0.30	0.11-0.42
Kumlu Kil	0.20-0.30	0.25-0.42
Silt	0.30-0.35	0.42-0.54
Sıkı Kum	0.20-0.40	0.25-0.67
İri Kum	0.15	0.18
İnce Kum	0.25	0.33
Kaya	0.10-0.40	0.11-0.67

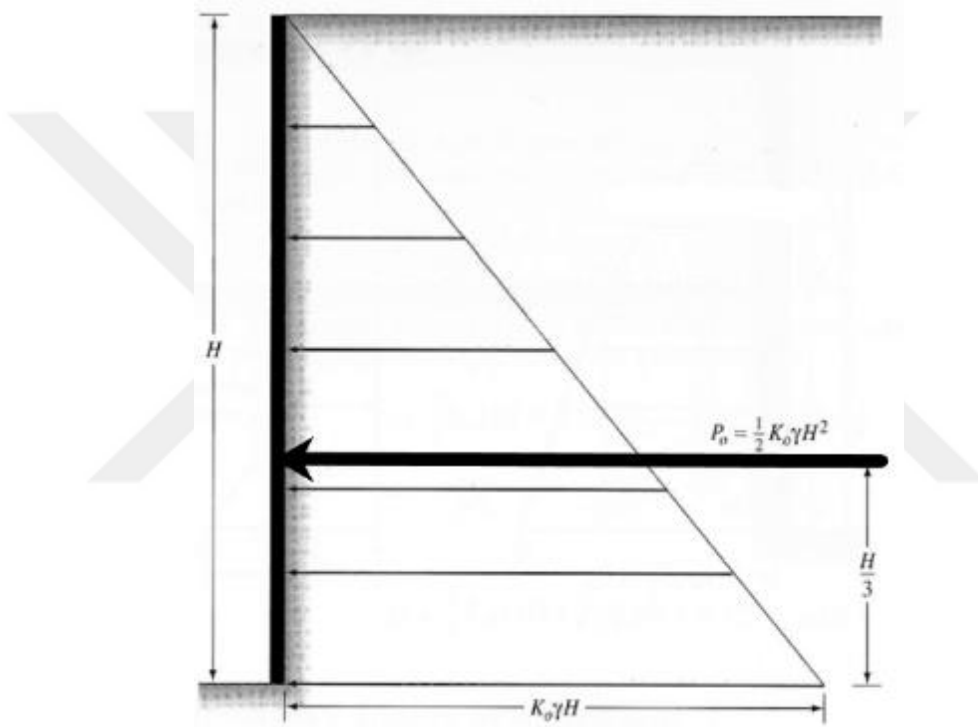
Tüm bu değerler dikkate alındığında sükunette yanal toprak basıncı, σ_h' ;

$$\sigma_h' = K_0 * \gamma * H \quad (8)$$

şeklindedir. Burada, γ , zeminin birim hacim ağırlığını; H , duvar arkası zemin yüzünden derinliğini ifade etmektedir. Birim uzunluğa gelen kuvvet, P_0 ise Şekil 15'te görülen üçgenin alan hesabından,

$$P_0 = \frac{1}{2} * K_0 * \gamma * H^2 \quad (9)$$

şeklinde formülize edilir.



Şekil 15. Birim uzunluğa gelen kuvvet ve yanal toprak basıncı (Uzuner, 2007)

- Plastik denge, zeminin tüm noktalarında göçme (akma, kayma, kırılma ve plastik deformasyon) olma durumlarında meydana gelir. Uygulanan gerilme altında zemin direncinin yeterli gelmediği durumlarda oluşur ve gerilme dairelerinin kırılma zarfına teğet olmaları şeklinde tanımlanır.

Yarım sonsuz ortamda, plastik durum elde edebilmek için zemin ortamının genişleme ya da sıkışma gibi yanal deformasyonlara maruz kalması gerekmektedir. Plastik denge durumunda aktif ve pasif olmak üzere iki durum bulunmaktadır. Duvar hareketi esnasında, duvar zeminden uzaklaşıyor ise aktif durum; duvar zemine doğru hareket halinde ise pasif durum oluşmaktadır.

- a) Aktif durum: Zemin plastik dengeye ulaştığında düşey gerilme sabit kalır. Yatay gerilme ise azalarak sabit bir değere ulaşır. Zemin, yatay düzlem ile $45+\phi/2$ derecelik açı ile kırılır. Kohezyonsuz zeminlerde, aktif durumda, yatay ve düşey gerilmeler arasındaki ilişki,

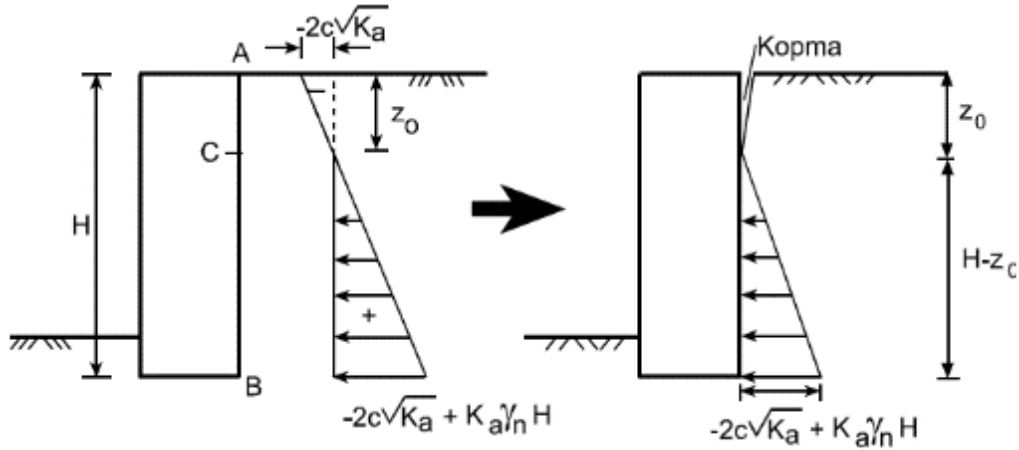
$$K_a = \frac{1 - \sin\phi}{1 + \sin\phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \quad (10)$$

şeklindedir. Burada K_a , aktif zemin basınç katsayısını ifade etmektedir. σ , aktif yanal zemin basıncı ise,

$$\sigma_a = K_a * \sigma_d = K_a * \gamma_n * z \quad (11)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Burada, γ_n , doğal zemin birim hacim ağırlığıdır.

Rankine teorisine göre kohezyonlu zeminlerde aktif durumda genel zemin ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$) hali için duvar arkasına gelen yanal zemin basınçları Şekil 16'da gösterilmektedir.



Şekil 16. Genel zeminde, aktif yanal basınçlar (Uzuner, 2007)

Kohezyonlu zeminlerde, aktif toprak basıncının etkisinde, çekme çatlakları ortaya çıkar. Çekme çatlakları kopmaya neden olursa duvar arkası ile zemin arasında temas kaybolur ve Şekil 16'da görüldüğü üzere z_0 derinliği boyunca duvar arka kısmına zemin basıncı etmez. Duvara etkiyen aktif yanal basınçlar $\sigma_a(A)$, $\sigma_a(B)$ ve AC derinliği, z_0 'ın formülasyonları,

$$\sigma_a(A) = -2c\sqrt{K_a} \quad (12)$$

$$\sigma_a(B) = -2c\sqrt{K_a} + K_a\gamma_n H \quad (13)$$

$$z_0 = \frac{2c}{\gamma_n\sqrt{K_a}} \quad (14)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

- b) Pasif durum: Yarım sonsuz ortam, yanal bir sıkışmaya maruz kaldığında zeminde pasif durum oluşmaktadır. Sürtünmesiz arka yüze sahip rijit bir dayanma duvarı, zemine doğru hareket ettirilirse ya da döndürüldüğü durumda duvar arkasına dik olarak pasif yanal zemin basınçları etmektedir. Kohezyonsuz zeminlerde, pasif durumda, düşey ve yatay gerilmeler arasındaki ilişki,

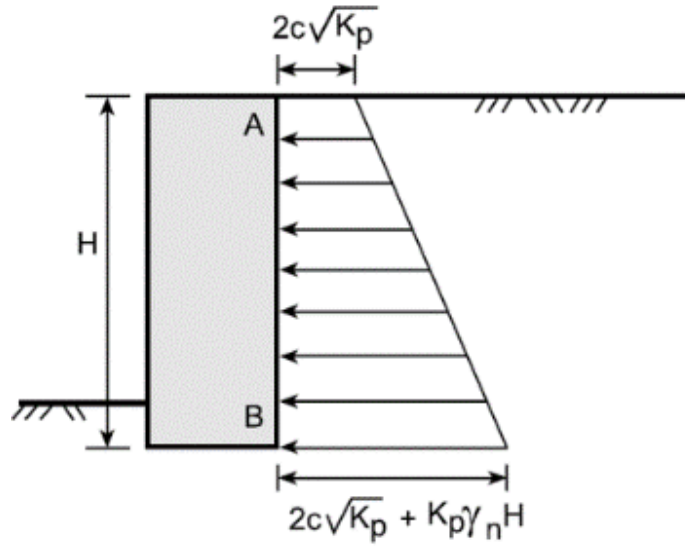
$$K_p = \frac{1 + \sin\phi}{1 - \sin\phi} = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad (15)$$

şeklindedir. Burada, K_p , pasif zemin basınç katsayısını ifade etmektedir. σ_p , pasif yanal zemin basıncı ise,

$$\sigma_p = K_p * \sigma_d = K_p * \gamma_n * z \quad (16)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

Pasif durumda, genel bir zemin ($c \neq 0$, $\phi \neq 0$) hali için duvar arkasına gelen yanal zemin basınçları Şekil 17’de gösterilmektedir.



Şekil 17. Genel bir zeminde, pasif yanal basınçlar (Uzuner, 2007)

Duvara etkiyen pasif yanal basınçların ($\sigma_p(A)$, $\sigma_p(B)$) formülasyonları,

$$\sigma_p(A) = 2c\sqrt{K_p} \quad (17)$$

$$\sigma_p(B) = 2c\sqrt{K_p} + K_p\gamma_n H \quad (18)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

1.6.2. Coulomb Teorisi

Charles-Augustin de Coulomb (1776) tarafından geliştirilen bu yöntem ile Rankine teorisinin aksine duvar arkası dolgu olarak granüler malzeme tercih ederek duvar ile zemin arasındaki sürtünmenin dikkate alınması gerektiğini savunmuştur.

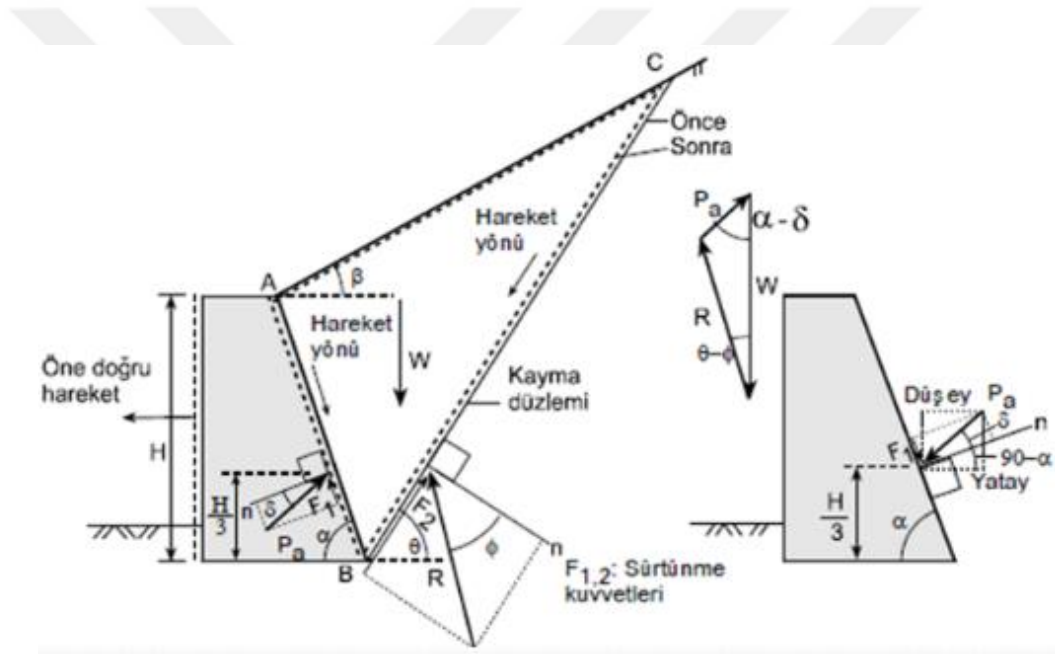
Bu yöntemde; duvar, öne veya arkaya hareket ederken, duvar arkasında oluşan üçgen kama şeklindeki kayan zemin kütesinin dengesi dikkate alınır. Kayma yüzeyi düzlemsel kabul edilir. Granüler zemin koşullarında geçerlidir ve zemin, homojen ve izotropdur. Duvar arkasında sürtünme olduğu kabul edilir. Sürtünme kuvvetleri, kayma yüzeyi boyunca üniform olarak dağılmaktadır.

Coulomb, duvarın arka yüzünün eğimli olması halini de incelemiş fakat bulunduğu tarihte trigonometrik hesaplamalar bilinmediğinden problemler geometrik yöntemlerle

çözölmüş. İlerleyen süreçte bu konu üzerine çalışan kişiler trigonometrik yollardan daha net çözümler elde etmişlerdir.

Coulomb teorisinde, kohezyonsuz zeminler için aktif ve pasif durumlar mevcuttur.

- a) Aktif durum: Kohezyonsuz ($c=0$) zeminlerde, aktif durumda üçgen kamaya ve duvara etki eden kuvvetler Şekil 18’de gösterilmektedir. Burada, üçgen kamanın kendi ağırlığı (W), kayma düzlemi boyunca etkiyen bileşke kuvvet (R) ve duvar arka yüzeyi boyunca etkiyen yalnızca aktif bileşke kuvvetin (P_a) etki ettiği görölmektedir. Yanal zemin basınç dağılışı bulunmamaktadır. Kama aşağı doğru hareket ettiğinden P_a ve R kuvvetleri, yüzey normaleri ile hareket yönünün tersine sırasıyla δ ve ϕ açıları yapmaktadırlar.



Şekil 18. Aktif durumda üçgen kamaya ve duvara etki eden kuvvetler (Uzuner, 2007)

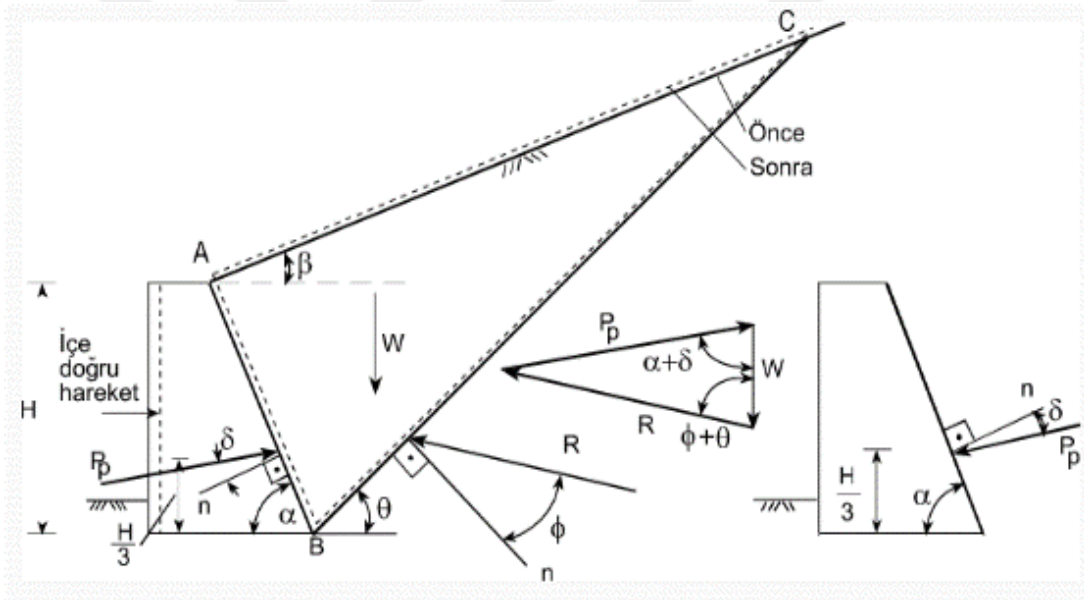
Aktif zemin basıncı katsayısı ve buna bağılı P_a , aktif bileşke kuvvet formölize edilecek olursa,

$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (19)$$

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (20)$$

bağıntıları ile karşılaştırılır. Burada, δ , duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı; α , duvar arka yüzünün yatayla yaptığı açı ve β , duvar arkası dolgu eğim açısıdır.

- b) Pasif durum: Kohezyonsuz zeminler için, pasif durumda, duvar arka yöne hareket ederken, üçgen kama yukarı doğru bir ivme sergiler ve pasif bileşke kuvvet ve kayma düzlemi boyunca etkiyen bileşke kuvvet, yüzey normalleri ile hareket yönünün tersine sırası ile δ ve ϕ açıları yapmaktadırlar. Şekil 19'da görülen üçgen kamanın ağırlığı, kayma düzlemi boyunca etkiyen bileşke kuvvet ve duvar arka yüzeyi boyunca etkiyen pasif bileşke kuvvet (P_p) pasif durumda etki eden kuvvetlerdir. Yanal zemin basınç dağılışı bulunmamaktadır.



Şekil 19. Pasif durumda üçgen kamaya ve duvara etki eden kuvvetler (Uzuner, 2007)

Pasif zemin basınç katsayısı ve buna bağlı pasif bileşke kuvvet formülize edilecek olursa,

$$K_p = \frac{\sin^2(\alpha - \phi)}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha + \delta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \beta)}{\sin(\alpha + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2} \quad (21)$$

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (22)$$

şeklinde denklemlerle karşılaşılr. Duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı; duvar arka yüzeyinin pürüzlülüğüne, zemin cinsine ve zeminin durumuna göre genellikle $(\phi/3 - 2\phi/3)$ değeriinde olur.

1.6.3. Rankine Teorisi ile Coulomb Teorisinin Karşılaştırılması

- Rankine teorisinde duvar arkası ile zemin arasındaki sürtünme açısı sıfır kabul edilirken, Coulomb teorisinde sürtünme dikkate alınmaktadır.
- Coulomb teorisinde zemin kuru ve kohezyonsuz kabul edilirken, Rankine teorisinde zemindeki kohezyon da dikkate alınmaktadır.
- Rankine teorisinde, Coulomb teorisinin aksine tabakalı zemin, kohezyonlu zemin ve yer altı suyu gibi durumları dikkate alınmaktadır.
- Rankine teorisinde yanal zemin basınç dağılışı verilirken, Coulomb teorisinde doğrudan bileşke kuvvet verilmektedir.

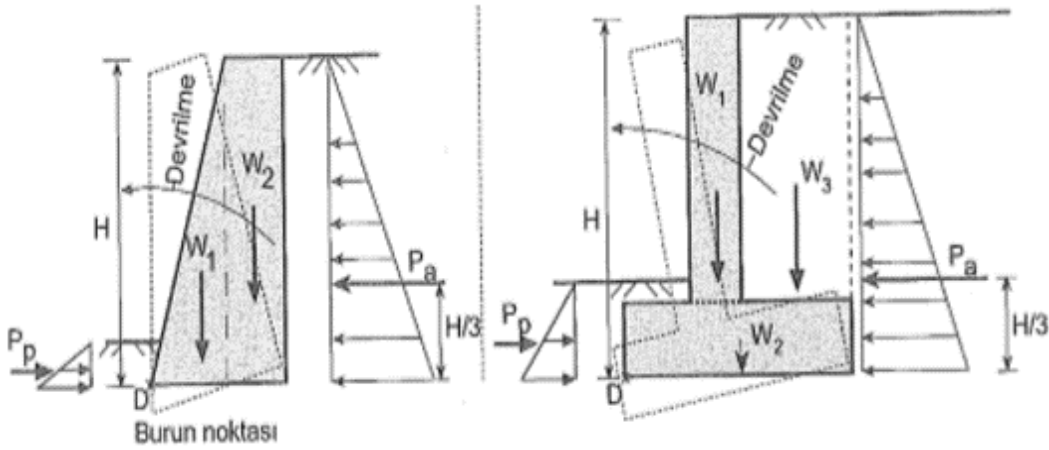
1.7. Dayanma Yapılarında Stabilité Analizleri

Dayanma duvarları tasarlanırken duvara etki edecek kuvvetler hesaplandıktan sonra duvarda ön boyutlandırma yapılır. Duvar boyutlandırılmasının doğru olup olmadığının tespiti için iç ve dış stabilité analizleri yapılmalıdır. Dış stabilité analizlerinde duvarın devrilme tehlikesi, kayma tehlikesi ve zemin taşıma gücünün kontrolleri için tahkikler yapılmaktadır. Bu tahkiklerdeki genel yöntem, olumsuz duruma karşı koyan kuvvetlerin olumsuz durumu sağlayan kuvvetlere oranının güvenli alanda kalmasını sağlamaktır. İç stabilité analizleri ise yapının gerilmelere karşı davranışını inceler ve kullanılan malzemelerin gerilmeleri karşılayabilecek kuvvete sahip olma durumunu incelemektedir. Tezin konusu gereği sadece dış stabilité analizleri gerçekleştirileceğinden iç stabilité analizlerine yer verilmeyecektir.

1.7.1. Devrilme Tahkiki

Dayanma duvarı, yanal zeminlerin oluşturduğu basınçlarla devrilmemeli ve basınçları güvenle karşılamalıdır. Devrilme neticesinde duvarın öne doğru yatması veya hareket etmesi, zeminde genişleme oluşturacağı için hesaplamada duvar arkasında aktif yanal basınç etkir. Dayanma duvarının ön kısmında, sıkışmadan dolayı pasif durum meydana gelir. Ancak duvar ön yüzündeki zemin derinliğinin sığ olduğu durumlarda, aktif duruma göre pasif durumun etkisi çok az olduğundan güvenli durumda kalmak adına ihmal edilmektedir.

Dayanma duvarının devrilme tahkikinde, duvara Şekil 20’de gösterilen kuvvetler etkir.



Şekil 20. Devrilme tahkikinde duvara etkiyen kuvvetler (Uzuner, 2007)

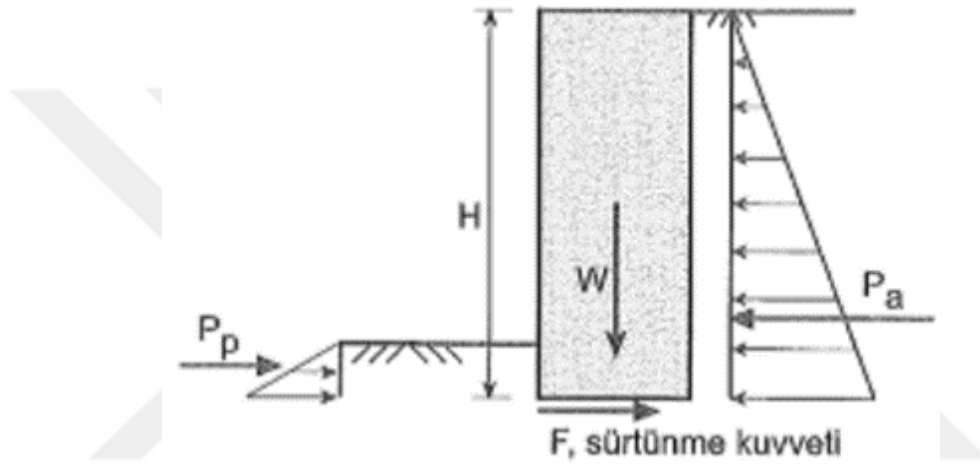
Bağıntı 23’te formülasyonu verilen devrilmeye karşı güvenlik sayısı, duvarın burun noktasına göre devrilmeye karşı koyan momentlerin deviren momentlere oranı olarak tarif edilir. Bu katsayı 1.3 ve üzerinde bir değer alınacak şekilde göçmeden kaynaklanacak riskler göz önüne alınarak projeden sorumlu mühendisler tarafından seçilmelidir (TBDY, 2018).

$$G_S(\text{devrilme}) = \frac{\sum M_D(\text{karşı koyan})}{\sum M_D(\text{deviren})} \quad (23)$$

Burada, $G_S(\text{devrilme})$, devrilmeye karşı güvenlik sayısını; $\sum M_D(\text{karşı koyan})$, burun noktasına göre devrilmeye karşı koyan momentleri ve $\sum M_D(\text{deviren})$ ise, burun noktasına göre deviren momentleri ifade etmektedir.

1.7.2. Kayma Tahkiki

Dayanma duvarının, yanal itkilerin etkisinde öne doğru kaymayı engelleyici bir güvenlikte olması gerekmektedir. Duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetler, duvara yanal etki eden aktif kuvvetlerin toplamıdır. Tabandaki sürtünme kuvveti ve duvar önünde bulunan pasif direnç, duvarın kaymasına engel olan kuvvetlerdir. Bu kuvvetler Şekil 21’de gösterildiği gibi etmektedir. Pasif direnç, güvenli tarafta kalınabilmesi adına genellikle ihmal edilip hesaplara katılmamaktadır.



Şekil 21. Kayma tahkikinde duvara etkiyen kuvvetler (Uzuner, 2007)

Bağıntı 24’te verilen kaymaya karşı güvenlik sayısı, kaymaya karşı koyan kuvvetlerin toplamının kaydırmaya çalışan kuvvetlerin toplamına oranı olarak bilinmektedir.

$$G_s(kayma) = \frac{\sum F(karşı\ koyan)}{\sum F(kaydıran)} \quad (24)$$

Burada, $G_s(kayma)$, kaymaya karşı güvenlik sayısını; $\sum F(karşı\ koyan)$, kaymaya karşı koyan kuvvetlerin toplamını ve $\sum F(kaydıran)$, kaydıran kuvvetlerin toplamını ifade etmektedir. Kaymaya karşı güvenlik sayısı, killi zeminlerin dayanımlarının düşük olmasından ötürü kohezyonlu zeminlerde 2’den büyük; kohezyonsuz zeminlerde 1.5-2 alınmaktadır.

1.7.3. Zemin Taşıma Gücü (Taban Basıncı) Tahkiki

Dayanma duvarı ile temelin beraber çalıştıkları hesap edilerek duvarın temel tabanının uçlarında bulunan gerilmelerin, zeminin taşıma gücünü aşıp aşmadığı kontrol edilmeli ve Şekil 22’de tarif edilen göçmenin önüne geçilmesi için tahkik yapılmalıdır.

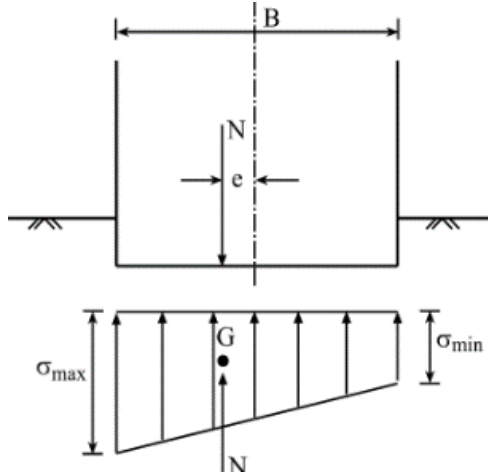


Şekil 22. Taşıma gücü göçmesi (Uzuner, 2007)

Dayanma duvarlarında, geometrik ağırlık merkezlerinden farklı olan bir bölgeye etki eden yüklerden dolayı duvarda oluşan ilave yüklere eksantrisite (dış merkezlik) denilmektedir. Eksantrik yüklü temellerin ön yüzünde maksimum, arka yüzünde ise minimum basınç gözlemlenir. Eksantrisitenin bulunduğu konuma bağlı olarak; çekirdek içinde olması, çekirdek üzerinde olması ve çekirdek dışında olması durumları incelenmelidir.

a) Eksantrisite Çekirdek İçinde ($e_x < B/6$) Olma Durumu

Yük, çekirdek içinde olması durumunda, geleneksel yöntemle göre taban basınç dağılışı Şekil 23’te gösterildiği gibi yamuk şeklini alır.



Şekil 23. Eksantrisitenin çekirdek içinde olma durumu (Uzuner, 2007)

Eksantrisite değeri, maksimum basınç ve minimum basınç değerleri denkleştirilirse,

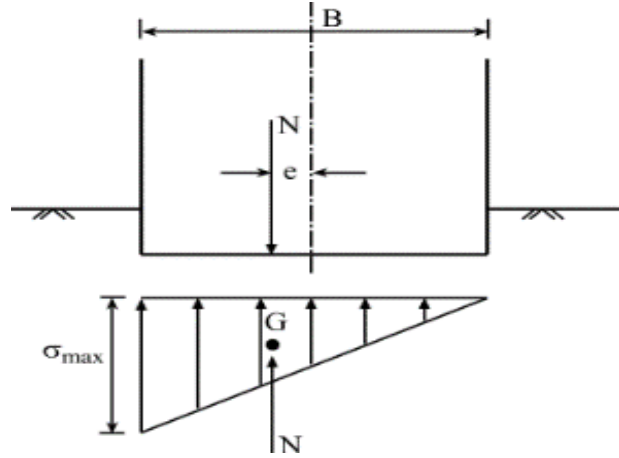
$$e_x = \frac{\Delta M_{y-y}}{\sum N} \quad (25)$$

$$\sigma_{max,min} = \frac{N}{A} \pm \frac{M_{y-y}}{W_{y-y}} = \frac{N}{BL} \pm \frac{Ne_x}{\frac{B^2L}{6}} = \frac{N}{BL} \left(1 \pm \frac{6e_x}{B} \right) \quad (26)$$

şeklinde bağıntılar ortaya çıkar. Burada, e_x , eksantrisite; ΔM_{y-y} , y-y eksenine göre toplam moment; $\sum N$, temel tabanına etkiyen toplam düşey yük; σ_{maks} , maksimum taban basıncı; σ_{min} , minimum taban basıncı; W_{y-y} , atalet momenti ve A, enkesit alanı olarak ifade edilmektedir.

b) Eksantrisite Çekirdek Üzerinde ($e_x=B/6$) Olma Durumu

Yük, çekirdek üzerinde olması durumunda, geleneksel yöntemle göre taban basınç dağılışı Şekil 24'te gösterildiği gibi üçgen şeklini alır.



Şekil 24. Eksantrisitenin çekirdek üzerinde olma durumu (Uzuner, 2007)

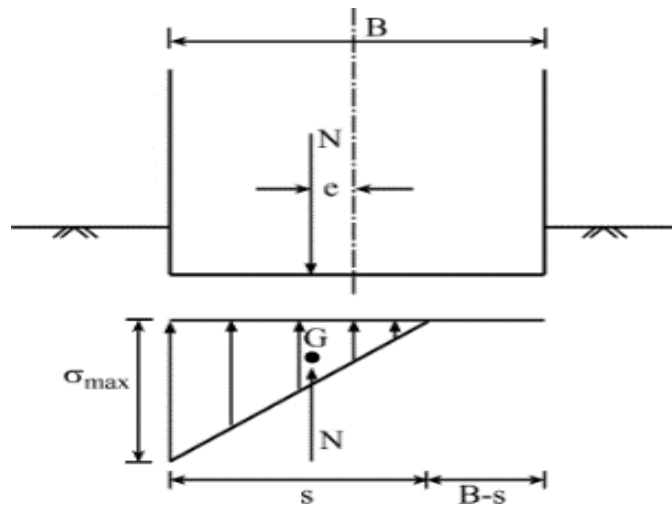
Şekilden de görüldüğü üzere minimum taban gerilmesi sıfır değerini almaktadır. Maksimum taban basıncı ise,

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{BL} \quad (27)$$

değerini alır.

c) Eksantrisite Çekirdek Dışında ($e_x > B/6$) Olma Durumu

Yük, çekirdek dışında olması durumunda, geleneksel yöntemle göre taban basınç dağılışı Şekil 25'te gösterildiği gibi belli bir bölgeden itibaren üçgen şeklini alır. Diğer alanlarda temel tabanıyla zeminin etkileşimi kaybolur.



Şekil 25. Eksantrisitenin çekirdek dışında olma durumu (Uzuner, 2007)

Minimum taban basıncı sıfır olmakla birlikte maksimum taban basıncı,

$$\sigma_{max} = \frac{2N}{sL} \quad (28)$$

şeklinde ifade edilir. Burada,

$$s = 3 \left(\frac{B}{2} - 2e_x \right) \quad (29)$$

şeklinde denkleştirilir.

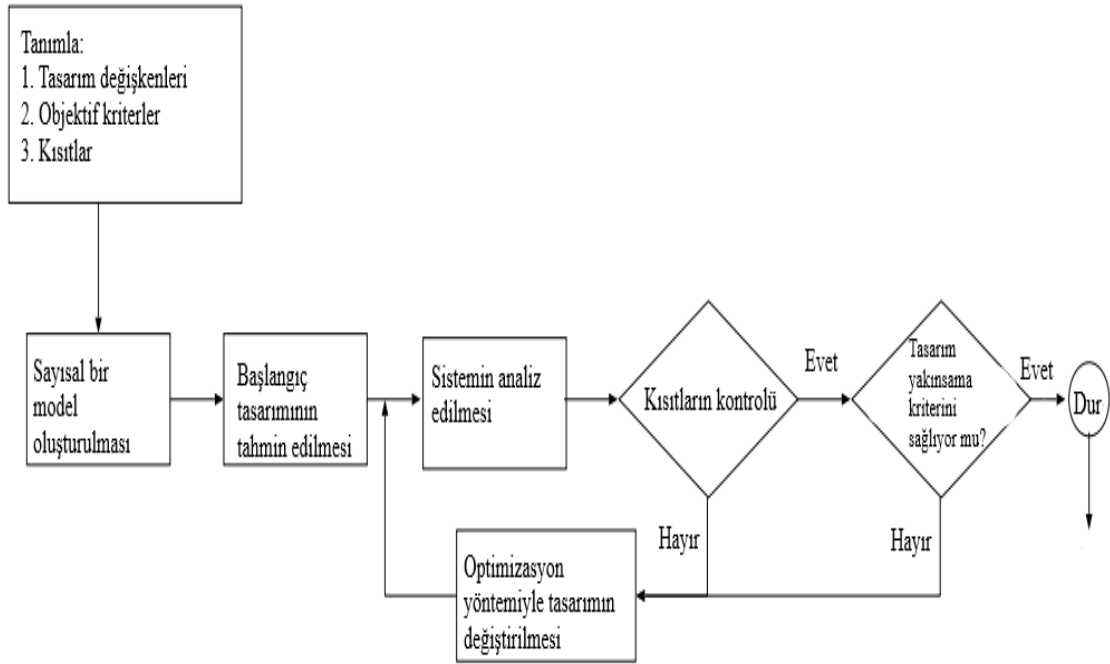
1.8. Optimizasyon

Optimizasyon, kelime anlamı olarak elde bulunan kaynakları en iyi ve en ekonomik şekilde kullanarak varılabilecek en iyi sonuca ulaşmaktır (URL-3).

1980’li yıllarda tasarım optimizasyonu farklı mühendislik dallarında önemli bir disiplin olarak ortaya çıkmış ve giderek daha çok önem kazanmıştır. Optimizasyonunun amacı, teknik sistemleri maliyetler, davranış, kalite, verimlilik vb. kriterlere göre en uygun şekilde tasarlamaktır. Günümüzde kaynakların yetersizleşmesinden dolayı hammadde tüketimini minimuma indirerek yapıların pahalı bir şekilde imal edilmesinin önüne geçmek amaçlanmaktadır.

Tasarım optimizasyonu, genel olarak tasarımcı tarafından amaç ve kısıt fonksiyonlarına göre geometrik şeklin değişimini sağlayarak optimum tasarım şeklini oluşturan modeldir ve optimizasyon problemi ile temsil edilir.

Tasarımı geleneksel yöntemlerle yapan mühendisler, deneyimlerini kullanarak başlangıçta tahmini tasarım elde ederler ve sonrasında analiz yaparlar. Tasarımın kriterleri sağlayıp sağlamadığı kontrol edildiği süreçte tasarım buna bağlı olarak değiştirilir. Ancak bu süreç fazlasıyla zaman almaktadır. Bu nedenlerden ötürü Şekil 26’da adımları görülen optimizasyon tasarımı yaklaşımıyla problem çözülmeye çalışılmaktadır.



Şekil 26. Optimum tasarım aşamaları (Hartmann, 2006)

1.9. Optimizasyon Modelinin Formülasyonu

Optimizasyon probleminin formülasyonunda kritik olan sınır değerlere dikkat etmek gerekir. Aksi halde optimum çözümden uzaklaşmış olacaktır. Doğru çözümler elde etmek için sınır koşulları çok olmamalı ve birbiri ile çelişmemelidir. Optimum tasarım problemini çözümlerken; problemin tanımlanması, problemler ile alakalı verilerin elde edilmesi, tasarım değişkenlerinin tanımlanması, hedef (amaç) fonksiyonunun belirlenmesi, kısıtların belirlenmesi ve optimizasyon probleminin matematiksel olarak ifade edilmesi aşamalarına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.9.1. Problemin Tanımlanması

Tasarlanması istenen projenin ne olduğu, neye ve kime hitap ettiği ve amacının neler olduğunun başlangıçta bilinip buna göre çözüme gidilmesi gerekmektedir. Bundan ötürü problemin tanımlamasını doğru yapmak gerekir.

1.9.2. Problem İle Alakalı Verilerin Elde Edilmesi

Problem tanımlandıktan sonra problemin çözümüne yardımcı olmak için problemle ilgili tüm gereken bilgiler toplanmalıdır. Proje için ayrılan ödenek, projede kullanılacak malzemelerin cinsi, dayanım özellikleri, maliyeti, işçiliği düşünülerek problemin çözümüne uygun bir malzeme seçimi yapılmalıdır.

1.9.3. Tasarım Değişkenlerinin Tanımlanması

Projede ortaya çıkarılacak yapının hatlarının belli olması için kritik noktalara tasarım değişkenleri atanmalıdır. Tasarım değişkenlerine bağlı yapı şekil alacak ve optimum sonucun bu şekle göre elde edilip edilmediği, sınır koşullarının sağlanabildiği kontrol edilebilecektir. Tasarım değişkenlerinin, problemin karmaşık bir yapıya sokulmaması adına mümkün mertebe az sayıda tayini yapılmalıdır. Problemin tanımlanmasında kullanılan değişkenlere matematiksel değerler verilerek denemeler yapılmalı ve tasarım kontrol edilmelidir.

1.9.4. Hedef (Amaç) Fonksiyonunun Belirlenmesi

Optimum olması istenen değer, amaç fonksiyonu olarak tarif edilir. Projede, en az maliyete sahip olmak, en düşük hacme sahip olmak, en yüksek dayanıma sahip olmak, en az enerji tüketimine sahip olmak, en düşük kesit alanına sahip olmak gibi hedeflerden biri proje müellifi tarafından amaç fonksiyonu olarak seçilir ve değer optimize edilmesi sağlanır.

1.9.5. Kısıt Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Projede gerek kanunlar, kuruluşlar, yönetmelikler ve matematiksel kurallara bağlı kalmak; gerekse ilgili mühendis tarafından istenilen özellikleri sağlamak adına sınırlamalara yer verilir. Bu sınırlamaların tümüne kısıt adı verilir ve tasarımın optimuma ulaştırılması için projede kısıt fonksiyonlarının tanımlanması gerekir. Kısıtlarda eşitlik olabileceği gibi eşitsizlik yaratan kısıtlamalarla da karşılaşmaktadır.

1.9.6. Optimizasyon Probleminin Matematiksel Olarak Tanımlanması

Optimizasyon probleminin çözüme kavuşturulması için öncelikle problemin matematikselleştirilmesi gerekmektedir.

$$f(x_i), \quad i=1,2,3,\dots,n \quad (30)$$

Burada, x_i , tasarım değişkenleri olmak üzere $f(x_i)$, hedef (amaç) fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Kısıt fonksiyonları ise,

$$h_k(x) = 0, \quad k = 1,2,3, \dots, p \quad (31)$$

$$g_j(x) \leq 0, \quad j = 1,2,3, \dots, m \quad (32)$$

şeklindeki bağıntılardan oluşmaktadır. Burada, $h_k(x)$, eşitlik tipi kısıt fonksiyonu ve $g_j(x)$, eşitsizlik tipi kısıt fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

Tasarım optimizasyonunda kullanılan temel terminolojiye göre eşitsizlik tipindeki kısıtlamalarda, yazılım paketlerinde yalnızca “ $\leq$ ” simgesinin kullanılmasından ötürü “ $\geq$ ” gibi simgeler kullanılmamaktadır. Bu şekilde bulunan eşitsizlik tipindeki kısıt fonksiyonları “-1” değeri ile çarpılarak bilinen düzene getirilerek kısıt fonksiyonları oluşturulur (Hartmann, 2006).

Optimizasyon, minimizasyon problemi olarak ifade edilir ve gösterimi,

$$\min_x \left\{ f(x) \middle| \begin{array}{l} h(x) = 0 \\ g(x) \leq 0 \end{array} \right\} \quad (33)$$

şeklinde olur. Eğer hedef, maksimizasyon fonksiyonu ise,

$$\max(f(x)) = \min(-f(x)) \quad (34)$$

şeklinde ifade edilerek optimizasyon problemi hesaplanır.

1.10. MATLAB, Çok Paradigmali Sayısal Hesaplama Yazılımı

MATLAB, algoritmalar geliştirme, data analizi yapma, görselleştirme ve sayısal hesaplama yapmak için kullanılan yüksek performanslı bir teknik programlama dilidir. MATLAB kelimesi, İngilizce “Matrix Laboratory” kelimelerinin ilk üç harfinin birleşiminden gelmektedir. Matris laboratuvarı olan MATLAB programının temelinde bulunan yapı, boyutlandırma gerektirmeyen matrislerdir. Yapılan tüm girdiler ve çıktılar bir matris tanımlamaktadır.

MATLAB ilk olarak Cleve Moler tarafından Fortran dili ile yazılmıştır. Günümüzde ise MathWorks firması tarafından C dili ile yazılmıştır.

Sayısal analiz, matris ve dizi işlemleri, sinyal işleme, algoritma geliştirme, C, C++, Java ve internet ile ilişkilendirilen programlama gibi matematiksel işlemleri, kolay kullanılabilen bir grafik arayüzü vasıtasıyla sayısal denklem yazma imkanı vermektedir.

MATLAB programında bir işlem yapmak veya komut yazmak istendiğinde ‘>>’ simgesinden sonra komutlar yazılmalıdır. Buna alternatif olarak komut ve fonksiyonların bir dosyaya (m-dosyaları) yazılıp dosya isminin çağrılmasıyla da işlem gerçekleştirilebilir (Vatansever vd., 2016).

MATLAB, araç kutusu “toolbox” olarak isimlendirilen özellikler barındırır. Bu özellikle manuel olarak program yazmaya gerek duyulmadan hazır fonksiyon dosyaları ile veri tabanı oluşturma, optimizasyon, M-dosya işleme, ölçme, excel bağlantısı kurma, görüntü işleme, aygıt denetleme, sistem tanımlama, rapor hazırlama gibi birçok durumu inceleme ve çözümleme sağlamaktadır (Uzunoğlu vd., 2003).

1.10.1. Optimizasyon Probleminin MATLAB Programında Çözümü

Optimizasyon problemini MATLAB programında mevcut matematiksel yöntemler veya hazır kütüphanelerden yararlanılarak çözülebilmektedir. MATLAB araç kutusunda, problemdeki değişken sayılarının fazlalığı ve karmaşıklığına göre standart algoritma ve büyük ölçekli algoritma olmak üzere iki farklı yöntem bulunmaktadır. Değişken sayısının çok olduğu problemlerde büyük ölçekli algoritma kullanılmaktadır. Standart algoritma için araç kutusunda mevcut olan Tablo 3’te belirtilen hazır komutlar, farklı amaçlara göre tercih edilmektedir (Kaymaz, 2006).

Tablo 3. Optimizasyon komutlarının kullanım amaçları

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

MATLAB programında yaygın olarak kullanılan komutlardan fmincon komutu, matematik programlama yöntemleri kullanarak, lineer olmayan (nonlinear) amaç fonksiyonlu, lineer veya lineer olmayan kısıtlarla optimizasyon problemini çözüme kavuşturmaktadır (Hayalioğlu & Günden, 2010).

Optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan farklı türlerdeki fmincon komutları Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. Fmincon komutunun farklı gösterimleri

Farklı fmincon türleri
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]=fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda]=fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda, grad]=fmincon(...)
[x, fval, exitflag, output, lambda, grad, hessian]=fmincon(...)

Tablo 4’te verilen fmincon komutlarının içeriğindeki girdi parametreleri Tablo 5’te, çıktı parametrelerinin anlamları ise Tablo 6’da gösterildiği gibidir.

Tablo 5. Girdi parametreleri

Girdi Parametreleri	Anlamları
fun	Hedef fonksiyonunu içeren m-dosyasının adı
x0	Tasarım değişkenlerinin başlangıç değerleri (tahmini)
A,b	Lineer eşitliksizlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ($A*x < b$)
Aeq, beq	Lineer eşitlik kısıtlayıcı fonksiyonun katsayıları ($Aeq*x = beq$)
lb	Tasarım değişkenlerinin alt sınırı
ub	Tasarım değişkenlerinin üst sınırı
nonlcon	Kısıtlayıcı fonksiyonları içeren fonksiyon
options	Optimizasyon algoritmasını kontrol eden seçenekler

Tablo 6. Çıktı parametreleri

Çıktı Parametreleri	Anlamları
x	Optimum tasarım değişkenlerinin atandığı vektör
fval	Optimum noktada hedef fonksiyonun değeri
output	Optimizasyon çözümü hakkında detaylı bilgi
lambda	Lagrange çarpanlarının değerleri
grad	Optimum noktada hedef fonksiyonun gradyanı
hessian	Optimum noktada hessian matrisinin değeri
exitflag	Seçilen algoritmanın sonuca yaklaşma durumu

Optimizasyon algoritmasını kontrol etmek amacıyla ‘options’ parametresine ‘optimset’ yardımıyla istenilen optimizasyon yöntemi atanabilmektedir. Standart veya büyük ölçekli algoritma yöntemlerinin kullanımına bağlı olarak optimizasyon metodunun seçenekleri belirlenmektedir (Kaymaz, 2006).

1.11. Literatür Taraması

Bozkurt ve Yazıcıoğlu'nun (2015) yapmış oldukları çalışmada, MATLAB programında bulunan optimizasyon araç kutusu ile tek amaçlı optimizasyon problemlerinin çözümünü ele almışlardır. Programda, amaç ve kısıt fonksiyonlarını tanımlayıp uygun olan fonksiyonu çalıştırdığında hızlı ve kolay bir şekilde sonuca ulaşıldığından, çok karmaşık optimizasyon yöntemleri ve metotlarına göre MATLAB programı kullanmanın etkili olduğu, tüm mühendislik alanlarındaki benzer optimizasyon problemlerine de çözüm yöntemi de sunmuş olduğunu ifade etmektedirler.

Hayalioğlu ve Günden'in (2010) makalelerinde, kaynaklı giriş ve kafes sistemin, MATLAB programında 'fmincon' fonksiyonu kullanılarak optimum tasarımı oluşturulmuş ve elektronik tablo kullanılarak yapılan optimum tasarım ile kıyaslandığında değerlerin örtüştüğünü saptamışlardır.

Şadoğlu (2014) yaptığı çalışmasında, farklı yüksekliklerdeki simetrik ağırlık tipi dayanma duvarlarının optimizasyonunu incelemiştir. Amaç fonksiyonu olarak kesit alanının minimum olması; kısıt fonksiyonları olarak ise dış stabilite ve iç stabilite tahkiklerini seçmiştir. Devrilme, kayma taşıma gücü, gövdede kesme ve eğilme tahkiklerini irdelemiş ve farklı duvar yüksekliklerindeki çalışmalar neticesinde duvarın optimum kesit alanının kullanılan tip kesitlerdekinden daha az olduğunu saptamış ve daha az maliyetle, minimum kesit alanına sahip bir duvar tasarlamıştır. Kayma tahkiki ve gövdede eğilme kısıtının tasarımında büyük bir rol oynadığını belirlemiştir. Yaptığı analizler sonucunda elde ettiği şev kırılma yüzeylerinin, dairesel yüzeylerden farklı olarak değişik eğri şekillerinin oluşturduğu kompozit yapıda olduğunu ve daha düşük güvenlik sayılarının oluştuğunu belirlemiştir.

Sağır (2016) çalışmasında, homojen sonlu şevlerde topuk kayması esas alınarak Genelleştirilmiş Janbu Yöntemi'nin değiştirilmesiyle farklı bir yöntem geliştirmiş ve bu yöntemle, MATLAB programında, minimum güvenlik sayısını verecek şekilde en kritik kırılma yüzeyini optimize etmiştir.

Kayhan ve Demir (2018) yapmış oldukları çalışmada, betonarme konsol dayanma duvarlarının kesit boyutlarını ve gereken donatı alanlarının minimizasyonunu amaç fonksiyonu olarak belirleyerek diferansiyel gelişim algoritması tekniğiyle çözümlemişlerdir. Yer ivmesi katsayısı ve içsel sürtünme açısının optimum tasarımda önemine dikkat

çekmişlerdir. Sonuç olarak tekniğin, betonarme konsol dayanma duvarlarında güvenilir bir şekilde kullanılabileceğini ortaya koymuşlardır.

Masoud vd.'nin (2018) çalışmalarında, numerik analiz ile ağırlık dayanma duvarının alanını optimize ederek maliyeti düşürmeye çalışmışlardır. Dayanma duvarlarını farklı geometrik şekillerde test ederek optimum alana ve maliyete sahip duvarın yamuk şeklinde olduğunu tespit etmişlerdir.

Kalemci vd.'nin (2019) makalesinde, düşük ağırlığa sahip, tabanında dış kesit bulunan betonarme konsol istinat duvarını, Rao-1 optimizasyon algoritmasını kullanarak tasarlamışlardır. Amaç fonksiyonu olarak duvar ağırlığını seçip problemi tanımlamak için 12 tasarım değişkeni ve 26 kısıt kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, algoritmanın, duvarın ağırlığını azaltmada etkili olduğunu vurgulamışlardır.

Uray'ın (2020) doktora tezinde, harmoni arama ve yapay arı kolonisi sezgisel optimizasyon algoritmalarını kullanarak dayanma yapıları ile yatay yüklü tekil kazık ve kazık grubunu optimum bir şekilde tasarlamayı amaçlamıştır. Farklı duvar yükseklikleri ve zemin içsel sürtünme açısı değerleri kullanılarak duvar tasarımlarında minimum kayma, devrilme ve toptan göçmeyi sağlayan optimum kesitler elde etmiş ve çalışmasının sonucunda, sezgisel optimizasyon algoritmalarının stabilite koşullarını sağlayan optimum tasarımların oluşturulmasında etkili bir yöntem olduğunu öne sürmüştür.

Ahıskalı'nın (2021) asimetrik ağırlık tipi dayanma duvarının optimum enkesit alanını belirlemeyi amaçlayan çalışmasında, amaç fonksiyonu olarak kesit alanını minimize etmek; kısıtları da beton ağırlık istinat duvarının karşılaması gereken tahkiklerden oluşturmuş ve kısıtlı, doğrusal olmayan optimizasyon problemi oluşturmuştur. MATLAB programı vasıtasıyla optimum kesitin ana hatlarını ve duvar yüksekliğinin kesitin hatlarına etkisini araştırmak için farklı duvar yüksekliklerinde çalışmalar yapmıştır. Ayrıca içsel sürtünme açısının, kesit alanına etkisini araştırmak için kombinasyonlar oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, optimum enkesit alanının duvar yüksekliğine bağlı lineer değiştiği ve enkesiti çoğunlukla içsel sürtünme açısının etkilediğini saptamıştır.

Sevinç'in (2021) çalışmasında, ABAQUS/CAE programını kullanarak, bir birim ayrıtı 3 m, 4 m, ve 5 m olan kare istinat duvarlarında, tabanda ankastre mesnet, x yönünde ötelenmelerine kısıtlar koyarak ve üçgen bir yayılı yük etki ettirilerek, elastik ve plastik durum için topoloji optimizasyonunu amaçladı. Çalışma sonucunda elastik ve plastik durumda, optimizasyon sonucundan ortaya çıkan topoloji, günümüzde imal edilmekte olan

payandalı istinat duvarlarıyla örtüştüğü ve ABAQUS/CAE programının inşaat mühendisliği alanında optimizasyon işlemlerinde kullanılabileceği kanısına varmıştır.

Aral'ın (2021) tezinde, metasezgisel algoritmalarla yararlanarak statik ve dinamik yükler altında betonarme istinat duvarlarının optimum maliyetle boyutlandırılmasını ele almıştır. Çalışmasında dört farklı metasezgisel algoritmadan (Jaya Algoritması, Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon Algoritması, Çiçek Tozlaşma Algoritması ve Armoni Arama Algoritması) faydalanarak, geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetle betonarme tasarımın yapılabileceğini öne sürmüştür. Beton birim maliyetinin maksimum, çelik birim maliyetinin ise minimum olduğu durumlarda betonarme kesit boyutları artış gösteriyorken donatı alanlarının minimum değerde olduğunu gözlemlemiştir.

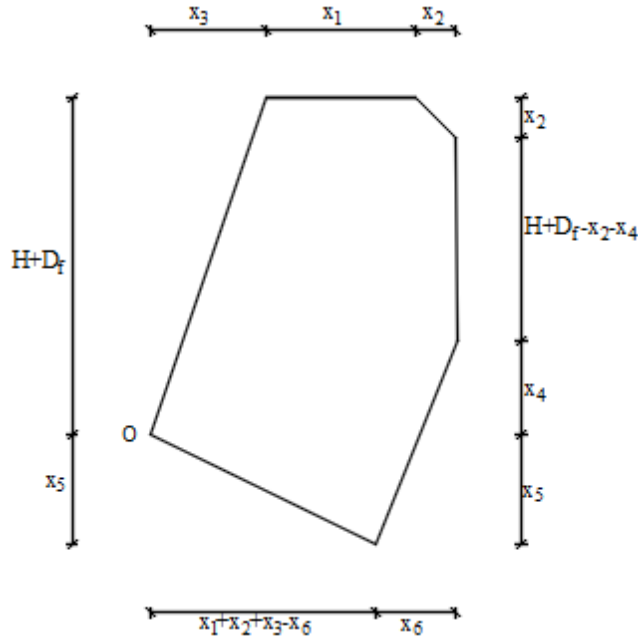


2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada, dayanma yapılarından olan ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarına statik yükler maruz bırakılarak MATLAB programında optimum kesit elde edilmiştir. Duvar yapım esnasında, duvar içinde barbakanlar ve duvar arkasında yatay drenler bırakılarak drenaj önlemlerinin alınacağından hareketle hidrostatik basınçların oluşmayacağı kabul edilmiştir. Tasarım değişkenleri belirlenip amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonları oluşturularak optimizasyon problemi haline getirilen sistem çalıştırıldığında tasarım değişkenlerinin optimum sonuçlarına ulaşılmıştır.

2.1. Tasarım Değişkenlerinin Belirlenmesi

Ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarının günümüzde kullanılan klasik tip kesiti baz alınarak Şekil 27’de gösterilen tasarım değişkenleri oluşturulmuştur. Dayanma duvarının geometrisi ile x_1 , x_2 , x_3 , x_4 , x_5 ve x_6 olmak üzere toplamda 6 adet tasarım değişkeni oluşturulmuştur. Anlamli derinlik ile birlikte duvar yüksekliği, $(H+D_f)$ input (girdi) olarak girilmiş ve duvarın bazı boyutları input ve tasarım değişkenlerinden türetilerek oluşturulmuştur.



Şekil 27. Tasarım değişkenlerinin tanımlanması

2.2. Amaç Fonksiyonunun Oluşturulması

Çalışmada, dayanma duvarının maliyetinin azaltılması için optimum kesitler elde etmek amaçlandığı için amaç fonksiyonu olarak duvarın enkesit alanı belirlenmiş olup Bağıntı 35’te gösterilmektedir.

$$f(x_i) = (H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2) \quad (35)$$

2.3. Kısıtların Oluşturulması

Statik yükler etkisindeki ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarında kısıt fonksiyonları, matematiksel kurallar gereği duvarın geometrisinden oluşan sınırlarla birlikte duvarın dış kuvvetlere güvenli bir şekilde cevap verebilmesi için sağlanması gereken tahkiklerden oluşmaktadır.

2.3.1. Tasarım Kısıtı

Tasarım değişkenlerinin ve duvar boyutlarının negatif olamayacağından hareketle aşağıdaki eşitsizlik tipi kısıtlar oluşturulmuştur.

$$x_1 \geq 0 \Rightarrow g_1(x) = -x_1 \leq 0 \quad (36)$$

$$x_2 \geq 0 \Rightarrow g_2(x) = -x_2 \leq 0 \quad (37)$$

$$x_3 \geq 0 \Rightarrow g_3(x) = -x_3 \leq 0 \quad (38)$$

$$x_4 \geq 0 \Rightarrow g_4(x) = -x_4 \leq 0 \quad (39)$$

$$x_5 \geq 0 \Rightarrow g_5(x) = -x_5 \leq 0 \quad (40)$$

$$x_6 \geq 0 \Rightarrow g_6(x) = -x_6 \leq 0 \quad (41)$$

$$x_2 + x_4 \leq H + D_f \Rightarrow g_7(x) = x_2 + x_4 \leq H + D_f \quad (42)$$

Ağırlık merkezinin, duvarın burun noktasına göre daha üst kotlarda olması gerektiğinden aşağıda gösterilen bağıntı elde edilmiştir.

$$H + D_f \geq x_5 \Rightarrow g_8(x) = x_5 \leq H + D_f \quad (43)$$

Duvarın alt taban genişliğinin ($x_1+x_2+x_3-x_6$) düşey mesafeye (x_5) oranı %20 oranı ve altında bir eğimle tasarlanması istendiğinden aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$(x_1 + x_2 + x_3 - x_6)0.2 \geq x_5 \Rightarrow g_9(x) = -0.2x_1 - 0.2x_2 - 0.2x_3 + x_5 + 0.2x_6 \leq 0 \quad (44)$$

Tüm değerler MATLAB programına matris bağıntısıyla yazılmalıdır. MATLAB programındaki yazılım şekli ekler bölümünde verilecektir.

$$A * x_i \leq b \Rightarrow \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -0.2 & -0.2 & -0.2 & 0 & 1 & 0.2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ H + D_f \\ H + D_f \\ 0 \end{bmatrix} \quad (45)$$

Günümüzde imal edilen ağırlık tipi taş dayanma duvarlarının ön yüzünde ve temelin arka duvar eğiminde %20 oranında eğimin bulunması gerektiğinden aşağıda belirtilen bağıntılar elde edilmiştir (URL-4).

$$h_1(x) = x_3 = 0.2(H + D_f) \quad (46)$$

$$x_6 = 0.2(x_4 + x_5) \Rightarrow h_2(x) = -0.2x_4 - 0.2x_5 + x_6 = 0 \quad (47)$$

Denklemler matris formatında yazılırsa,

$$C * x_i = d \Rightarrow \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.2 & -0.2 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.2(H + D_f) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (48)$$

elde edilir.

2.3.2. Devrilme Tahkiki

Dayanma duvarının devrilme tahkikinde, duvarın burun noktası baz alınarak deviren momentler ve karşı koyan momentler belirlenerek oranlanır. Devrilme tahkikinin bağıntısı ve fonksiyon olarak yazımı,

$$G_S(devrilme) = \frac{\sum M_O(karşı koyan)}{\sum M_O(deviren)} > 1.5 \quad (49)$$

$$g_{10}(x) = -\frac{W\gamma_y + (P_V + F_{sy})(x_1 + x_2 + x_3)}{P_h \frac{H_{arka}}{3} + F_{sx} \frac{H_{arka}}{2}} + 1.5 \quad (50)$$

şeklindedir. Burada, W, Duvar ağırlığı; γ_y , yatayda moment kolu; P_h , yatayda statik aktif zemin itkisi; P_V , düşeyde statik aktif zemin itkisi; F_{sx} , yatayda statik aktif sürşarj itkisi; F_{sy} , düşeyde statik aktif sürşarj itkisi ve H_{arka} , duvar arka yüzey yüksekliği şeklinde ifade edilir. Tasarım değişkenlerinin hesaba katılmasıyla, denklem aşağıdaki gibi türetilmiştir.

$$\begin{aligned} g_{10}(x) = & -((\gamma_t(0.5(H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3)(x_1 + x_2 + x_3) \\ & - (0.5/3)x_3x_3(H + D_f) - 0.5x_2x_2(x_1 + x_3 + (2/3)x_2) \\ & - (0.5/3)x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) - 0.5x_6(x_4 \\ & + x_5)(x_1 + x_2 + x_3 - (1/3)x_6))) + (0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H \\ & + D_f + x_5)K_a \sin(\frac{2\phi}{3}) + K_a q(H + D_f + x_5) \sin(\frac{2\phi}{3}))(x_1 + x_2 \\ & + x_3))/((0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \cos \frac{2\phi}{3}((H + D_f \\ & + x_5)/3) + (K_a q(H + D_f + x_5) \cos \frac{2\phi}{3}((H + D_f + x_5)/2)) \\ & + 1.5 \end{aligned} \quad (51)$$

2.3.3. Kayma Tahkiki

Kayma durumu tahkik edilirken duvarın yatay hareketine karşı koyan kuvvetlerin, duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetlerden belli bir oranda büyük olması istenir.

$$G_s(kayma) = \frac{\sum F(karşı koyan)}{\sum F(kaydıran)} \geq 1.3 \quad (52)$$

$$g_{11}(x) = ((W + P_v + F_{sy})\tan\delta)/(P_h + F_{sx}) \geq 1.3 \quad (53)$$

Denklemler, tasarım değişkenleri ve girdilerle türetilerek aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\begin{aligned} g_{11}(x) = & 1.3(0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \cos \delta \\ & + K_a q(H + D_f + x_5) \cos \delta) \\ & - \tan \delta \left(\gamma_t \left(((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) \right. \right. \\ & - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) \\ & + x_2 x_2)) \left. \right) + 0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \sin \delta \\ & + K_a q(H + D_f + x_5) \sin \delta) \end{aligned} \quad (54)$$

2.3.4. Zemin Taşıma Gücü Tahkiki

Duvarın temel tabanının uçlarında bulunan gerilmelerin, zeminin taşıma gücünü aşıp aşmadığı kontrol edilerek göçmenin önüne geçmek için tahkikler yapılır.

Maksimum taban basıncının güvenilir sınırdan kalması için aşağıdaki bağıntı tanımlanır.

$$\begin{aligned} \sigma_{max} &= \frac{\sum N}{A} \left(1 + 6 \frac{e_x}{B} \right) \\ &= \frac{W + P_v + F_{sy}}{BL} \left(1 + 6 \frac{\left| \frac{M_{deviren} - M_{karşılayan} + \sum N \frac{D}{2}}{\sum N} \right|}{B} \right) \\ &\leq q_{emin} \end{aligned} \quad (55)$$

Bağıntı, tasarım değişkenleri ve girdilerle türetilerek aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\begin{aligned}
g_{12}(x) = & ((\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) + 0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H \\
& + D_f + x_5)K_a \sin\delta + K_a q(H + D_f + x_5) \sin\delta) / ((x_5x_5 + (x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_6))^{(0.5)})) (1 \\
& + 6(abs((((0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \cos\delta)((H \\
& + D_f + x_5)/3) + (K_a q(H + D_f + x_5) \cos\delta)((H + D_f + x_5)/2))) \\
& - (((\gamma_t(0.5(H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3)(x_1 + x_2 + x_3) \\
& - (0.5/3)x_3x_3(H + D_f) - 0.5x_2x_2(x_1 + x_3 + (2/3)x_2) \\
& - (0.5/3)x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) - 0.5x_6(x_4 \\
& + x_5)(x_1 + x_2 + x_3 - (1/3)x_6))) + (0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H \\
& + D_f + x_5)K_a \sin\delta + K_a q(H + D_f + x_5) \sin\delta)(x_1 + x_2 + x_3)))) \\
& + (\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 \\
& + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) + 0.5\gamma_z(H + D_f \\
& + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \sin\delta + K_a q(H + D_f + x_5) \sin\delta)(x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6)/2) / (\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H \\
& + D_f) + x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) \\
& + 0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a \sin\delta + K_a q(H + D_f \\
& + x_5) \sin\delta))) / ((x_5x_5 + (x_1 + x_2 + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 \\
& - x_6))^{(0.5)})) - q_{emin}
\end{aligned} \tag{56}$$

Minimum taban basıncının sıfırdan büyük olması istendiği için aşağıdaki bağıntı tanımlanır.

$$\begin{aligned}
\sigma_{min} &= \frac{\sum N}{A} \left(1 - 6 \frac{e_x}{B}\right) \\
&= \frac{W + P_v + F_{sy}}{BL} \left(1 - 6 \frac{\left| \frac{M_{deviren} - M_{karşılayan} + \sum N \frac{D}{2}}{\sum N} \right|}{B}\right) \geq 0
\end{aligned} \tag{57}$$

Bağıntıdaki ‘ $\geq$ ’ simgesini ‘ $\leq$ ’ simgesine dönüştürmek için denklem, ‘-1’ ile çarpılır. Tasarım değişkenleri ve girdilerle türetilip aşağıdaki bağıntı elde edilerek MATLAB programına yazılır.

$$\begin{aligned}
g_{13}(x) = & -(((\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) + 0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H \\
& + D_f + x_5)K_a\sin\delta + K_aq(H + D_f + x_5)\sin\delta)/((x_5x_5 + (x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_6))^{(0.5)})))(1 \\
& - 6(abs((((0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a\cos\delta)((H \\
& + D_f + x_5)/3) + (K_aq(H + D_f + x_5)\cos\delta)((H + D_f + x_5)/2))) \\
& - (((\gamma_t(0.5(H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3)(x_1 + x_2 + x_3) \\
& - (0.5/3)x_3x_3(H + D_f) - 0.5x_2x_2(x_1 + x_3 + (2/3)x_2) \\
& - (0.5/3)x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) - 0.5x_6(x_4 \\
& + x_5)(x_1 + x_2 + x_3 - (1/3)x_6))) + (0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H \\
& + D_f + x_5)K_a\sin\delta + K_aq(H + D_f + x_5)\sin\delta)(x_1 + x_2 + x_3)))) \\
& + (\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H + D_f) + x_5(x_1 \\
& + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) + 0.5\gamma_z(H + D_f \\
& + x_5)(H + D_f + x_5)K_a\sin\delta + K_aq(H + D_f + x_5)\sin\delta)(x_1 + x_2 \\
& + x_3 - x_6)/2)/(\gamma_t((H + D_f + x_5)(x_1 + x_2 + x_3) - 0.5(x_3(H \\
& + D_f) + x_5(x_1 + x_2 + x_3 - x_6) + x_6(x_4 + x_5) + x_2x_2)) \\
& + 0.5\gamma_z(H + D_f + x_5)(H + D_f + x_5)K_a\sin\delta + K_aq(H + D_f \\
& + x_5)\sin\delta)))/((x_5x_5 + (x_1 + x_2 + x_3 - x_6)(x_1 + x_2 + x_3 \\
& - x_6))^{(0.5)})))
\end{aligned} \tag{58}$$

2.4. Optimizasyon Problemi

Tasarım değişkenleri, hedef ve kısıt fonksiyonlarının belirlenmesiyle optimizasyon problemi tamamlanmış olmaktadır. Optimizasyon problemi özetlenecek olursa aşağıdaki bağıntılarla tanımlanmaktadır.

$$\min_x \left\{ f(x) \middle| \begin{array}{l} h_k(x) = 0 \\ g_j(x) \leq 0 \end{array} \right\} \tag{59}$$

$$x = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6) \tag{60}$$

$$k = (1, 2) \tag{61}$$

$$j = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13) \tag{62}$$

Hedef fonksiyonu, eşitlik ve eşitsizlik tipi kısıtlardan oluşan optimizasyon problemine inputlar ve atanması gereken değerler girilerek MATLAB programında çalıştırılıp tasarım değişkenleri belirlenip duvar geometrileri oluşturulacaktır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Duvar Tasarımında Girilen Veriler

Optimizasyon problemi oluşturulurken, imal edilecek olan taş duvarın ve bulunulan ortam zemininin özellikleri belirlenip formülasyonlarda kullanılmak üzere tanımlanmalıdır. Tanımlanan değerler Tablo 7’de belirtilmiştir.

Kurumların belirlediği tip kesitler ve piyasada imal edilen projelerden yola çıkılarak, taş dayanma duvarların 0-12 m yüksekliklerde yapılması önerilmektedir (URL-4). Çalışmamızda anlamlı derinlik (D_f) 1 metre alınarak toplam duvar yüksekliği, ($H+D_f$) 3 metreden 10 metre yüksekliğe kadar seçilmiş ve çözümlemeye varılmıştır. Farklı duvar yüksekliklerinde 20° , 30° ve 40° ’lik içsel sürtünme açıları ile kombinasyon oluşturulup optimum kesit alanına sahip duvarların elde edilmesi sağlanmıştır. Carter ve Bentley’e (1991) göre killi için birim hacim aralığı $16-21 \text{ kN/m}^3$; kumlar ve çakıllar için, $17-23 \text{ kN/m}^3$ değerlerinde olduğundan zemin birim hacim ağırlığı, (γ_z) 18 kN/m^3 ve kullanılan taş birim hacim ağırlığı 22 kN/m^3 olarak seçilmiştir. Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı ise TBDY (2018) verileri ışığında $2\phi/3$ olarak girilmiştir. Aktif zemin itki katsayısı, içsel sürtünme açısına bağlı olarak Coulomb teorisindeki bağıntıdan elde edilmiştir. Farklı zeminlerin taşıma kapasiteleri de değişkenlik göstereceğinden izin verilebilir taşıma gücü değeri, duvar yüksekliği ve içsel sürtünme açısı değerlerine göre farklılık göstermektedir. Diğer girdiler, kısıt fonksiyonlarının görevlerini sağlaması açısından Tablo 7’de gösterildiği gibi sabit tutulmuştur.

Tablo 7. Optimizasyon problemi için tanımlanan değerler

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	Değer
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	[3-10]
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	[20-40]
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{2\phi}{3}$
Sürüşarj yükü	kN/m^2	q	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	Coulomb teorisinden
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	[100-300]

3.2. 3 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

$H+D_f=3$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 8’de verilmektedir.

Tablo 8. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	3	3	3
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m^2	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	100	100	100

MATLAB programı aracılığıyla oluşturulan optimizasyon probleminin farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünden çıkarılan x değerleri Tablo 9’da verilmiştir. Tabloya bakılarak içsel sürtünme açısı arttıkça x_1 ve x_2 değerleri azalmış, duvar ön yüzünde %20 oranındaki eğimden dolayı x_3 sabit bir değer almış, x_4 ve x_6 değerleri artmıştır. x_5 ise 0 değerini almış olup optimum taş duvar kesitinde topuk kısmının oluşmadığı görülmüştür. Duvar üst tabanı içsel sürtünme açısına bağlı olarak ciddi anlamda azalma göstermiştir. Enkesitte x_2 ile gösterilen arka eğimi sağlayan parça içsel sürtünme açısı arttıkça kısalmış 40° içsel sürtünme açısındaki enkesitte sıfır değerini almıştır.

Tablo 9. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x_1	2.6135	0.7734	0.7146
x_2	2.1039	0.7505	0
x_3	0.6000	0.6000	0.6000
x_4	0.5669	0.7583	3
x_5	-2.0×10^{-21}	-2.3×10^{-21}	2.2×10^{-22}
x_6	0.1134	0.1517	0.6

Optimizasyon probleminin çözümünden çıkan değerler ışığında Tablo 10'da görüldüğü şekilde, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 12.8070 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 5.1325 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 2.1439 m^2 değerlerine sahiptir.

3 metre yüksekliğe sahip duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %59.92 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %58.23 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %83.26 oranında azaldığı belirlenmiştir.

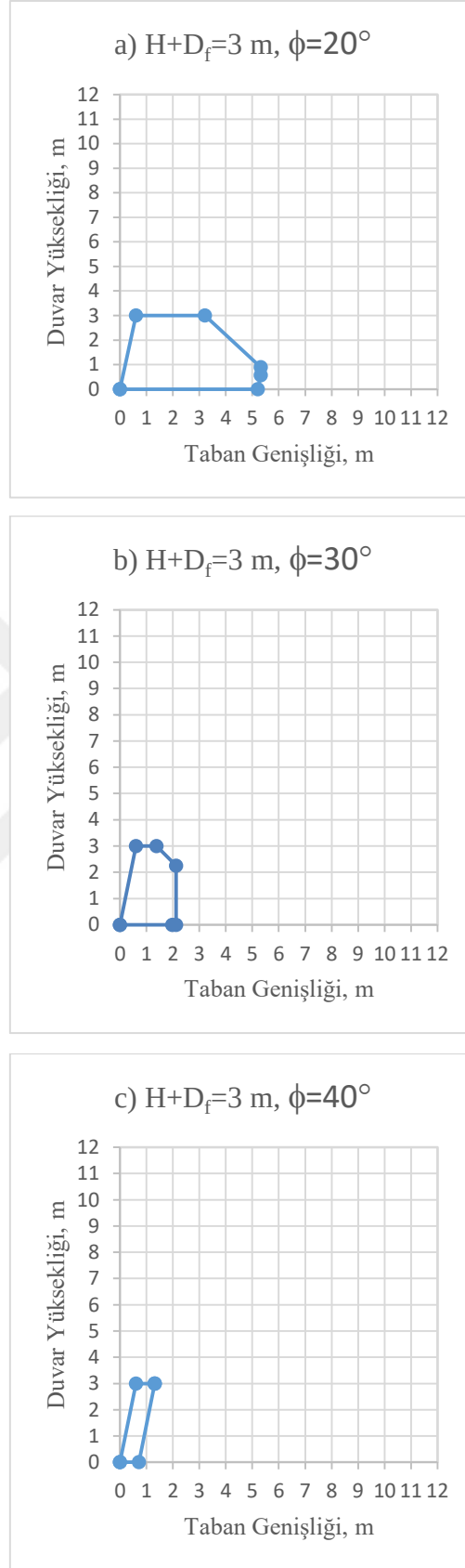
Farklı içsel sürtünme açılarındaki kısıt değerlerine bakıldığında optimum sonuçları elde etmede kayma kısıtının aktif bir rol oynadığı görülmektedir. Yalnız 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte maksimum taşıma gücü kısıtı da önem arz etmektedir. Tüm durumlarda devrilme ve minimum taşıma gücü tahkikleri inaktif değerdedir.

Kısıt fonksiyonlarının aktiflik ve inaktiflik durumları, duvar geometrisinde hangi unsurların etkili olduğunu belirtmektedir.

Tablo 10. $H+D_f=3$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-10.6426	-2.3055	-0.2295
g_{11}	-	2.8×10^{-11}	1.2×10^{-8}	-0.1159
g_{12}	-	-29.8487	-24.5438	2.4×10^{-9}
g_{13}	-	-43.0202	-52.0424	-63.6199
f_{val}	m^2	12.8070	5.1325	2.1439

3 metre yüksekliğindeki duvar enkesitleri incelendiğinde içsel sürtünme açıları arttıkça kesit alanının küçüldüğü, duvar arka yüzeyinin gittikçe arka zemine yatık bir hâl aldığı ve 40 derece içsel sürtünme açısında duvar ön yüzüne paralel bir şekil aldığı görülmektedir (Şekil 28). Temel tabanının tüm içsel sürtünme açılarındaki enkesitlerinde, klasik enkesitlere nazaran eğimsiz ve düz olduğu görülmektedir. Ayrıca 20 derece içsel sürtünme açısında oluşan kesitte, zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısının, TBDY verilerinde maksimum verilebilecek değer olan $2\phi/3$ seçilmesinden ötürü duvar genişliğinin gündelik imalatlarda tercih edilemeyecek ölçüde yayvan bir tabanın olduğu fakat içsel sürtünme açısı artış gösterdikçe duvar alt ve üst tabanının daraldığı da şekillerden görülmektedir. Bu durum, zemini oluşturan tanelerin aralarındaki kenetlenmeden kaynaklanan direncin içsel sürtünme açısının yükselmesine bağlı olarak taban alanının azaltılması olarak tarif edilebilir.



Şekil 28. 3 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.2.1. 3 Metre Yüksekliğinde ve 40° İçsel Sürtünme Açısına Sahip Optimum Duvarın, Aynı Değerlerdeki Klasik Duvar Tipkesiti İle Karşılaştırılması

H+D_f=3 m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarı, 40° içsel sürtünme açısında ve diğer tüm girdiler aynı olacak şekilde klasik bir taş duvar tipkesiti ile karşılaştırılacaktır.

Karşılaştırmada kullanılan klasik duvarın duvar ve zemin özelliklerine ait parametreleri, Tablo 8’de 40° içsel sürtünme açısı için belirtilen değerlerle aynı seçilmiştir.

Çalışmada kısıt fonksiyonları olarak kullanılan devrilme, kayma ve taşıma gücü tahkikleri klasik taş duvar tipkesitinde de dikkate alınıp devrilme tahkiki için Bağıntı 63; kayma tahkiki için Bağıntı 64; maksimum taşıma gücü tahkiki için Bağıntı 65 ve Bağıntı 66; minimum taşıma gücü tahkiki için ise Bağıntı 67 ve Bağıntı 68 oluşturulmuş olup sınır değerleri sağlatacacak boyutta elde edilen duvar tipkesiti Şekil 29’da gösterilmiştir.

$$G_S(devrilme) = \frac{\sum M_O(karşı koyan)}{\sum M_O(deviren)} = \frac{W\gamma_y + (P_v + F_{sy})(x_1 + x_2 + x_3)}{P_h \frac{H_{arka}}{3} + F_{sx} \frac{H_{arka}}{2}} \quad (63)$$

$$= \frac{5.15 + (0.83 + 0.44)(1.33)}{1.66 * 1.07 + 0.88 * 1.60} = 2.15 > 1.5$$

$$G_S(kayma) = \frac{\sum F(karşı koyan)}{\sum F(kaydıran)} = \frac{(W + P_v + F_{sy})\tan\delta}{P_h + F_{sx}} \quad (64)$$

$$= \frac{(6.67 + 0.83 + 0.44)0.502}{1.66 + 0.88} = 1.58 \geq 1.3$$

$$\sigma_{max} = \frac{\sum N}{A} \left(1 + 6 \frac{\left| \frac{(M_{deviren} - M_{karşılayan}) + \sum N \frac{D}{2}}{\sum N} \right|}{B} \right) \leq \sigma_{emin} \quad (65)$$

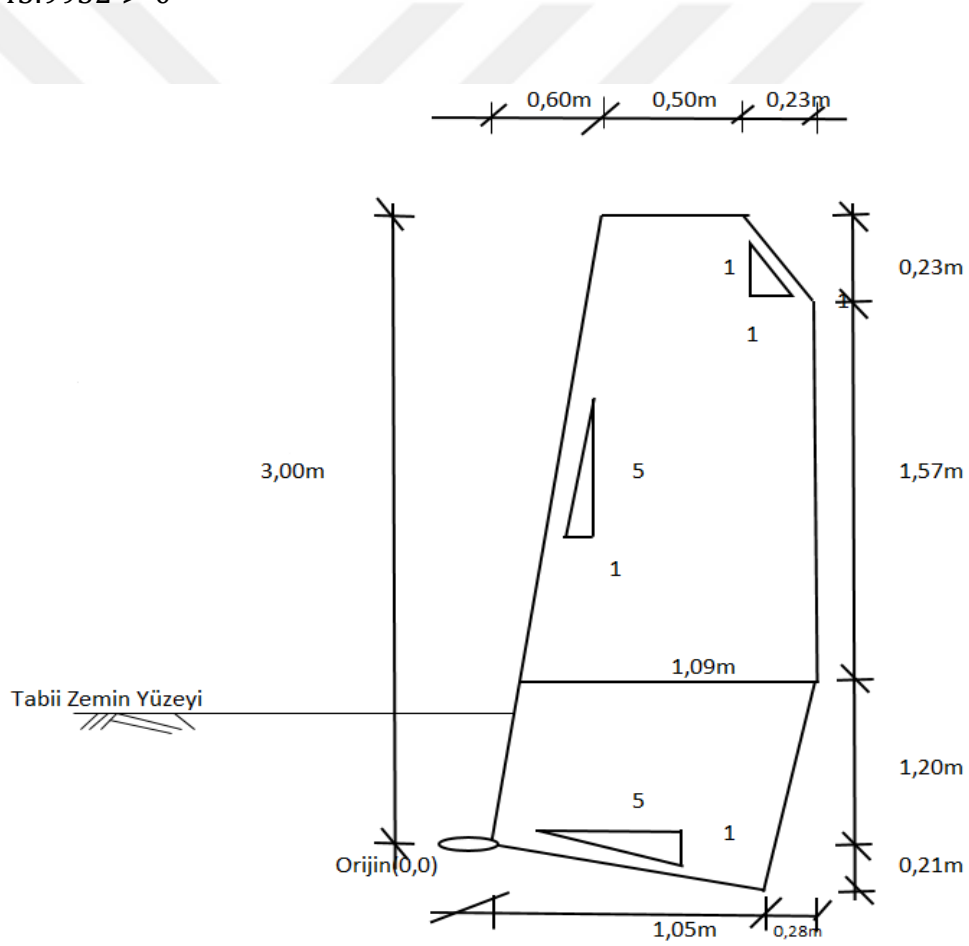
$$\sigma_{max}$$

$$= \frac{65.4 + 8.1 + 4.3}{1.0708} \left(1 + 6 \frac{\left| \frac{(17.4 + 13.9) - (10.9 + 5.8 + 50.5) + (65.4 + 8.1 + 4.3) \frac{1.05}{2}}{(65.4 + 8.1 + 4.3)} \right|}{1.0708} \right) \quad (66)$$

$$= 99.8317 \leq 100$$

$$\sigma_{min} = \frac{\sum N}{A} \left(1 - 6 \frac{\left| \frac{(M_{deviren} - M_{karşılayan}) + \sum N \frac{D}{2}}{\sum N} \right|}{B} \right) > 0 \quad (67)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{min} &= \frac{65.4 + 8.1 + 4.3}{1.0708} \left(1 - 6 \frac{\left| \frac{(17.4 + 13.9) - (10.9 + 5.8 + 50.5) + (65.4 + 8.1 + 4.3) \frac{1.05}{2}}{(65.4 + 8.1 + 4.3)} \right|}{1.0708} \right) \\ &= 45.9932 > 0 \end{aligned} \quad (68)$$



Şekil 29. Tahkikler neticesinde oluşturulan klasik taş duvar enkesiti

Şekil 29’da görüldüğü üzere 3 metre duvar yüksekliğindeki tasarımda, 40 derece içsel sürtünme açısında devrilme, kayma ve taşıma gücü tahkiklerini sağlayan klasik kesit, boyutları itibarıyla 3.03 m²’lik enkesit alanına sahiptir. Şekil 28’de görülen tez

çalışmasındaki optimum tasarım neticesinde Tablo 9’da verilen değerlerde, 3 metre yüksekliğinde ve 40° içsel sürtünme açısında 2.1439 m^2 değerinde kesit alanı ile karşılaşılmıştır. Sonuç olarak klasik duvar örneği ve optimum duvarın, enkesit alanları kıyaslandığında; optimum duvar enkesitinin klasik duvar enkesitinden %29.24 daha az enkesit alanına sahip olduğu görülmekte ve bu değer, ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarlarının MATLAB programıyla optimum tasarlanabildiğini ispatlamaktadır.

3.3. 4 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

$H+D_f=4 \text{ m}$ yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 11’de verilmektedir.

Tablo 11. $H+D_f=4 \text{ m}$ yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarındaki, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	4	4	4
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürüşarj yükü	kN/m^2	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	100	100	200

Tablo 11'e bakıldığında 20° ve 30° içsel sürtünme açılarında izin verilebilir taşıma gücü değeri 100 kN/m^2 iken; 40° içsel sürtünme açısında zeminin 4 m yüksekliğindeki duvarı güvenle taşıyabilmesi ve optimizasyonun doğru çözüme kavuşması için 200 kN/m^2 olarak seçilmiştir.

$H+D_f=4$ m yüksekliğinde taş istinat duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünden çıkarılan x değerleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. $H+D_f=4$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x₁	3.0530	0.9188	0.1097
x₂	2.5560	0.8823	0.4773
x₃	0.8000	0.8000	0.8000
x₄	0.5761	1.0256	1.9489
x₅	1.2×10^{-21}	1.2×10^{-21}	8.5×10^{-20}
x₆	0.1152	0.2051	0.3898

Tabloya bakıldığında içsel sürtünme açısı arttıkça; x_1 ve x_2 değerlerinin azaldığı, x_3 değerinin duvar ön yüzünün $\%20$ eğimli olmasından ötürü sabit değer aldığı, x_4 ve x_6 değerlerinin artış gösterdiği, x_5 değişkeninin duvarda bulunmadığı ve duvar tabanının düz olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 13'te görüldüğü üzere, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 20.7361 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 8.3098 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 3.4541 m^2 değerlerine sahiptir.

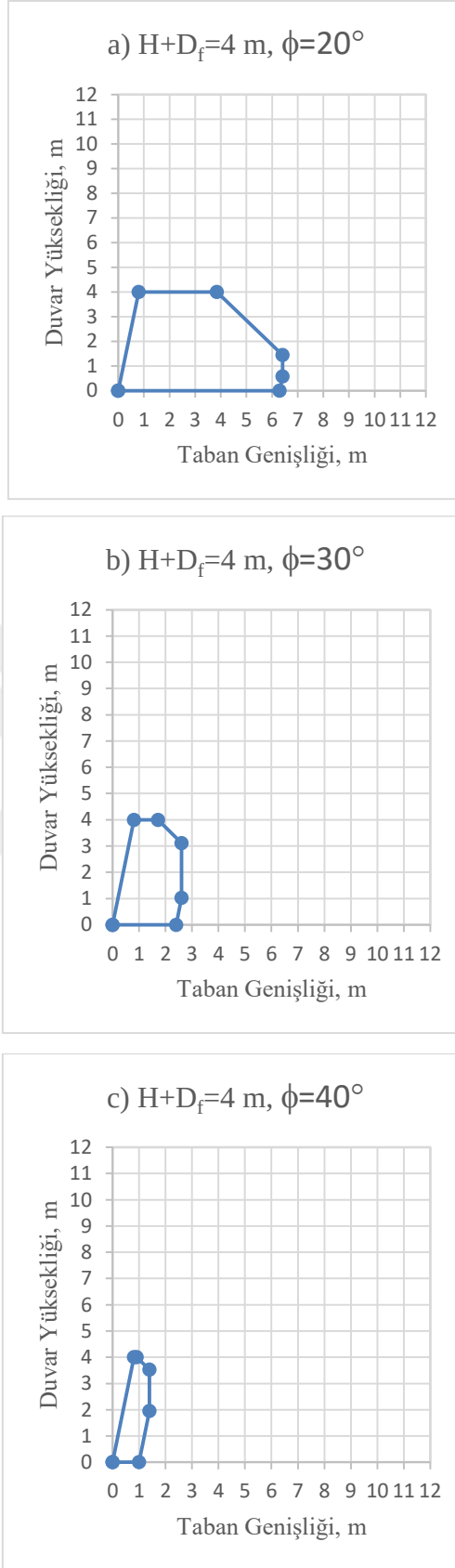
4 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte $\%59.93$ oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte $\%58.43$ oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte $\%83.34$ oranında azaldığı belirlenmiştir.

Farklı içsel sürtünme açılarında, Tablo 13'teki kısıt değerlerine bakıldığında; 4 metre yüksekliğindeki optimum duvarların tümünde kayma kısıtının aktif bir rol oynadığı, 30° içsel sürtünme açısında kayma kısıtı ile beraber maksimum taşıma gücü kısıtının aktif olup minimum taşıma gücü ve devrilme kısıtının inaktif olduğu, 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte ise devrilme kısıtı, kayma kısıtı ve minimum taşıma gücü kısıtının aktif olup maksimum taşıma gücü kısıtının inaktif olduğu görülmektedir.

Tablo 13. $H+D_f=4$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g₁₀	-	-9.9783	-2.1326	-0.0626
g₁₁	-	2.5×10^{-11}	2.8×10^{-14}	8.8×10^{-8}
g₁₂	-	-7.9729	-1.7×10^{-4}	-10.9057
g₁₃	-	-59.4871	-69.9196	-0.0072
f_{val}	m ²	20.7361	8.3098	3.4541

4 metre yüksekliğindeki duvarın x değerlerine bağlı, Şekil 30'daki enkesitleri incelendiğinde içsel sürtünme açıları arttıkça kesit alanının küçüldüğü göze çarpan ilk unsurlardandır. 3 m yüksekliğine sahip duvarda olduğu gibi içsel sürtünme açısına bağlı olarak duvar alt ve üst taban genişliği daralmaktadır. 40 derece içsel sürtünme açısında, duvar üst genişliği yatay formda bulunmayıp üçgen görünüme sahiptir. Yine aynı şekilde duvar altında topuk kısmı oluşmamaktadır ve duvar alt tabanı %0 eğime sahiptir.



Şekil 30. 4 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.4. 5 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

$H+D_f=5$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 14'te verilmektedir.

Tablo 14. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	5	5	5
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m^2	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	200	200	200

Tablo incelendiğinde, duvarın taşıma kapasitesini güvenli alanda tutmak için q_{emin} değerinin 200kN/m^2 girildiği görülmektedir. Taş dayanma duvarının yüksekliği 5 m olacak şekilde MATLAB programına girdiler eklenerek farklı içsel sürtünme açılarında çözümlemelerden oluşan x değerleri Tablo 15'te verilmiştir.

Tablo 15. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x_1	2.8794	1.0536	0.0000
x_2	2.5232	1.0018	0.8929
x_3	1.0000	1.0000	1.0000
x_4	0.6207	0.7428	3.8552
x_5	2.4×10^{-22}	5.1×10^{-21}	-1.1×10^{-22}
x_6	0.1241	0.1486	0.7710

Tablodaki değerler incelendiğinde tüm içsel sürtünme açılarında x_5 tasarım değişkeninin 0 değerine sahip olduğu ve sadece 40° içsel sürtünme açısında x_1 değişkeninin 0 değerini aldığı görülmektedir.

Tablo 16'da görüldüğü şekilde, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 26.2915 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 12.2203 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 5.0796 m^2 değerlerine sahiptir.

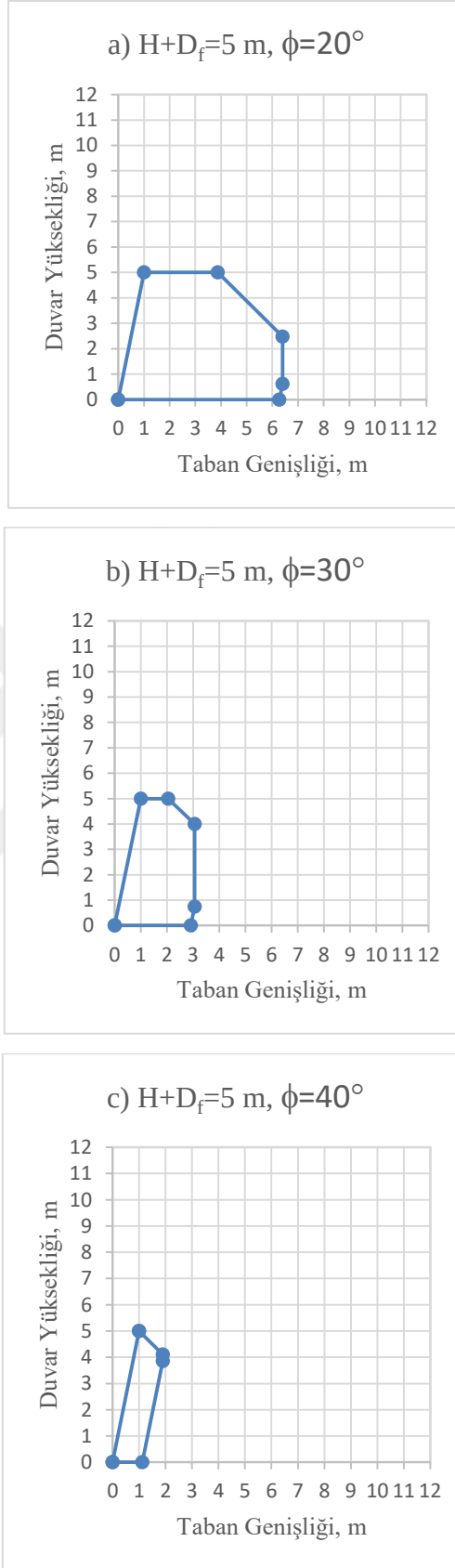
5 metre yüksekliğe sahip duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.52 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %58.43 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %80.68 oranında azaldığı belirlenmiştir.

4 metre yüksekliğindeki optimum duvar enkesitinde olduğu gibi 5 m yüksekliğindeki optimum duvarda da tüm içsel sürtünme açılarında kayma kısıtının; 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte ise maksimum taşıma gücü ve kayma kısıtının aktif olduğu görülmektedir. Devrilme tahkikleri her durumda inaktif değerdedir.

Tablo 16. $H+D_f=5$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.9923	-2.0295	-0.1148
g_{11}	-	7.1×10^{-13}	5.6×10^{-8}	1.7×10^{-10}
g_{12}	-	-85.5243	-70.3286	1.7×10^{-9}
g_{13}	-	-79.4252	-76.2877	-47.1835
f_{val}	m^2	26.2915	12.2203	5.0796

5 metre yüksekliğinde, farklı içsel sürtünme açılarında çözümlenen taş duvarların enkesitleri Şekil 31’de görülmektedir. 40 derece içsel sürtünme açısının bulunduğu tasarım kesitinde duvar üst tabanı üçgen formuna gelmektedir. Diğer enkesitlerde, yüksekliğe ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak boyutlarda değişiklik oluşmaktadır. Duvarın arka kısmında zemin düzlemine dik doğrultuda bulunan parça, 20° ve 30° içsel sürtünme açılarındaki oluşturulan enkesitlerde mevcutken; 40° içsel sürtünme açısında oluşturulan optimum enkesitte bulunmamaktadır. Duvar arka uzunluğunun çoğunluğu (x_4+x_5), duvar ön yüzüne paralel durumdadır.



Şekil 31. 5 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.5. 6 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

H+D_f=6 m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 17’de verilmektedir.

Tablo 17. H+D_f=6 m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	H+D _f	6	6	6
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m ²	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K _a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m ²	q _{emin}	200	200	200

$\phi=20^\circ$, $\phi=30^\circ$ ve $\phi=40^\circ$ içsel sürtünme açılarında kombinasyon yapılarak, 6 metre yüksekliğindeki taş istinat duvarının optimizasyon probleminin çözümündeki x değerleri Tablo 18’de verilmiştir.

Tablo 18. $H+D_f=6$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x₁	3.2577	1.2081	0.7965
x₂	2.8934	1.1468	0.3182
x₃	1.2000	1.2000	1.2000
x₄	0.6226	0.7377	5.6817
x₅	-5.5×10^{-25}	6.9×10^{-20}	-1.2×10^{-23}
x₆	0.1245	0.1475	1.1363

Tablo 19’da görüldüğü şekilde, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 36.2823 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 17.0171 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 7.0098 m^2 değerlerine sahiptir.

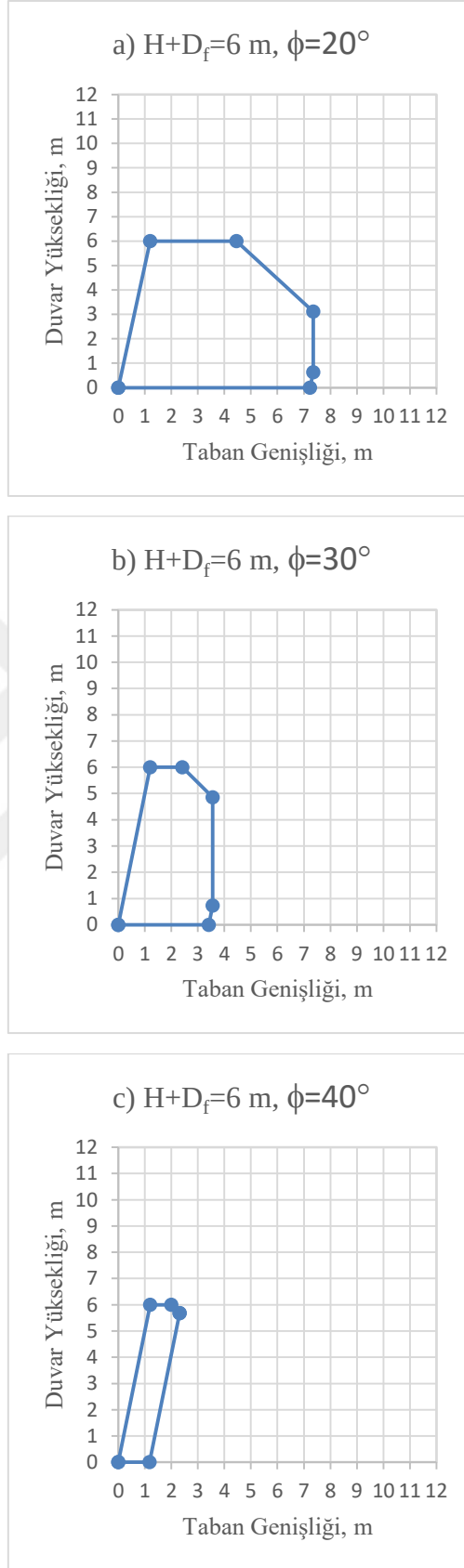
6 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.10 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %58.81 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %80.68 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Yine aynı tablodan görüldüğü üzere, 6 metre yüksekliğinde oluşan optimum duvarda, 20° ve 30° içsel sürtünme açılarında sadece kayma kısıtı aktif, diğer kısıtlar inaktif; 40° içsel sürtünme açısında kayma kısıtı ve maksimum taşıma gücü kısıtları aktif, diğer kısıtlar inaktif durumdadır.

Tablo 19. $H+D_f=6$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.8033	-1.9903	-0.1347
g_{11}	-	6.3×10^{-13}	8.1×10^{-8}	3.0×10^{-8}
g_{12}	-	-63.2499	-44.6555	3.9×10^{-7}
g_{13}	-	-95.7279	-89.1139	-124.7357
f_{val}	m^2	36.2823	17.0171	7.0098

Şekil 32’de, Tablo 18’de gösterilen tasarım değişkenlerine atanan değerlerle oluşturulan dayanma duvarı enkesitleri görülmektedir. Aynı içsel sürtünme açıları ve zemin özelliklerinde, yükseklik arttıkça duvar tabanının genişlediği net bir şekilde saptanmaktadır. Ayrıca yükseklikten dolayı duvar arka yüzeyindeki eğim bulunmayan kısmın boyutlarında daha çok farklılık olduğu, duvar üst genişliğinin içsel sürtünme arttıkça daraldığı gözlemlenmektedir.



Şekil 32. 6 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.6. 7 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

$H+D_f=7$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 20’de verilmektedir.

Tablo 20. $H+D_f=7$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	7	7	7
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m^2	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	200	200	200

$H+D_f=7$ metre yüksekliğe sahip taş istinat duvarının MATLAB programında farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünden çıkarılan x tasarım değişkenlerine atanan değerler Tablo 21’de verilmiştir. x_3 değişkeni, duvar ön yüzüne eğim verildiğinden sabit değer almıştır. Tasarımdaki x_5 değişkeninin yaklaşık sıfır değerini almasının sonucunda, temel tabanının eğimsiz ve yatay bir şekil almaktadır. Diğer tasarım değişkenleri içsel sürtünme açısı ve tasarım kısıtlarına göre farklı ölçülerde çıkmaktadır. Tasarımdaki x_4 değişkeninin,

40° içsel sürtünme açısındaki değeri, 20° ve 30° içsel sürtünme açılarındaki değerlere nazaran daha büyük bir değere sahip olduğu göze çarpmaktadır.

Tablo 21. H+D_f=7 m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x₁	3.6385	1.3325	0.7296
x₂	3.2636	1.2672	0.5876
x₃	1.4000	1.4000	1.4000
x₄	0.6239	0.7355	6.4124
x₅	1.6×10^{-23}	-2.2×10^{-21}	-1.0×10^{-25}
x₆	0.1248	0.1471	1.2825

Tablo 22 incelendiğinde, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 47.8505 m²; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 22.2409 m² ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alan, 9.8361 m² değerlerinde olduğu görülmektedir.

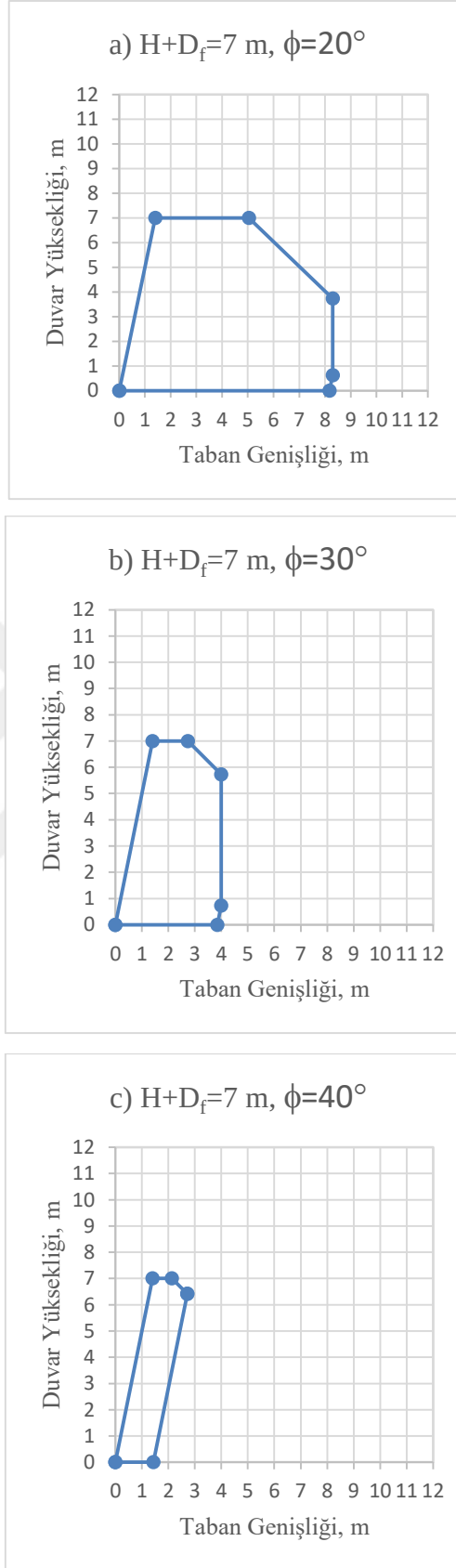
7 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.52 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %55.77 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %79.44 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 22. $H+D_f=7$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.6715	-1.9236	-0.1573
g_{11}	-	1.3×10^{-11}	8.7×10^{-8}	-2.8×10^{-14}
g_{12}	-	-40.9893	-16.5627	-1.8×10^{-8}
g_{13}	-	-111.9446	-99.3944	-169.8959
f_{val}	m^2	47.8505	22.2409	9.8361

Kısıt fonksiyonlarının değerleri incelendiğinde aynı yükseklikteki duvarda içsel sürtünme açısı artarken devrilme kısıtının değerinin azaldığı ve 40° içsel sürtünme açısında sıfır değerine yaklaştığı görülmektedir. Aynı zamanda 20° ve 30° içsel sürtünme açısında kayma kısıtı aktif; 40° içsel sürtünme açısında kayma kısıtı ile birlikte maksimum taşıma gücü kısıtı aktif rol oynamaktadır. Diğer tüm durumlarda minimum taşıma gücü kısıtı inaktif durumda olduğu görülmektedir.

7 metre yüksekliğindeki duvarın x değişkenlerinin değerlerine bağlı optimum enkesitleri Şekil 33'te görülmektedir. Şekilden, 6 metre yüksekliğe sahip optimum duvarda olduğu gibi uzunluklar farklı olsa da kısmen benzer kesitlerin oluştuğu anlaşılmakta ve kesitlerin farklı çıkmaması optimum sonucun bu tip kesitlerde bulunduğunu doğrulamaktadır.



Şekil 33. 7 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.7. 8 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

H+D_f=8 m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 23'te verilmektedir.

Tablo 23. H+D_f=8 m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	H+D _f	8	8	8
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m ²	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K _a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m ²	q _{emin}	200	200	250

Tablo 23 incelendiğinde 20° ve 30° içsel sürtünme açılarını bulunduğu optimum enkesite sahip duvarda 200 kN/m² değerindeki izin verilebilir taşıma gücünü sağladığı görülmektedir. Fakat aynı yükseklik ve 40° içsel sürtünme açısındaki optimum duvarda bu değer yeterli gelmediğinden dolayı güvenli tarafta kalınıp taşıma gücünü sağlattırmak maksadıyla taşıma kapasitesi için yeterli olabilecek 250 kN/m² değerinin girildiği

görülmektedir. Diğer değerler, farklı yükseklik ve içsel sürtünme açlarındaki optimum duvarlarda girilen değerlerle aynıdır.

$H+D_f=8$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan taş istinat duvarının MATLAB programında oluşturulan optimizasyon probleminin farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünden çıkarılan x değişkenlerinin değerleri Tablo 24'te verilmiştir. x_5 değişkeni tüm durumlarda olduğu gibi sıfır çıkmakta ve duvar tabanındaki eğimi pasifize etmektedir.

Tablo 24. $H+D_f=8$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x_1	4.0208	1.4006	1.1209
x_2	3.6340	1.5483	0.2991
x_3	1.6000	1.6000	1.6000
x_4	0.6249	2.1005	7.7009
x_5	-1.3×10^{-22}	2.1×10^{-20}	-3.2×10^{-21}
x_6	0.1250	0.4201	1.5402

Tablo 25'te, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 60.9963 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 28.3510 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 11.7846 m^2 olduğu görülmektedir.

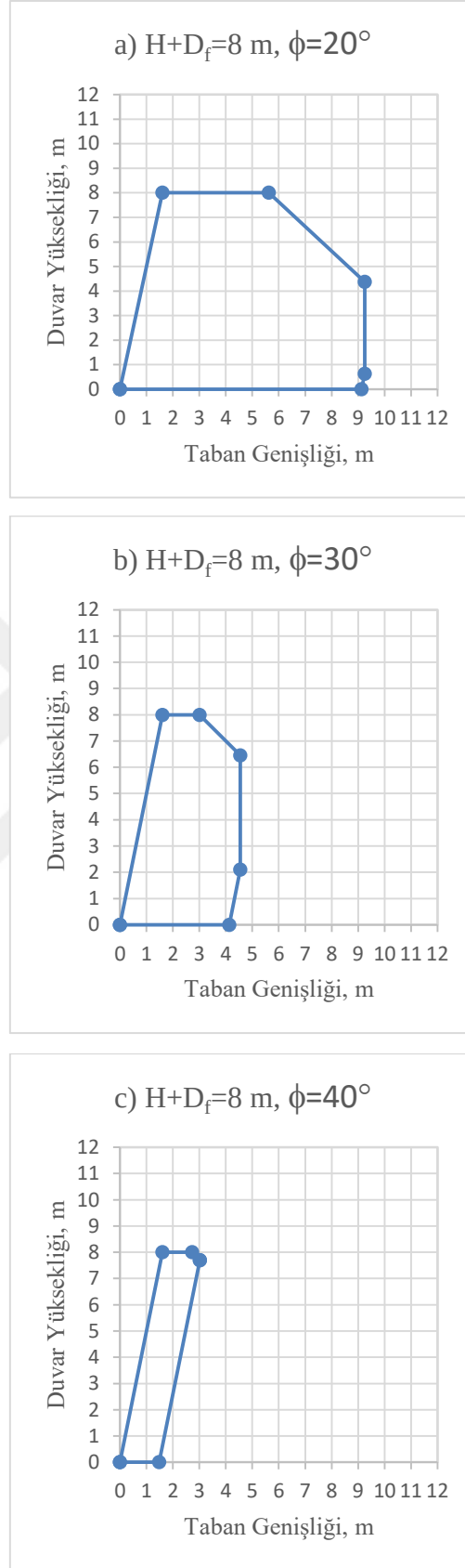
8 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.52 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %58.43 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %80.68 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 25. $H+D_f=8$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.5748	-1.9065	-0.1282
g_{11}	-	7.6×10^{-12}	1.2×10^{-7}	3.4×10^{-9}
g_{12}	-	-18.7399	-4.2283	-0.0285
g_{13}	-	-128.1015	-140.6459	-184.7831
f_{val}	m^2	60.9963	28.3510	11.7846

8 metre yüksekliğinde oluşan optimum duvarda da 7 metre yüksekliğine sahip duvar enkesitindeki durum meydana gelmiş ve kısıt fonksiyonlarının aktiflik ve inaktiflik durumları değişmemiştir.

Şekil 34 incelendiğinde, 8 metre yüksekliğindeki optimum duvar kesitlerinin içsel sürtünme açısına bağlı olarak değişimi görülmektedir. 20° 'lik içsel sürtünme açısında duvar boyutları daha yayvan bir hal almıştır. 30° 'lik içsel sürtünme açısındaki optimum duvar enkesiti, duvar temeli dışında klasik duvar tipkesitine benzer bir formda bulunmaktadır. 40° 'lik içsel sürtünme açısındaki optimum duvar enkesitinde ise kısmen %20 eğimli paralelkenar görünümü bulunmaktadır.



Şekil 34. 8 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

3.8. 9 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

H+D_f=9 m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 26’da belirtildiği şekildedir.

Tablo 26. H+D_f=9 m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	H+D _f	9	9	9
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m ³	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürşarj yükü	kN/m ²	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K _a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m ²	q _{emin}	200	200	250

H+D_f=9 m yüksekliğinde tasarımı yapılan taş istinat duvarının MATLAB programında oluşturulan optimizasyon probleminin farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünden çıkarılan x değişkenlerinin değerleri Tablo 27’de verilmiştir.

Tablo 27. $H+D_f=9$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x_1	4.5385	1.1851	1.7569
x_2	3.7826	2.3209	0.0000
x_3	1.8000	1.8000	1.8000
x_4	1.0777	4.2028	9.0000
x_5	9.6×10^{-20}	4.9×10^{-19}	-1.0×10^{-22}
x_6	0.2155	0.8406	1.8000

Tablo incelendiğinde, x_1 değişkeninin 20° içsel sürtünme açısından 30° içsel sürtünme açısına geçişte azaldığı; 30° içsel sürtünme açısından 40° içsel sürtünme açısına geçişte ise arttığı görülmektedir. Bu verilerden, içsel sürtünme açısına bağlı olarak aynı oranda azalıp artmadığı; duvarların optimum formunu yakalamak için değerlerin farklılık gösterdiği anlaşılmaktadır. 40° içsel sürtünme açısındaki optimum kesitte duvar arka yüzeyinin tamamı x_4 değişkeninin 9 metre uzunluğundan oluşmaktadır ve duvar ön ve arka yüzü aynı eğim açısına sahip olduğundan x_3 ve x_6 değişkenleri eşit değerlere sahiptir. Yine 40° içsel sürtünme açısındaki optimum kesitte x_2 ve x_5 değişkenlerinin değerlerinin sıfır olması duvar geometrisinin dört kenara sahip olduğu anlamına gelmektedir.

Tablo 28’de, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 75.7195 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 35.1943 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 15.8125 m^2 olduğu görülmektedir.

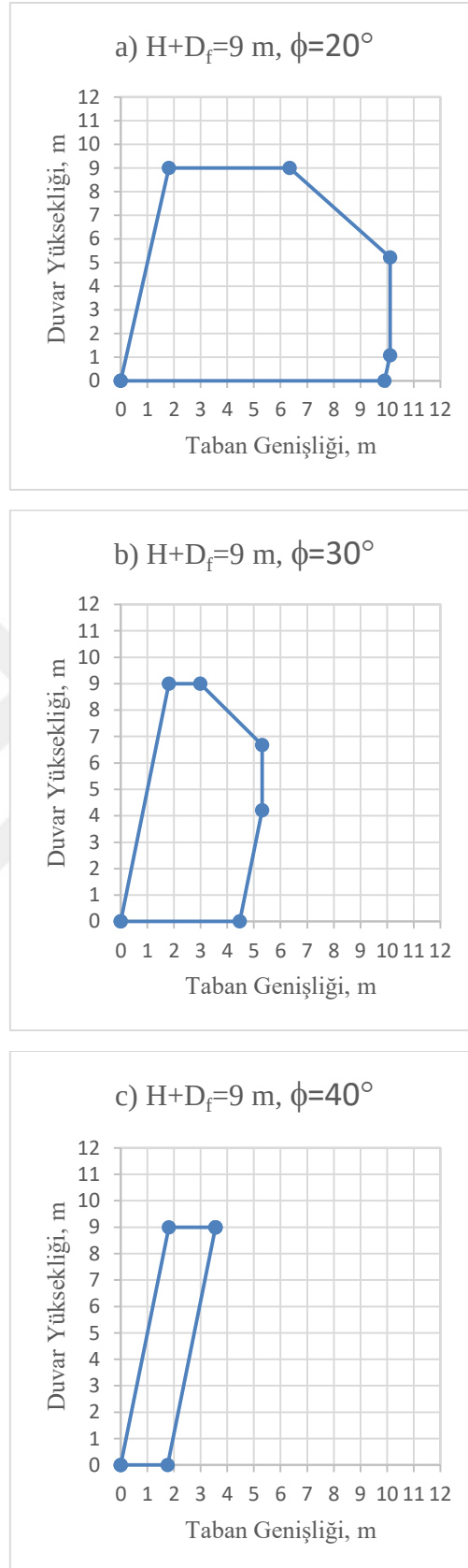
9 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.52 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %55.07 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %79.12 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 28. $H+D_f=9$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.4760	-1.9361	-0.2923
g_{11}	-	6.7×10^{-7}	9.2×10^{-7}	-13.0743
g_{12}	-	-0.0181	-0.0094	1.4×10^{-9}
g_{13}	-	-153.9785	-186.1433	-234.1926
f_{val}	m^2	75.7195	35.1943	15.8125

Yine tablo incelendiğinde, 9 metre yüksekliğinde oluşan optimum duvarda diğer yüksekliklerden farklı olarak, 20° ve 30° içsel sürtünme açılarına sahip enkesitte kayma ve maksimum taşıma gücü kısıtları aktif, diğer kısıtlar inaktif; 40° içsel sürtünme açısına sahip enkesitte ise yalnız maksimum taşıma gücü kısıtı aktif, diğer kısıtlar inaktif durumdadır.

Şekil 35'te statik yükler etkisinde, 9 metre yüksekliğindeki ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarının optimum enkesitleri görülmektedir.



Şekil 35. 9 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitler

3.9. 10 Metre Yüksekliğindeki Ağırlık Tipi Harçlı Moloz Taş Dayanma Duvarı

Son olarak, $H+D_f=10$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan ağırlık tipi moloz taş dayanma duvarının farklı içsel sürtünme açılarındaki çözümünde kullanılan veriler Tablo 29’da verilmektedir.

Tablo 29. $H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın farklı içsel sürtünme açılarında, optimizasyon problemi için tanımlanan değerleri

Optimizasyon Girdileri	Birim	Sembol	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
Toplam duvar yüksekliği	metre	$H+D_f$	10	10	10
İçsel sürtünme açısı	derece	ϕ	20	30	40
Zemin, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_z	18	18	18
Taş duvar, birim hacim ağırlığı	kN/m^3	γ_t	22	22	22
Duvar yüzünün (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) yatayla açısı	derece	α	90	90	90
Duvar arkası zemin yüzeyinin yataya göre eğim açısı	derece	β	0	0	0
Zemin ile temel tabanı arasındaki sürtünme açısı	derece	δ	$\frac{40}{3}$	20	$\frac{80}{3}$
Sürüşarj yükü	kN/m^2	q	15	15	15
Aktif zemin itki katsayısı	-	K_a	0.4379	0.2973	0.1998
Devrilmeye karşı güvenlik sayısı	-		1.5	1.5	1.5
Kaymaya karşı güvenlik sayısı	-		1.3	1.3	1.3
İzin verilebilir taşıma gücü	kN/m^2	q_{emin}	210	210	300

Tablo 29 incelendiğinde, 20° ve 30° içsel sürtünme açılarını bulunduğu optimum enkesite sahip duvarda 210 kN/m^2 değerindeki izin verilebilir taşıma gücünü sağladığı görülmektedir. Fakat aynı yükseklik ve 40° içsel sürtünme açısındaki optimum duvarda bu değer yeterli gelmediğinden dolayı güvenli tarafta kalınıp taşıma gücünü sağlatmak amacıyla taşıma kapasitesi için yeterli olabilecek 300 kN/m^2 değerinin girildiği

görülmektedir. Diğer değerler, farklı yükseklik ve içsel sürtünme açlarındaki optimum duvarlarda girilen değerlerle aynıdır.

$H+D_f=10$ m yüksekliğinde tasarımı yapılan taş istinat duvarının MATLAB programında çözümlenen optimizasyon probleminin farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri Tablo 30'da verilmiştir.

Tablo 30. $H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın tasarım değişkenlerinin, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Tasarım Değişkenleri	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
x₁	5.3718	0.8498	1.3862
x₂	3.5224	3.4198	0.3319
x₃	2.0000	2.0000	2.0000
x₄	2.6796	6.3856	9.6681
x₅	2.2×10^{-24}	1.0×10^{-20}	-6.2×10^{-22}
x₆	0.5359	1.2771	1.9336

Tablo 31'de, 20° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 92.0203 m^2 ; 30° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 42.7709 m^2 ve 40° içsel sürtünme açısındaki amaç fonksiyonu olarak tanımlanan kesit alanın, 17.7786 m^2 olduğu görülmektedir.

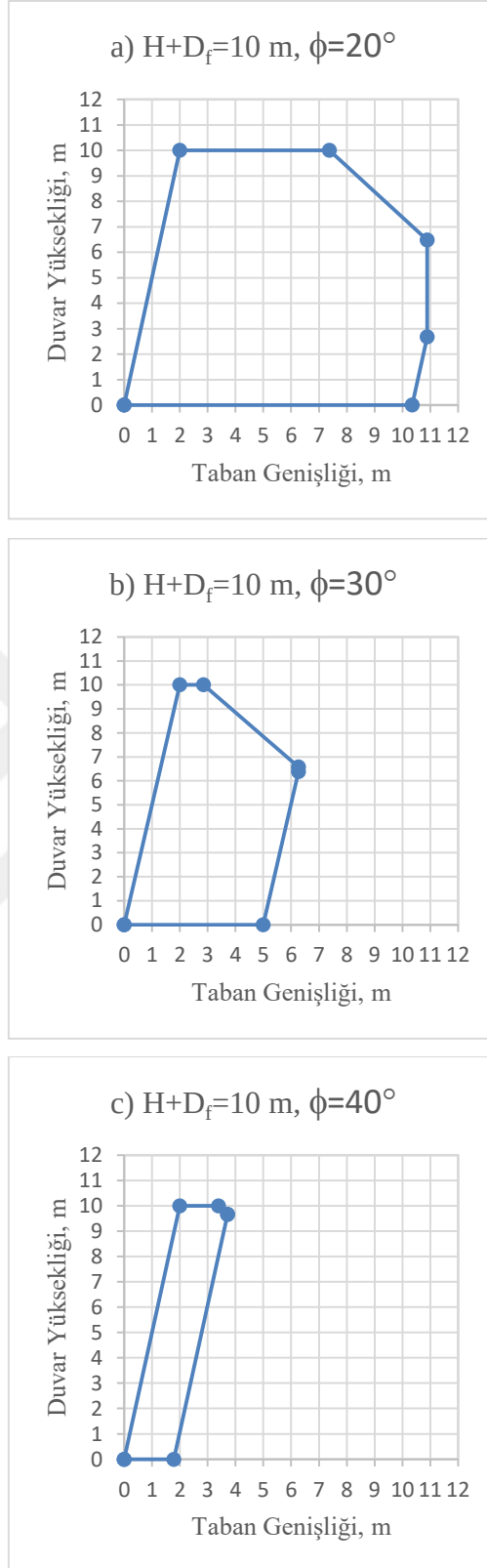
10 metre yüksekliğindeki duvarda, 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 30° içsel sürtünme açısındaki kesitte %53.52 oranında azaldığı; 30° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %58.43 oranında azaldığı ve 20° içsel sürtünme açısının verildiği zaman çıkan kesit alanının 40° içsel sürtünme açısındaki kesitte %80.68 oranında azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 31. $H+D_f=10$ m yüksekliğindeki duvarın kısıt ve amaç fonksiyonlarının, farklı içsel sürtünme açılarındaki değerleri

Kısıt ve Amaç Fonksiyonları	Birim	$\phi=20^\circ$	$\phi=30^\circ$	$\phi=40^\circ$
g_{10}	-	-6.3654	-1.9959	-0.1244
g_{11}	-	-1.1×10^{-13}	4.1×10^{-9}	5.6×10^{-10}
g_{12}	-	-0.7370	7.5×10^{-9}	4.4×10^{-9}
g_{13}	-	-202.0963	-209.7220	-243.8963
f_{val}	m^2	92.0203	42.7709	17.7786

Yine Tablo 31’de anlaşıldığı üzere, 10 metre yüksekliğinde oluşan optimum duvarda 30° ve 40° içsel sürtünme açılarına sahip enkesitte kayma kısıtları ve maksimum taşıma gücü kısıtları aktif, diğer kısıtlar inaktif; 20° içsel sürtünme açısına sahip enkesitte ise yalnız kayma kısıtı aktif durumdadır.

Şekil 36’da son olarak statik yükler etkisinde, 10 metre yüksekliğindeki ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarının optimum enkesitleri görülmektedir.



Şekil 36. 10 m yüksekliğindeki ağırlık moloz taş dayanma duvarının a) $\phi=20^\circ$, b) $\phi=30^\circ$ ve c) $\phi=40^\circ$ değerlerine sahip optimum enkesitleri

4. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, şantiyelerde ve gündelik yaşamda dahi sıklıkla karşılaşılan dayanma yapılarından olan ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarına statik yükler etki ettirilmiş ve piyasada imal edilen duvarların maliyetini düşürmek için Şekil 27’de gösterilen duvar enkesitinin alanının azaltılması amaçlanarak, MATLAB programında ‘optimization toolbox’ aracılığıyla optimizasyon tekniğinden faydalanılıp optimum kesitler elde edilmiştir.

Duvar maliyetinde etkin rol oynayan faktörler; moloz taş, çimento ve işçilik maliyetidir. Kesit alanının azaltılması ise maliyeti topyekün düşüreceğinden, tez çalışmasında bu konu ele alınmış ve hedef fonksiyonu olarak kesit alanı seçilmiştir. Tasarım değişkenleri, duvar enkesitinin dış hatlarının dikey ve yatay uzunluklarından oluşturulmuştur. Klasik duvar enkesitinin özelliklerinden olan duvar ön yüzünün %20 eğikliği optimum duvar için de geçerli olması açısından x_3 değişkeni, duvar yüksekliğinin 5’te 1 oranına bağlanmıştır. Kısıt fonksiyonu olarak ise dış stabilite tahkiklerinden olan devrilme, kayma ve taşıma gücü değerleri tahkik edilmiş ve 20, 30 ve 40 derecelik içsel sürtünme açılarında 3-10 metrelik duvar yüksekliklerinde farklı kesitler elde edilmiştir. İçsel sürtünme açısının duvar enkesitindeki etkisini görebilmek adına duvarın ve duvarın bulunduğu zeminin tüm özellikleri sabit tutulmuştur.

3 m yüksekliğindeki duvarda, 20 derece içsel sürtünme açısında 12.8070 m^2 , 30 derece içsel sürtünme açısında 5.1325 m^2 ve 40 derece içsel sürtünme açısında 2.1439 m^2 enkesit alanı elde edilmiştir. Bu değerlerin, piyasada kullanılan tip kesitlerle kıyaslanması ve optimum enkesitlerin bulunduğunu doğrulamak adına örnek olarak 3 metre yüksekliğinde, 40° içsel sürtünme açısında ve diğer tüm şartların tez çalışmasında kullanılan değerlerde olacağı klasik duvar tipkesiti kullanılmış ve tahkikleri sağlayan minimum değerdeki kesit alanı 3.03 m^2 olarak bulunmuştur. Tez çalışmamızda çıkan kesit alanı ise %29.24 daha az değer olan 2.1439 m^2 olduğu tespit edilmiştir. Bu şekilde yapılacak duvarda maliyetin yanı sıra imalat süresinde de azalma olacaktır.

Aynı duvar yüksekliklerinde içsel sürtünme açısı arttığında duvar temel genişliğinde ve duvar kesit alanında azalmalar görülmüştür. Bunun sebebi ise aktif zemin basıncının azalış göstermesidir.

20° ve 30° içsel sürtünme açılarında tasarımı yapılan duvar enkesitlerinin tümünde dış stabilite kontrollerinden kayma kısıtı aktif, devrilme ve minimum taşıma gücü kısıtları

inaktif durumdadır. Maksimum taşıma gücü kısıtı ise 20° içsel sürtünme açısında 9 metre yüksekliğindeki duvarda 30° içsel sürtünme açısında 4 m, 9 m ve 10 m yüksekliğindeki optimum duvarlarda aktiftir. 40° içsel sürtünme açılarında tasarımı yapılan duvar enkesitlerinde ise 5 m, 6 m, 7 m, 8 m ve 10 m yüksekliğine sahip duvarlarda kayma kısıtı ve maksimum taşıma gücü kısıtı birlikte aktif; 3 m ve 9 m yüksekliğine sahip duvarlarda yalnız maksimum taşıma gücü aktif ve 4 m yüksekliğindeki optimum duvarda devrilme kısıtı, kayma kısıtı ve minimum taşıma gücü kısıtı aktif duruma sahip olduğu gözlemlenmiştir. Tüm durumlar içinde yalnız 4 metre yüksekliğinde ve 40° içsel sürtünme açısına sahip elde edilen optimum enkesitte devrilme kısıtı ve minimum taşıma gücü kısıtının duvar geometrisini belirlemede etkin rol oynadığı saptanmıştır.

Optimum duvarların hatlarına bakıldığında klasik tipkesitlere nazaran duvar alt genişliğinde temelde eğimin bulunmadığı ve düz görünüm aldığı tespit edilmiştir.

4 m ve 5 m yüksekliğe sahip optimum duvarlarda içsel sürtünme açısı artış gösterdikçe duvar üst genişliğinin genellikle kısaldığı ve sıfır değerini alıp üçgen forma dönüştüğü; 3 m, 6 m, 7 m, 8 m, 9 m ve 10 m yüksekliğine sahip optimum duvarlarda ise 40° içsel sürtünme açısında çoğunlukla duvar üst genişliğinin sıfırlanmayıp duvar ön ve arka yüzün %20 eğik olan paralel kenar formuna sahip olduğu gözlemlenmiştir.

5. ÖNERİLER

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara bakılarak, çalışma yapmak isteyen araştırmacılara ve sahadaki uygulayıcılara verilen tavsiyeler aşağıda belirtilmiştir:

- Optimizasyon probleminin çözümünden çıkan kesitlerin kullanılması maliyetleri önemli ölçüde azaltacağından özel firmalarda ve kamu kurumlarındaki imalatlarda farklı tip kesitler yerine optimum kesitlerin tercih edilmesi önerilmektedir.
- MATLAB programında 'fmincon' komutu ve 'active-set' gibi algoritmalarla elde edilen kesitlerin farklı algoritmalarla irdelenerek de optimum kesitler elde edilmeye çalışılabilir.
- Bu çalışmada ağırlık tipi harçlı moloz taş duvarın optimum enkesitleri, statik yükler etkisinde elde edilmiş olup günümüz şartlarında bir hayli önem arz eden sismik, hidrostatik ve hidrodinamik basınçların etkisi altındaki duvarlarda da benzer çalışmalar yürütülüp tasarıma farklı boyut kazandırılabilir.
- MATLAB programında ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarın optimizasyonu yapıldığı gibi farklı dayanma yapılarında da optimum tasarımlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Ahıskalı, B. (2021). Asimetrik Ağırlık Tipi Dayanma Duvarlarının Tasarım Optimizasyonu. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Aral, S. (2021). Betonarme İstinat Duvarlarının Metasezgisel Yöntemler İle Detaylı Optimizasyonu. İstanbul Üniversitesi, Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bozkurt, N., & Yazıcıoğlu, S. (2015). Yapı Sistemlerinin MATLAB Optimizasyon Araç Kutusu İle Optimum Boyutlandırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4(2), 189-197.
- Carter, M., & Bentley, S. P. (1991). Correlations of Soil Properties. London, Billing & Sons Ltd.
- Clayton, C. R. I., Woods, R. I., Bond, A. J., & Milititsky, J. (2014). Earth Pressure and EarthRetaining Structures. 3rd edition, CRC Press.
- Coduto, D. P., Kitch, W. A., & Yeung, M. R. (2016). Foundation Design Principles and Practices. Pomona: Pearson Education.
- Coulomb, C. A. (1776). 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, 38.
- Gökalp, A. (2017). Farklı Destek Sistemleri Uygulanan Diyafram Duvarların Performansı. 7. Geoteknik Sempozyumu, İstanbul.
- Hartmann, D. (2006). Master-Studiengang, Master Course, "Computational Engineering", Design Optimization. Ingenieurinformatik im Bauwesen Institute of Computational Engineering.
- Hayalioğlu, M. S., & Gönden, Y. (2010). MATLAB Programı Kullanılarak Bazı Mühendislik Sistemlerinin Optimum Tasarımı. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 1(1), 41-47.
- Jaky, J. (1945). The Coefficient of Earth Pressure At-rest. *J. Society of Hungarian Architects and Engineers*, 355-358.
- Kalemci, E. N., İkizler, S. B., Dede, T., & Angın, Z. (2019). RAO_1 Optimizasyon Algoritması Kullanılarak Taban Plağı Dışlı Betonarme Konsol İstinat Duvarı Tasarımı. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(3), 291-308.
- Kayhan, A. H., & Demir, A. (2018). Statik ve Dinamik Yüklere Maruz Betonarme Konsol İstinat Duvarlarının Diferansiyel Gelişim Algoritması İle Optimum Tasarımı. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(3), 403-412.

- Kaymaz, İ. (2024, Nisan 16). MATLAB Optimizasyon Araç Kutusunun Kullanımı. <https://docplayer.biz.tr/26200228-Matlab-optimizasyon-arac-kutusununkullanimi.html> adresinden alınmıştır.
- Masoud, T., Alsharie, H., Salem, Z. A., Yahia, Y. I. O., & Suliman, M. O. (2018). Optimization of Shape Design for Gravity Retaining Walls. *IJISME*, 2319-6386, 5(8), 1-4.
- Mayne, P. & Kulhawy, F. H. (1982). Ko OCR Relationships in Soils. *Journal of Geotechnical Engineering*, 108, 6, 851-872.
- Önal, O. (2024, Nisan 16). Dayanma (İstinat) Yapıları İMO-MİEK Geoteknik Kurs Programı. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası: https://eski.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/0bdd5172d386727_ek.pdf?tipi=2&turu=X&sube=16 adresinden alınmıştır.
- Rankine, W. J. M. (1857). On the stability of loose earth. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 147, 9-27.
- Resmi Gazete. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 30364.
- Sağır, E. (2016). Homojen Sonlu Şevlerde Topuk Kayması Durumunda Kırılma Yüzeylerinin Optimizasyonu. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Sevinç, D. (2021). Ağırlık İstinat Duvarlarının Topoloji Optimizasyonu. K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Şadoğlu, E. (2014). Design Optimization for Symmetrical Gravity Retaining Walls. *Acta Geotechnica Slovenica*, 2, 71-79.
- Tezcan, S. S., & Buket, Z. S. (1999). Donatılı Zemin İstinat Duvarları için Sayısal Örnekler. İstanbul: Türk Deprem Vakfı.
- TSE (1990). Zemin Dayanma Yapıları; Sınıflandırma, Özellikleri ve Projelendirme Esasları. TS 7994. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
- Tosun, N. (2005). Taş Yapılar & Taş İstinat Duvarlar. Bursa.
- Uray, E. (2020). Dayanma Yapılarının Sezgisel Yöntemler Kullanılarak Optimum Tasarımı. Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya.
- URL-1. (2024, Nisan 16). <https://www.mevzuat.gov.tr/anasayfa/MevzuatFihristDetayIframe?MevzuatTur=7&MMevzuatN=10837&MevzuatTertip=5> adresinden alınmıştır.
- URL-2. (2024, Nisan 16). <https://istinatduvari.com/makaleler/istinat-duvarina-etkiyen-kuvvetler> adresinden alınmıştır.

URL-3. (2024, Nisan 16). Türk Dil Kurumu Sözlükleri: <https://sozluk.gov.tr/> adresinden alınmıştır.

URL-4. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Tasarım El Kitabı, <https://cevresehiriklimkutuphanesi.csb.gov.tr/ShowPDF/384fd297-2f4a-4c0c-a7f6-fb7b23300286> adresinden alınmıştır.

Uzuner, B. (2007). Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği. Trabzon: Derya Kitabevi.

Uzunoğlu, M., Kızıl, A., & Onar, Ö. Ç. (2003). Her Yönü İle MATLAB. İstanbul: Türkmen Kitabevi.

Vatansever, C., Durgun Y., Aksoylu, M. G., & Darılmaz, K. (2016). İnşaat Mühendisleri İçin MATLAB Kullanımına Giriş. İstanbul: Birsen Yayınevi.



7. EKLER

3 metre yüksekliğinde ve 40 derece içsel sürtünme açısındaki ağırlık tipi harçlı moloz taş dayanma duvarının optimum enkesitini bulmak amacıyla MATLAB programına girilen veriler ekte sunulmaktadır.

7.1. Ek 1

Tasarımı gerçekleştirmek için, hedef fonksiyonu, MATLAB programındaki 'hedeffonksWWW.m' sekmesine aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

```
function f=hedeffonksWWW(x)
```

```
% hedef fonk.=kesit alanı,
```

```
f=(3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-  
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2));
```

7.2. Ek 2

Tasarımı gerçekleştirmek için kısıt fonksiyonları MATLAB programındaki 'kisit1.m' sekmesine aşağıdaki şekilde yazılmıştır.

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

```
% Devrilme tahkiki;
```

```
%fi=40 için; Ka=0.1998
```

```
%delta=2fi/3=26.67
```

```
%sindeltad=sin26.67=0.448799
```

```
%cosdeltad=cos26.67=0.893633
```

```
%tan(delta)=0.502219
```


$$\% \text{gamaz} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\% \text{gamat} = 22 \text{ kN/m}^3$$

$$\% q = 15$$

$$\% g_{10} = -((W * \text{gamay} + (P_v + F_{sy}) * (x(1) + x(2) + x(3)))) / (Ph * H_{arka} / 3 + F_{sx} * H_{arka} / 2) + 1.5;$$

$$g_{10} = -((22 * (0.5 * (3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - (0.5/3) * x(3) * x(3) * (3) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

$$(1/3) * x(6)))) + (0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799 * (x(1) + x(2) + x(3))) / ((0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 3) + (0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 2)) + 1.5;$$

% Kayma tahkiki:

$$\% g_{11} = 1.3 * (Ph + F_{sx}) - \tan(\delta) * (\text{gamat} * \text{Atoplama} + P_v + F_{sy});$$

$$g_{11} = 1.3 * (0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.893633 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.893633) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

$$* 15 * (3 + x(5)) * 0.448799);$$

% Taşıma Gücü Tahkiki

$$\% q_{emin} = 100 \text{ kN/m}^2$$

% a) Maksimum taşıma gücü tahkiki

$$\% g_{12} = ((22 * ((H + D_f + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (H + D_f) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + D_f + x(5)) * (H + D_f + x(5)) * K_a * \sin \delta_{td} + K_a * 15 * (H + D_f + x(5)) * \sin \delta_{td}) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)})) * (1 + 6 * (\text{abs}((((0.5 * 18 * (H + D_f + x(5)) * (H + D_f + x(5)) * K_a * \cos \delta_{td}) * ((H + D_f + x(5)) / 3) + (K_a * 15 * (H + D_f + x(5)) * \cos \delta_{td}) * ((H + D_f + x(5)) / 2)))) -$$

$$(((22 * (0.5 * (H + D_f + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - (0.5/3) * x(3) * x(3) * (H + D_f) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

$$(1/3) * x(6)))) + (0.5 * 18 * (H + D_f + x(5)) * (H + D_f + x(5)) * K_a * \sin \delta_{td} + K_a * 15 * (H + D_f + x(5)) * \sin \delta_{td}) * (x(1) + x(2) + x(3)))) + (22 * ((H + D_f + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) -$$

$$0.5 * (x(3) * (H + D_f) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) -$$

$$x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + D_f + x(5)) * (H + D_f + x(5)) * K_a * \sin \delta_{td} + K_a * 15 * (H + D_f + x(5)) * \sin \delta_{td}) * (x(1) + x(2) + x(3) -$$

$$x(6)) / 2) / (22 * ((H + D_f + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (H + D_f) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) -$$

$$x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + D_f + x(5)) * (H + D_f + x(5)) * K_a * \sin \delta_{td} + K_a * 15 * (H + D_f + x(5)) * \sin \delta_{td}) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) -$$

$$x(6)))^{(0.5)})) - 100;$$

$$g_{12} = ((22 * ((3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (3) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)})) * (1 + 6 * (abs((((0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 3) + (0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 2)))) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

$$x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) - 0.5 * x(6) * (x(4) + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3) - (1/3) * x(6))) + (0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799) * (x(1) + x(2) + x(3))) + (22 * ((3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (3) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) / 2) / (22 * ((3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (3) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)})) - 100;$$

% b) Minimum taşıma gücü tahkiki

$$\%g_{13} = -(((22 * ((H + Df + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (H + Df) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + Df + x(5)) * (H + Df + x(5)) * Ka * sindeltad + Ka * 15 * (H + Df + x(5)) * sindeltad) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)})) * (1 - 6 * (abs((((0.5 * 18 * (H + Df + x(5)) * (H + Df + x(5)) * Ka * cosdeltad) * ((H + Df + x(5)) / 3) + (Ka * 15 * (H + Df + x(5)) * cosdeltad) * ((H + Df + x(5)) / 2)))) - (((22 * (0.5 * (H + Df + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - (0.5/3) * x(3) * x(3) * (H + Df) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

$$1/3) * x(6))) + (0.5 * 18 * (H + Df + x(5)) * (H + Df + x(5)) * Ka * sindeltad + Ka * 15 * (H + Df + x(5)) * sindeltad) * (x(1) + x(2) + x(3))) + (22 * ((H + Df + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (H + Df) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + Df + x(5)) * (H + Df + x(5)) * Ka * sindeltad + Ka * 15 * (H + Df + x(5)) * sindeltad) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) / 2) / (22 * ((H + Df + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (H + Df) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (H + Df + x(5)) * (H + Df + x(5)) * Ka * sindeltad + Ka * 15 * (H + Df + x(5)) * sindeltad) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)}))));$$

$$g_{13} = -(((22 * ((3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) - 0.5 * (x(3) * (3) + x(5) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) + x(6) * (x(4) + x(5)) + x(2) * x(2))) + 0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.448799 + 0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.448799) / ((x(5) * x(5) + (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)) * (x(1) + x(2) + x(3) - x(6)))^{(0.5)})) * (1 - 6 * (abs((((0.5 * 18 * (3 + x(5)) * (3 + x(5)) * 0.1998 * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 3) + (0.1998 * 15 * (3 + x(5)) * 0.893633) * ((3 + x(5)) / 2)))) - (((22 * (0.5 * (3 + x(5)) * (x(1) + x(2) + x(3)) * (x(1) + x(2) + x(3)) -$$

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır

```

(0.5*x(6)*(x(4)+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3)-
(1/3)*x(6))))+(0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998*15*(3+x(5))*0.44879
9)*(x(1)+x(2)+x(3))))+(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2)))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)*(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))/2)/(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2)))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)))/((x(5)*x(5)+(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))))^(0.5)))));

```

```
c= [g10 g11 g12 g13 ];
```

```
ceq=[];
```

7.3. Ek 3

Tasarımı gerçekleştirmek için 'mainf.m' sekmesine diğer eşitlik tipi kısıtlar, problem çözümü için gereken komutlar, tasarım değişkenleri, başlangıç, alt ve üst değerleri, sonucunu istenilen tahkikler aşağıdaki gibi yazılmıştır.

```

clear all
clc
close all

```

```
options = optimset('Display','iter','Algorithm','active-set');
```

```
x0=[0.666 0.666 0.666 0.666 0.666 0.666];
```

```
% Değişkenlerin başlangıç değerleri
```

```
% değişkenlerin alt ve üst sınırları
```

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

```
ub=[10,10,10,10,10,10];
```

```
A=[-1 0 0 0 0 0 ; 0 -1 0 0 0 0 ; 0 0 -1 0 0 0 ; 0 0 0 -1 0 0 ; 0 0 0 0 -1 0 ; 0 0 0 0 0 -1 ; 0 0 0 0
1 0 ; 0 1 0 1 0 0 ; -0.2 -0.2 -0.2 0 1 0.2];
```

```
%b[0;0;0;0;0;0;H+Df;H+Df;0]
```

```
b=[0;0;0;0;0;0;3;3;0];
```

```
C=[0 0 1 0 0 0 ; 0 0 0 -0.2 -0.2 1]
```

```
d=[0.2*3 ; 0]
```

```
[x, fval, exitflag] =fmincon(@hedeffonksWWW,x0,A,b,C,d,lb,ub,@kisit1,options);
```

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

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

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

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

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

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

```
g10=-((22*(0.5*(3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))*(x(1)+x(2)+x(3))-(0.5/3)*x(3)*x(3)*(3)-
0.5*x(2)*x(2)*(x(1)+x(3)+(2/3)*x(2))-(0.5/3)*x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
```

```
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
```

```
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
```

```
9)*(x(1)+x(2)+x(3)))/((0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.893633)*((3+x(5))/3)+(0.199
8*15*(3+x(5))*0.893633)*((3+x(5))/2))+1.5;
```

```
g11=1.3*(0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.893633+0.1998*15*(3+x(5))*0.893633)-
0.502219*(22*(((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2))))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799);
```

```
g12=((22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2))))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)/((x(5)*x(5)+(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-
```

```
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
```

```
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
```

```
((22*(0.5*(3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))*(x(1)+x(2)+x(3))-(0.5/3)*x(3)*x(3)*(3)-
0.5*x(2)*x(2)*(x(1)+x(3)+(2/3)*x(2))-(0.5/3)*x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))-0.5*x(6)*(x(4)+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3)-
(1/3)*x(6))))+(0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998*15*(3+x(5))*0.44879
9)*(x(1)+x(2)+x(3))))+(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2))))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)*(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))/2)/(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2))))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799))/((x(5)*x(5)+(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6)))^(0.5)))-100;
```

```

g13=-((((22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2)))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)/((x(5)*x(5)+(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6)))^(0.5))))*(1-
6*(abs((((0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.893633)*((3+x(5))/3)+(0.1998*15*(3+x(
5))*0.893633)*((3+x(5))/2))))-((((22*(0.5*(3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))*(x(1)+x(2)+x(3))-
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
% Kaynak kodunun bu kısmı çıkarılmıştır
0.5*x(6)*(x(4)+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3)-
(1/3)*x(6))))+(0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998*15*(3+x(5))*0.44879
9)*(x(1)+x(2)+x(3))))+(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2)))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799)*(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))/2)/(22*((3+x(5))*(x(1)+x(2)+x(3))-
0.5*(x(3)*(3)+x(5)*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6))+x(6)*(x(4)+x(5))+x(2)*x(2)))+0.5*18*(3+x(5))*(3+x(5))*0.1998*0.448799+0.1998
*15*(3+x(5))*0.448799))/((x(5)*x(5)+(x(1)+x(2)+x(3)-x(6))*(x(1)+x(2)+x(3)-
x(6)))^(0.5)))));

```

7.4. Ek 4

Tüm veriler girilip MATLAB programındaki 'EDITOR' sekmesinde bulunan 'RUN' butonuna basılarak sistem çözülmüş ve 'Command Window' sekmesinde çıkan sonuçlar aşağıda gösterilmektedir.

C =

0	0	1.0000	0	0	0
0	0	0	-0.2000	-0.2000	1.0000

d =

0.6000
0

Iter	F-count	f(x)	Max constraint	Line search steplength	Directional derivative	First-order optimality	Procedure
0	7	5.21678	57.91				Infeasible start point
1	14	2.33271	26.84	1	-3.06	0.491	
2	21	2.61381	4.511	1	2.02	0.927	
3	28	2.5304	1.414	1	-0.0744	0.403	
4	35	2.39129	2.171	1	-0.17	0.858	Hessian modified
5	42	2.31555	1.524	1	-0.148	0.7	Hessian modified
6	49	2.33308	4.441e-16	1	0.415	0.145	
7	56	1.99675	22.74	1	-0.037	1.97	Hessian modified
8	63	2.13232	2.819	1	2.8	0.481	
9	70	2.14159	0.2893	1	0.119	0.0415	
10	77	2.14391	0.0005865	1	3	0.00672	
11	84	2.14392	2.399e-09	1	3	2.62e-08	Hessian modified

Active inequalities (to within options.ConstraintTolerance = 1e-06):

lower	upper	ineqlin	ineqnonlin
2	2	3	
5	5		
	8		

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>

0.7146

0

0.6000

3

2.1721e-22

0.6000

>>

7.5. Ek 5

Optimizasyon probleminin sonuçlarının ‘workspace’ sekmesindeki görünümü Ek Şekil 1’de verilmiştir.

Workspace	
Name ▲	Value
A	9x6 double
b	[0;0;0;0;0;3;3;0]
C	2x6 double
d	[0.6000;0]
exitflag	1
fval	2.1439
g10	-0.2295
g11	-0.1159
g12	2.3992e-09
g13	-63.6199
lb	[0,0,0,0,0]
options	1x1 struct
ub	[10,10,10,10,10]
x	[0.7146,0,0.6000,3,2.1721e-22,0.6000]
x0	[0.6660,0.6660,0.6660,0.6660,0.6660,0.6660]

Ek Şekil 1. $H+D_f=3$ m, $\phi=40^\circ$ değerlerindeki optimum duvara ait değerler

ÖZGEÇMİŞ

Şafak YILDIZ, eğitimine 2003 yılında, Rize ili, Pazar ilçesi, Haberal Vakfı Yaşar ve Medine Haberal İlköğretim Okulu'nda başlamış ve 2011 yılında eğitimini tamamlamış; lise eğitimine ise aynı yıl, Rize ili, Ardeşen ilçesi, Ardeşen Anadolu Öğretmen Lisesi'nde başlamış, 2015 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazanmış ve 2019 yılında, onur öğrencisi olarak lisans eğitimini tamamlamıştır. 2020 yılında, Rize ili, Pazar ilçesi, Pazar Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır. Aynı yıl, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans eğitimine başlamıştır. İngilizce ve Almanca bilmektedir. Hâlâ, Pazar Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği Başkanlığı'nda İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.