



**KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**

**YERALTI SU SEVİYESİ DEĞİŞİMİNİN DAYANMA DUVAR TASARIMINA
ETKİSİNİN PARAMETRİK OLARAK ARAŞTIRILMASI**

İhsan YAMAN

Yüksek Lisans Tezi

**KONYA
Temmuz 2024**

YERALTI SU SEVİYESİ DEĞİŞİMİNİN DAYANMA DUVAR TASARIMINA
ETKİSİNİN PARAMETRİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

İhsan YAMAN

KTO Karatay Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezli Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Esra URAY

Tez Savunma Jürisi:
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN
Dr. Öğr. Üyesi İsa KUL

Konya
Temmuz 2024

BİLDİRİM

Enstitü tarafından onaylanan Yüksek Lisans tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını basılı veya dijital biçimde arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullar dahilinde erişime açma iznini KTO Karatay Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle, Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak ve gelecekteki çalışmalar (makale, kitap, lisans, patent vb.) için tezimin tamamının veya bir bölümünün kullanım hakları yalnızca bana ait olacaktır.

Tezimin bütünüyle kendi çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izinle kullanılması zorunlu olan kaynakları, yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde izinlerin suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayımlanan “Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge” kapsamında, tezim, aşağıda belirtilen koşullar haricince, YÖK Ulusal Tez Merkezi ve KTO Karatay Üniversitesi Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.¹

Enstitü / Fakülte Yönetim Kurulunun gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 6 ay ertelenmiştir.²

Tezimle ilgili gizlilik kararı verilmiştir.^{3,4}

12 Temmuz 2024

İhsan YAMAN

¹ MADDE 6(1) Lisansüstü teze ilgili patent başvurusu yapılması veya patent alma sürecinin devam etmesi durumunda, tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulu iki yıl süre ile tezin erişime açılmasının ertelenmesine karar verebilir.

²MADDE 6(2) Yeni teknik, materyal ve metotların kullanıldığı, henüz makaleye dönüşmemiş veya patent gibi yöntemlerle korunmamış ve internetten paylaşılması durumunda 3. şahıslara veya kurumlara haksız kazanç imkânı oluşturabilecek bilgi ve bulguları içeren tezler hakkında tez danışmanının önerisi ve enstitü anabilim dalının uygun görüşü üzerine enstitü veya fakülte yönetim kurulunun gerekçeli kararı ile altı ay aşmamak üzere tezin erişime açılması engellenebilir.

³MADDE 7(1) Ulusal çıkarları veya güvenliği ilgilendiren, emniyet, istihbarat, savunma ve güvenlik, sağlık vb. konulara ilişkin lisansüstü tezlerle ilgili gizlilik kararı, tezin yapıldığı kurum tarafından verilir. Kurum ve kuruluşlarla yapılan iş birliği protokolü çerçevesinde hazırlanan lisansüstü tezlere ilişkin gizlilik kararı ise, ilgili kurum ve kuruluşun önerisi ile enstitü veya fakültenin uygun görüşü üzerine üniversite yönetim kurulu tarafından verilir. Gizlilik kararı verilen tezler Yükseköğretim Kuruluna bildirilir.

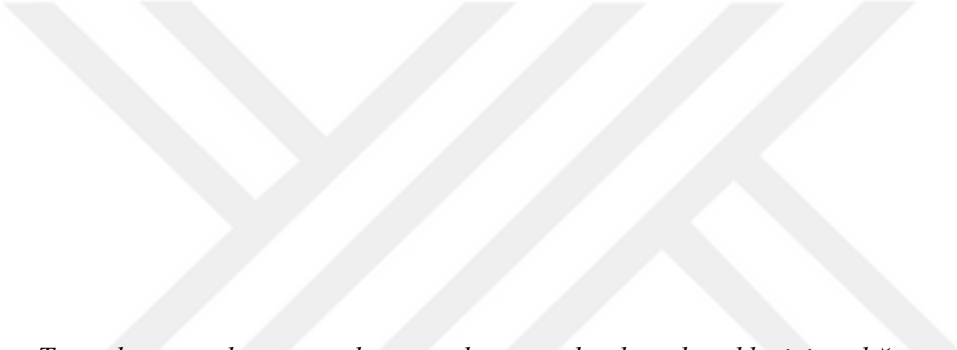
⁴ MADDE 7(2) Gizlilik kararı verilen tezler gizlilik süresince enstitü veya fakülte tarafından gizlilik kuralları çerçevesinde muhafaza edilir, gizlilik kararının kaldırılması halinde Tez Otomasyon Sistemine yüklenir.

ETİK BEYAN

KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez/Proje Hazırlama ve Yazım Kurallarına uygun olarak Dr. Öğr. Üyesi Esra URAY danışmanlığında tarafımdan üretilen bu tez çalışmasında; sunduğum tüm veri, enformasyon, bilgi ve belgeleri bilimsel etik kuralları çerçevesinde elde ettiğimi, tüm değerlendirme, analiz, bulgu ve sonuçları bilimsel usullere uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım kaynakların tümüne bilimsel normlara uygun biçimde atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, tezimin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

12 Temmuz 2024

İhsan YAMAN



Tez çalışmamı, hayatımın her anında yanımda olan, destekleyici varlığını ve sevgisini her an yanımda hissettiğim sevgili eşim Fatma Zehra YAMAN' a ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarını esirgemeyen danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Esra URAY hocama teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca bu süreçte yanımda olduğunu her daim hissettiren sevgili eşim Fatma Zehra YAMAN' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

12 Temmuz 2024

İhsan YAMAN



ÖZET

İhsan YAMAN

Yeraltı Su Seviyesi Değişiminin dayanma Duvar Tasarımına Etkisinin Parametrik
Olarak Araştırılması

Yüksek Lisans Tezi

Konya, 2024

Dayanma duvarlarının günümüzde arazinin etkin kullanımı için çok yüksek öneme sahip olduğu bilinmektedir. Özellikle yüksek eğime sahip arazilerde daha etkin arazi kullanımı için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle dayanma duvarı yapılarının tasarımı ve inşası insan ve çevre güvenliği açısından yüksek öneme sahiptir. Her ne kadar günümüzde bilgisayar teknolojileri gelişmiş olsa da dayanma duvarları yalnız statik ve dinamik yükler etki altında tasarlanmakta olup, yer altı su seviyesi değişimi ve drenaj probleminden dolayı su seviyesinin yükselmesi gibi durumlar tasarımda genel olarak dikkate alınmamaktadır. Dayanma duvarının tasarımında su yükü dikkate alınsa bile, yeraltı suyu değişim etkisi küresel ısınma sebebiyle değişen iklim koşulları sebebiyle meydana gelen daha yoğun yağışın su etkisinden daha az olabilmektedir. Bu tez çalışması, yaygın olarak kullanılan betonarme dayanma duvarı tasarımında su seviyesinin yükselmesinin stabiliteye etkisi incelenmiş ve dayanma duvarı tasarımına katkı sağlamayı amaçlamıştır. Dayanma duvarı arkasında bulunan duvar arkası dolgu zemin sabit olmak üzere; üç farklı zemin tipinde, dört farklı duvar yüksekliği dikkate alınarak, yedi farklı su seviyesi ile toplam 84 farklı tasarım durum için inceleme yapılmıştır. Yapılan incelemelerde iç ve dış stabilite ayrı ayrı incelenerek sonuçlar elde edilmiştir. Hesaplama için GEO5 bilgisayar programı kullanılmıştır. Yapılan hesaplar sonucunda yer altı su seviyesinin duvarının tabanından itibaren yukarı doğru yükselmesinin, dayanma duvarı stabilitesini olumsuz olarak etkilediği ve istenmeyen göçmelere sebebiyet verecek kadar gerilme artışlarına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca değişen duvar yüksekliği ve temel zemin özelliğine göre duvarın stabilitesi açısından kritik su yüksekliği yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler

Dayanma duvarı, yer altı suyu etkisi, kritik su yüksekliği, dayanma duvarı tasarımı

ABSTRACT

İhsan YAMAN

Investigation of the Parametric Effect of Underground Water Level Variation on
Retaining Wall Design

Master's Thesis

Konya, 2024

It is known that retaining walls have great importance for the effective use of land today. They are frequently used for more effective land use, especially in lands with high slopes. Therefore, the design and construction of retaining wall structures have great importance in terms of human and environmental safety. Although computer technologies have developed today, retaining walls are designed only under the effect of static and dynamic loads, and situations such as groundwater level change and water level rise due to drainage problems are generally not taken into account in the design. Even if water load is taken into account in the design of the retaining wall, the effect of groundwater change may be less than the water effect of more intense precipitation due to changing climate conditions due to global warming. This thesis study examines the effect of rising water levels on stability in the design of reinforced concrete retaining walls, which is widely used, and aims to contribute to retaining wall design. A total of 84 different design cases were examined with seven different water levels, considering four different wall heights, with the backfill ground behind the retaining wall being fixed, in three different ground types. In the examinations conducted, internal and external stability were examined separately, and results were obtained. The GEO5 computer program was used for calculations. As a result of the calculations, it was determined that the rise of the underground water level from the base of the wall negatively affected the stability of the retaining wall and caused stress increases that would cause unwanted collapses. In addition, the critical water height was interpreted in terms of the stability of the wall according to the changing wall height and foundation soil properties.

Keywords

Retaining wall, groundwater effect, critical water height, retaining wall design

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
BİLDİRİM	ii
ETİK BEYAN	iii
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
3. DAYANMA DUVARI TASARIMI	7
3.1. Dış Stabilite	7
3.1.1. Yatay Zemin Basıncı ve Kayma-Devrilme Tahkikleri	7
3.1.2. Temel Zemini Taşıma Gücü ve Eksantirisite Tahkiki	10
3.1.3. Toptan Göçme (Şev Stabilite) Tahkiki	14
3.2. İç Stabilite	16
4. ANALİZ MODELİNİN OLUŞTURULMASI	20
4.1. GEO 5 Dayanma Duvar Tasarımı	20
4.2. Zemin Parametreleri	21
4.3. Yer Altı Su Seviyesi Yükseklikleri	22
4.4. Tasarım Kombinasyonları	24
4.5. Duvar Parametreleri ve Ön Boyutlandırma	25
5. ANALİZ SONUÇLARI	27
5.1. Dış Stabilite Sonuçları	28
5.1.1. ZC Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları	28
5.1.2. ZD Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları	30
5.1.3. ZE Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları	31
5.1.4. Genel Değerlendirme	32
5.2. İç Stabilite Sonuçları	35
5.2.1. ZC Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları	39

5.2.2. ZD Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları.....	40
5.2.3. ZE Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları	43
5.2.4. Genel Değerlendirme.....	44
6. PARAMETRİK ETKİ AÇISINDAN MALİYET ANALİZİ	50
7. SONUÇ	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ	62
EK 1. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE	63
EK 2. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE.....	64
EK 3. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE	65
EK 4. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI İÇ STABİLİTE.....	66
EK 5. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI İÇ STABİLİTE	67
EK 6. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI İÇ STABİLİTE.....	68
EK 7. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR	69
EK 8. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR	70
EK 9. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR.....	71
EK 10. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR.....	72
EK 11. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR.....	73
EK 12. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR	74
EK 13. ELLE ÇÖZÜM VE GEO 5 PROGRAMI SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	75

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1. Meyerhof taşıma gücü katsayıları.....	12
Tablo 2. Zemin özellikleri.....	22
Tablo 3. Kombinasyonlar tablosu	24
Tablo 4. Dayanma duvarı boyutlar tablosu.....	26
Tablo 5. ZC Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları.....	29
Tablo 6. ZD Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları	30
Tablo 7. ZE Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları.....	32
Tablo 8. ZC Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri.....	33
Tablo 9. ZD Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri	33
Tablo 10. ZE Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri.....	33
Tablo 11. ZC Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1	39
Tablo 12. ZC Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2	40
Tablo 13. ZD Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1	41
Tablo 14. ZD Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2.....	42
Tablo 15. ZE Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1	43
Tablo 16. ZE Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2	44
Tablo 17. ZC Zemin sınıfı için maliyet tablosu	51
Tablo 18. ZD Zemin sınıfı için maliyet tablosu.....	52
Tablo 19. ZE Zemin sınıfı için maliyet tablosu	53
Tablo 20. ZC Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu	54
Tablo 21. ZD Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu	54
Tablo 22. ZE Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu.....	54

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. İstinat duvarı göçme örneği-1	2
Şekil 2. İstinat duvarı göçme örneği-2	2
Şekil 3. Yeraltı suyu değişimi etkisive duvarın göçmesi	3
Şekil 4. Coulomb kama teorisine göre dayanma duvarına gelen itkiler	7
Şekil 5. Dayanma duvarlarında devrilme	9
Şekil 6. Dayanma duvarlarında kayma	9
Şekil 7. Dayanma duvarında taban basınçları	11
Şekil 8. Dayanma duvarlarında toptan göçme tahkiki	15
Şekil 9. Bishop yöntemi ile şev stabilite tahkiki	16
Şekil 10. Betonarme istinat duvarı elemanları	17
Şekil 11. Taban üzerine etkiyen kuvvetler	18
Şekil 12. Taban GEO 5 programında dayanma duvar modeli	20
Şekil 13. Zemin profili GEO 5 modeli	22
Şekil 14. Yer altı su seviyelerinin gösterimi	23
Şekil 15. İstinat duvarı genel şekli	25
Şekil 16. Yanal su basıncının yer altı su seviyesi etkisine göre değişimi	27
Şekil 17. Devrilme güvenlik katsayıları grafiği	36
Şekil 18. Kayma güvenlik katsayıları grafiği	36
Şekil 19. Temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayıları grafiği	37
Şekil 20. Maksimum toplam eksantrisite grafiği	37
Şekil 21. Temel oturma miktarları grafiği	38
Şekil 22. Toptan göçme güvenlik katsayıları grafiği	38
Şekil 23. Duvar arka kesme kapasite oranları (%) grafiği	45
Şekil 24. Duvar arka moment kapasite oranları (%) grafiği	46
Şekil 25. Ampatman alt kesme kapasite oranları (%) grafiği	47
Şekil 26. Ampatman alt moment kapasite oranları (%) grafiği	47
Şekil 27. Ampatman üst kesme kapasite oranları (%) grafiği	48
Şekil 28. Ampatman üst moment kapasite oranları (%) grafiği	48
Şekil 29. Temel moment kapasite oranları (%) grafiği	49
Şekil 30. ZC zemin sınıfı için maliyet artış grafiği	55
Şekil 31. ZD zemin sınıfı için maliyet artış grafiği	56
Şekil 32. ZE zemin sınıfı için maliyet artış grafiği	56

SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
ΔH	Oturma miktarı
B	Temel genişliği
c	Kohezyon
c_{taban}	Temel zeminin kohezyonu
D	Ön ampatman üzerindeki zemin derinliği
D_{taban}	Duvar temel taban kalınlığı
e	Eksantirisite
F	Normal kuvvet
F_d	Devrilme güvenlik katsayısı
F_k	Kayma güvenlik katsayısı
F_{qu}	Temel taşıma kapasitesi
F_{tg}	Toptan göçme güvenlik katsayısı
F_{YX}	Yanal su basıncı
G	Sabit yük
H	Duvar yüksekliği
$h_{\text{diş}}$	Taban dış yüksekliği
K	Toprak basıncı katsayısı
K_0	Sükunette toprak basıncı
K_a	Aktif zemin basıncı
K_p	Pasif zemin basıncı
L	Temel uzunluğu
l_{burun}	Ön ampatman genişliği
l_{topuk}	Arka ampatman genişliği
M_{ED}	Tasarım momenti
M_{RD}	Moment kapasitesi
N_c	Taşıma gücü katsayısı
N_q	Taşıma gücü katsayısı
N_γ	Taşıma gücü katsayısı
P_a	Aktif zemin itkisi
P_p	Pasif Zemin itkisi
Q	Hareketli yük

q_{\max}	Maksimum taban basıncı
q_{\min}	Minimum taban basıncı
$q_{\text{sınır}}$	Sınır taşıma gücü
V_{ED}	Tasarım kesme kuvveti
V_{RD}	Kesme kuvveti kapasitesi
\bar{x}	Dayanma duvarına etkiyen kuvvet bileşkesinin yeri
α	Dolgunun yatayla yaptığı açı
β	Arka dolgunun yatayla yaptığı açı
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ϕ'	Efektif kayma mukavemeti açısı
ϕ_{taban}	Temel zemininin kayma mukavemeti açısı
γ	Zemin birim hacim ağırlığı

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
YASS	Yer altı su seviyesi
Güv. Kat.	Güvenlik katsayısı
Top. Göç.	Toptan göçme



1. GİRİŞ

Yaygın olarak şevlerin stabilizasyonunda, derin kazılarda ve arazideki yükseklik farklılıklarının giderilmesinde kullanılan dayanma duvarı, zemin hacmini arkasında tutmak için inşa edilmiş bir destek yapısıdır. Moloz taş, beton veya betonarme malzeme kullanılarak inşa edilen dayanma duvarlarının yıkılarak son zamanlarda stabilite problemlerine neden olması ile can ve mal kaybına yol açma riski artmaktadır. Bu gibi durumlarda araştırılması gereken ilk durum yapımından yıllar sonra dayanma duvarının neden stabili kayıp problemi yaşanmasıdır. Geoteknik mühendisliğinde dayanma duvarı tasarımı, değişken zemin özellikleri, tabakalaşma, inşaat alanının özel koşulları ve yeraltı suyu durumu gibi parametreler nedeniyle birçok bilinmeyen, sınırlama ve kısıtlama içeren karmaşık bir mühendislik problemidir. Dayanma duvarı tasarımında değişen su yüksekliğinin etkisi dikkate alınarak elde edilen en uygun tasarımda, duvarın stabilitesini bozulduğu kritik su yüksekliği önemlidir. Arazi ve laboratuvar deneylerinden elde edilen zemin özellikleri ile yükleme ve arazi koşulları dikkate alınarak dayanma duvarının stabilitesinin doğrulamalarını sağlayan dayanma tasarımının güvenli olması önemli bir kriteridir. Buna göre dayanma duvarı tasarımında duvarın kayma, devrilme ve şev güvenliği için gerçekleştirilen stabilite tahkiklerinin sağlanması durumuna göre duvar boyutları değişmektedir.

Özellikle yüksek eğime sahip arazilerde, etkin kullanım sağlamak amacıyla çokça kullanılan dayanma yapıları arazilerin etkin ve verimli kullanımı için oldukça önemli yapılardır. Dayanma yapılarının kullanımının günümüzde özellikle kalabalık şehirlerde arttığı görülmektedir. Yükseklik seviyelerinin farklı olduğu bölgelerde, meskûn mahal sıklığı nedeniyle tepe bölgelerde ve şehirlerarası kara yollarının yarma bölgelerinde sıkça başvurulan bir çözüm yoludur. Bu nedenle dayanma yapılarının tasarımı ve inşası, insan ve çevre güvenliği açısından yüksek öneme sahiptir. Ancak yağış sonrası dayanma duvarlarının yıkılması son zamanlar çok fazla karşılaşılan bir durum haline gelmiştir. Yağış etkisi ve yeraltı suyu seviyesindeki değişikliklerden kaynaklanan dayanma duvarı stabilite sorunlarına ait görseller Şekil 1 ve 2' de verilmiştir. Ankara' nın Çankaya ilçesinde heyelan nedeniyle istinat duvarının çökmesi sonucu 4 apartman ve 1 gece kondu tedbir amaçlı tahliye edilmiştir (Şekil 1). İzmir'in Narlıdere ilçesinde istinat

duvarının çökmesi sonucu kısmen eğilen 2 apartmanda bulunan 88 daire tedbir amaçlı boşaltılmıştır (Şekil 2).



Şekil 1. İstinat duvarı göçme örneği-1
(Kaynak: Ankara, 2022)

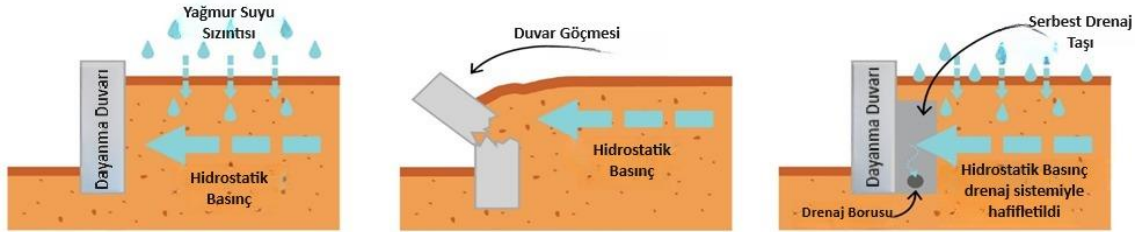


Şekil 2. İstinat duvarı göçme örneği-2
(Kaynak: İzmir,2021)

Şekillerde verilen yağış sonrası dayanma duvarı stabilitesinde meydana gelen stabilite problemleri;

1. Duvarın tasarımı aşamasında su etkisinin dikkate alınmadığından,
2. Duvar arkası su tahliye amaçlı yerleştirilen barbakanların bakım onarımının yapılmaması sebebiyle tıkanarak işlevini yerini getiremediğinden,
3. Küresel olarak yaşanan iklim değişikliği sebebiyle tasarımında dikkate alınan su yükünden daha fazla ve daha yoğun yeraltı suyu seviyesinde değişiklik meydana getirmesinden,

kaynaklanmaktadır (Şekil 3). Bu tez çalışması çok yaygın olarak kullanılan betonarme dayanma duvarların tasarımına yeraltı suyu seviyesindeki değişiminin stabiliteye etkisi açısından katkı sunmayı amaçlamaktadır. Farklı zemin tiplerine sahip farklı yüksekliklerdeki duvarların yeraltı su seviyelerinin yükselmesi durumunda iç ve dış stabiliteye etkisi parametrik olarak incelenmiştir.



Şekil 3. Yeraltı suyu değişimi etkisine duvarın göçmesi

(Kaynak:MH Site Construction, 2024)

Türkiye’de özellikle meskun mahallerde hakim olan zemin sınıflarının ZC, ZD, ve ZE olduğu bilinmektedir. Yapılacak çalışma için Aksaray il sınırları içerisinde farklı arazilere ait jeoloji raporları incelenerek ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için veriler elde edilmiş ve bu veriler ışığında toplam yükseklikleri; 4 metre, 6 metre, 8 metre ve 10 metre olan 4 farklı duvar tipi incelenmiştir. Her bir duvar tipi için 7 farklı su seviyesi dikkate alınmıştır

)

2. LİTERATÜR TARAMASI

Çalışma başlamadan önce konuyla ilgili bilgiler edinmek maksatlı literatür taraması yapılmış olup aşağıdaki bilgiler elde edilmiştir.

Fang vd. (2006) tarafından kaleme alınan “The Foundation Engineering Handbook” kitabının “Retaining Walls: Analysis and Design” bölümü, dayanma duvarlarının analizini ve tasarımını, özellikle hidrostatik basıncın etkilerini detaylı bir şekilde ele almaktadır. Fang, mühendislik prensiplerini temel alarak farklı yük ve koşullar altında dayanma duvarlarının nasıl tasarlanması ve analiz edilmesi gerektiğini açıklamaktadır. Özellikle, hidrostatik basıncın duvarların yapısal bütünlüğü üzerindeki etkilerine dair kapsamlı bilgiler sunmaktadır ve bu kuvvetlerin analizi için çeşitli hesaplama metodolojilerini tartışmaktadır. Bu bölüm, su basıncının dayanma duvarlarının tasarımında kritik bir rol oynadığını ve mühendislerin bu etkileri minimize etmek için gerekli önlemleri alabileceğini örneklerle göstermektedir. Bu çalışma, su seviyesinin artışının dayanma duvarlarının stabilitesine olan etkisini incelediğimiz bölümlerle uyum içindedir.

Altun (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, analitik hiyerarşi prosesi (AHP) olarak adlandırılan ve çoklu alternatifler arasında seçim yapılmasını sağlayan bir karar verme yöntemi olan Analitik Hiyerarşi Prosesi AHP yöntemi kullanılarak, konsol istinat duvarı tasarımı için belirlenen kriterlere göre, devrilme ve kayma tahkiki parametrelerinin değişim oranları incelenmiş ve her bir kriterin önem ölçütüne göre sıralanmasına yönelik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada amaç, hangi parametre (yeraltı suyu, deprem ivme katsayısı, deprem azaltma katsayısı) devrilme ve kayma tahkiki değerlerinde daha fazla değişime neden olur ve bu değişim oranı hangi zemin tabakası durumunda ne kadardır bunu belirlemektir.

Köktan vd. (2019) tarafından yapılan bu çalışmada bir istinat duvarının, zeminde farklı yeraltı su seviyeleri olması durumundaki dinamik davranışı zaman tanım alanında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde zemin-yapı etkileşiminin istinat duvarının sismik davranışında çok büyük önem arz ettiği, yeraltı su seviyesindeki değişimlerin duvarın hareketini ve duvar üzerinde oluşan gerilmeleri önemli mertebelerde etkilediği görülmüştür.

Khosravi vd. (2016) yaptıkları çalışmada, çeşitli hareket modları altında rijit dayanma duvarlarına etki eden zemin basınçlarını teorik olarak değerlendirir. Araştırma, hidrostatik basıncın duvarlara olan etkisini analitik olarak çözümler ve bu basınçların duvarların stabilitesine nasıl etki ettiğini açıklamaktadır. Çalışmanın bulguları, betonarme istinat duvarlarının hidrostatik basınç altında nasıl davrandığını gösteren örneklerle benzerlik göstermektedir. Bu çalışma zemin tipi ve su seviyesi değişimi aralığını bakımından daha kısıtlı parametreler üzerine odaklanmıştır.

Visone vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma, sismik yükler altında dayanma yapılarının tasarım yöntemlerini incelemektedir. Sismik ve hidrostatik basınçların birleşik etkileri göz önünde bulundurularak, dinamik yüklerin dayanma duvarı tasarımlarında nasıl hesaba katılması gerektiği konusunda bilgi sunmaktadır. Araştırma, sismik koşullar altında dayanma duvarlarının stabilitesini artırmak için önerilen metotları ve bu yöntemlerin uygulanabilirliğini değerlendirmektedir. Ayrıca, sismik yüklerin hidrostatik basınçla birleştiğinde duvar üzerindeki etkilerini analiz ederek, bu şartlar altında optimal tasarım parametrelerini belirlemeyi amaçlamaktadır.

Blake vd. (2003) tarafından ele alınan çalışma, yağmur kaynaklı geçici su basıncının bir dayanma duvarının arkasında nasıl tahmin edilebileceğini araştırmaktadır. Yüksek çözünürlüklü sonlu elemanlar modeli kullanılarak yapılan araştırma, suyun hareket mekanizmalarını ve duvarlara olan etkilerini ayrıntılı olarak incelemektedir.

Blake vd. (2003) nin çalışması, suyun dinamik etkilerini modellemek için kullanılan yöntemlerin evrimini göstermektedir. Bu bağlamda, araştırma, dayanma duvarlarının su basıncı değişikliklerine karşı nasıl tepki vereceğini daha iyi anlamamıza katkı sağlamaktadır ve güvenli tasarım stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

Choudhury vd. (2007) tarafından gerçekleştirilen bu araştırma, su kenarı dayanma yapılarını destekleyen dolgunun memba yüzünde hidrostatik basınca, mansap yüzünde ise toprak basıncına maruz kaldığı durumları ele almaktadır. Sismik koşullar altında, bu tür bir duvarın batık bir dolguyu koruması durumunda, ek hidrodinamik basınçların ortaya çıkabileceği göz önünde bulundurulmaktadır. Makale, bu tür dayanma yapıları üzerinde depremlerin ve atalet kuvvetlerinin yanı sıra hidrodinamik basıncın etkilerini incelemektedir.

Adnan vd. (2013) tarafından yapılan araştırma, deprem yükleri altında dayanma duvarlarının toprak-yapı etkileşimini detaylı bir şekilde incelemektedir. Araştırmada hem statik hem de dinamik koşullar altında dayanma yapılarının davranışı ele alınmış ve Mononobe-Okabe analitik yöntemi ile sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak çeşitli analizler gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın odak noktasında, AL-Jadiriya köprüsü yaklaşım duvarları bulunmakta olup, geri doldurma malzemesi ve yer altı su seviyesinin dayanma duvarı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Parametrik çalışmalar sonucunda, duvar yüksekliği, zemin özellikleri ve deprem taban uyarım hızlanmasının duvar üzerindeki dinamik toprak basıncını nasıl etkilediği kapsamlı bir biçimde değerlendirilmiştir.

Wang vd. (2013) tarafından yapılan çalışma, dayanma duvarlarının arkasındaki zeminlerin jeoteknik özelliklerine hidrostatik basıncın etkilerini sistemli bir şekilde incelemiştir. Araştırma, suyun zemin parametreleri üzerindeki değişimlerin derinlemesine analizini yaparak, bu değişimlerin dayanma duvarlarının tasarımına nasıl entegre edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Elde edilen bilgiler, su seviyesinin artması durumunda zemin mekanikleri üzerindeki etkileriyle paralellik göstererek, bu tür yapıların uzun vadeli stabilitesi ve güvenliği için önemli ipuçları sunmaktadır. Bu bağlamda, araştırma, jeoteknik mühendisliği ve yapısal mühendislik açısından değerli bir katkı sağlamakta ve su basıncının zemin davranışları üzerindeki etkilerini anlamamıza yardımcı olmaktadır.

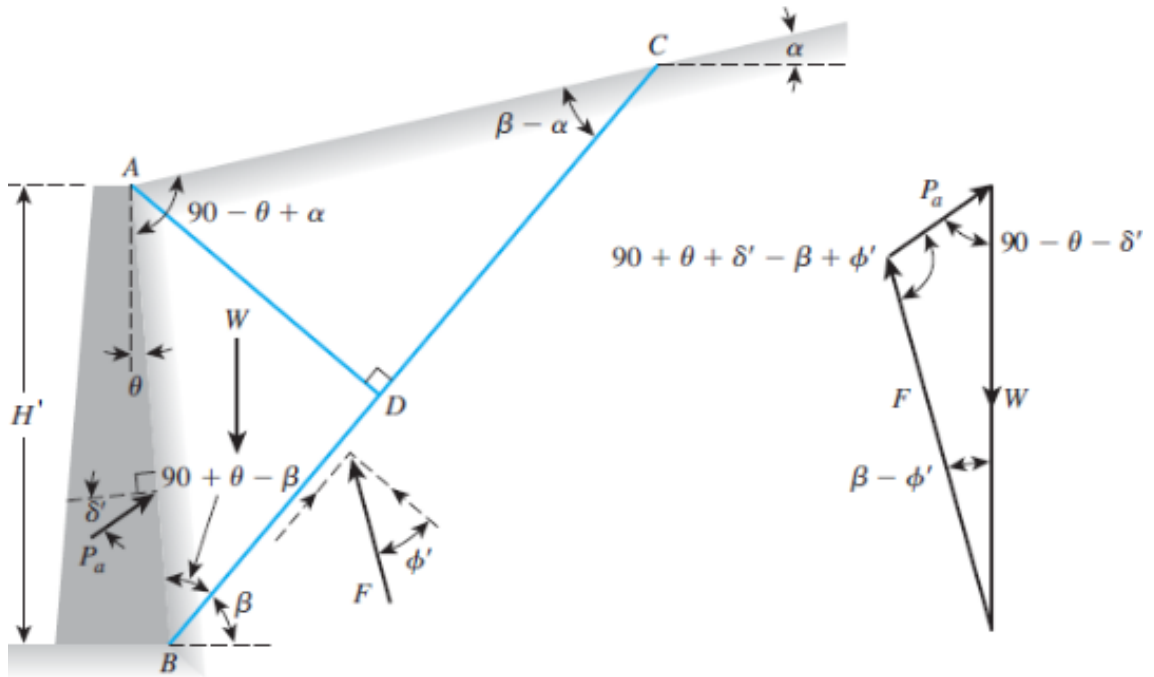
3. DAYANMA DUVARI TASARIMI

Betonarme bir istinat duvarı tasarımına öncelikle ebatlar belirlenerek başlanmalı daha sonra yeterlilik ya da yetersizlik durumuna göre duvar boyutlarında değişiklik yapılmalıdır. Seçilen ebatlara göre sırasıyla, dış stabilite, iç stabilite ve kritik kesitlerde betonarme hesabı yapılmalıdır.

3.1. Dış Stabilite

3.1.1. Yatay Zemin Basıncı ve Kayma-Devrilme Tahkikleri

Dayanma duvarı arkasında bulunan aktif bölgeye ait dolgunun duvar üzerine olan etkisini araştıran teorilerden biri de 1776 yılında yayımlayan Coulomb teorisidir. Bu teori dolgunun Şekil 4'te görüldüğü üzere; bileşke kuvvet (F), kayma düzleminin normaliyle ϕ' kadar bir açı ile, aktif yanal itkisi P_a ise duvarın zemini desteklediği yüzünün normaliyle δ kadarlık bir açıyla etki etmektedir.



Şekil 4. Coulomb kama teorisine göre dayanma duvarına gelen itkiler

(Kaynak:Das, 2009)

Bu kuvvetlerin hesabı neticesinde Eşitlik 1’de aktif yanal basınç kuvveti hesaplanabilir.

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

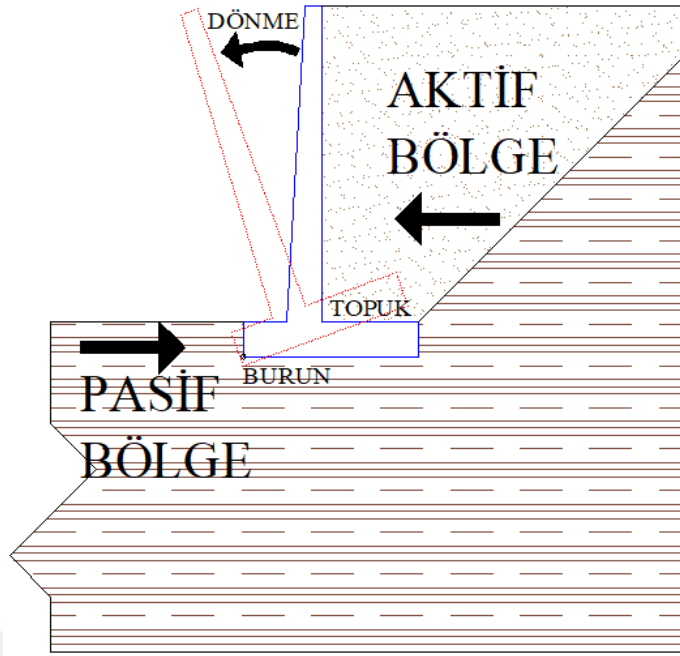
Bu eşitlikte bulunan aktif yanal basınç katsayısı K_a ise Eşitlik 2 ile hesaplanır

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

Bu eşitlikte α dayanma duvarının aktif bölgesinin yatayla yaptığı açığı ifade etmektedir. Bir dayanma duvarının dolgu kısmında oluşan yanal basınçın Şekil5’te gösterildiği üzere burun üzerinde dönerek devrilmesine sebep olabilir. Stabilitenin tahkiki için burun noktası baz alınarak duvara etkileyen kuvvetlerin momentleri ve duvarın kendi ağırlığından dolayı oluşan momentlerin hesaplanması gerekmektedir. Duvarı devirmeye çalışan kuvvetler ile devrilmeye karşı koyan kuvvetler oranlanarak belirli bir güvenlik katsayısının üzerinde olması sağlanmalıdır. Duvar arkasında kalan aktif zemin basıncı duvarı devirmeye çalışırken, duvarın topuk kısmının üzerinde kalan zemin, duvarın kendi ağırlığı ve pasif yönde bulunan zemin basıncı duvarın devrilmesine karşı bir kuvvettir (Şekil 5).

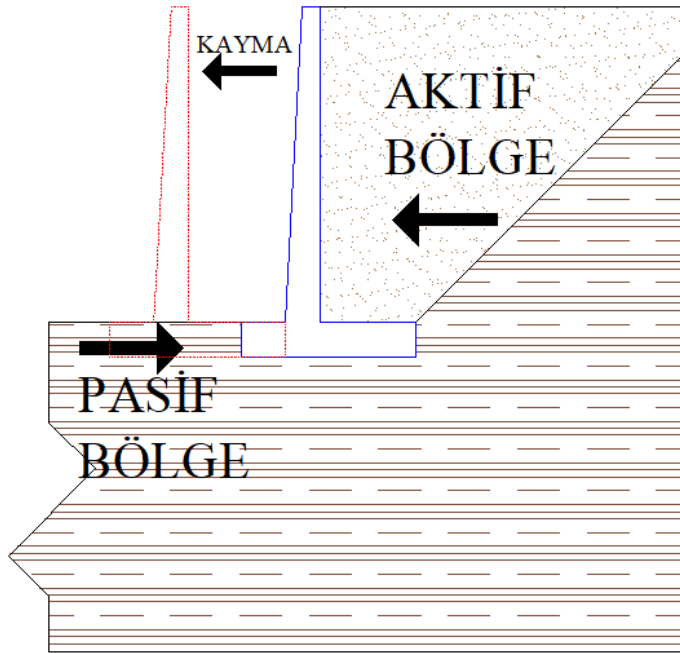
Eşitlik 3’te bulunan $G_{sdevrilme}$ güvenlik katsayısı olup TS7994 (1990)’e göre tahkik kontrolünde 1,5 olarak alınmalıdır. $\Sigma M_{D-karşı koyan}$, duvarın devrilmeye karşı olan momentlerin toplamı iken $\Sigma M_{D-deviren}$, ise duvarı devirmeye çalışan momentlerin toplamıdır.

$$G_{S devrilme} = \frac{\Sigma M_{D-karşı koyan}}{\Sigma M_{D-deviren}} \quad (3)$$



Şekil 5. Dayanma duvarlarında devrilme

Dayanma duvarına etkiyen yanıl kuvvetler aynı zamanda duvarın kaymasına da neden olabilir (Şekil 6).



Şekil 6. Dayanma duvarlarında kayma

Duvarın kayma durumunu tahkik etmek için kayma karşı olan kuvvetlerini, duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetlere oranlayarak yapabiliriz. Duvar arkasında oluşan aktif yanal basınç duvarı kaydırmaya çalışırken, duvarın topuk kısmının üzerinde kalan zemin, duvarın kendi ağırlığı ve pasif yönde bulunan yanal basınç kaymaya karşı olan kuvvetlerdir. Yine devrilme güvenlik katsayısında olduğu gibi Eşitlik 4’ te bulunan G_{skayma} güvenlik katsayısı olup tahkik kontrolünde TS7994(1990)’e göre 1,5 olarak alınmalıdır.

$$G_{S\ kayma} = \frac{\sum F_{karşı\ koyan}}{\sum F_{kaydıran}} \quad (4)$$

3.1.2. Temel Zemini Taşıma Gücü ve Eksantirisite Tahkiki

Temel taşıma gücü koşulu, dayanma duvarının temeline etkiyen taban basıncının zemin emniyet gerilmesinden daha düşük olması durumu ile sağlanmalıdır. Dayanma duvarı temelleri genellikle sürekli (mütemadi) temel ile tasarlanır. Mütemadi temel bir sığ temeldir. Mütemadi temel üzerinde oluşan momentlerden kaynaklı olarak eksantrik yüklemeye sahiptir. Dolayısıyla ilk olarak eksantrisitenin hesaplanması gerekmektedir.

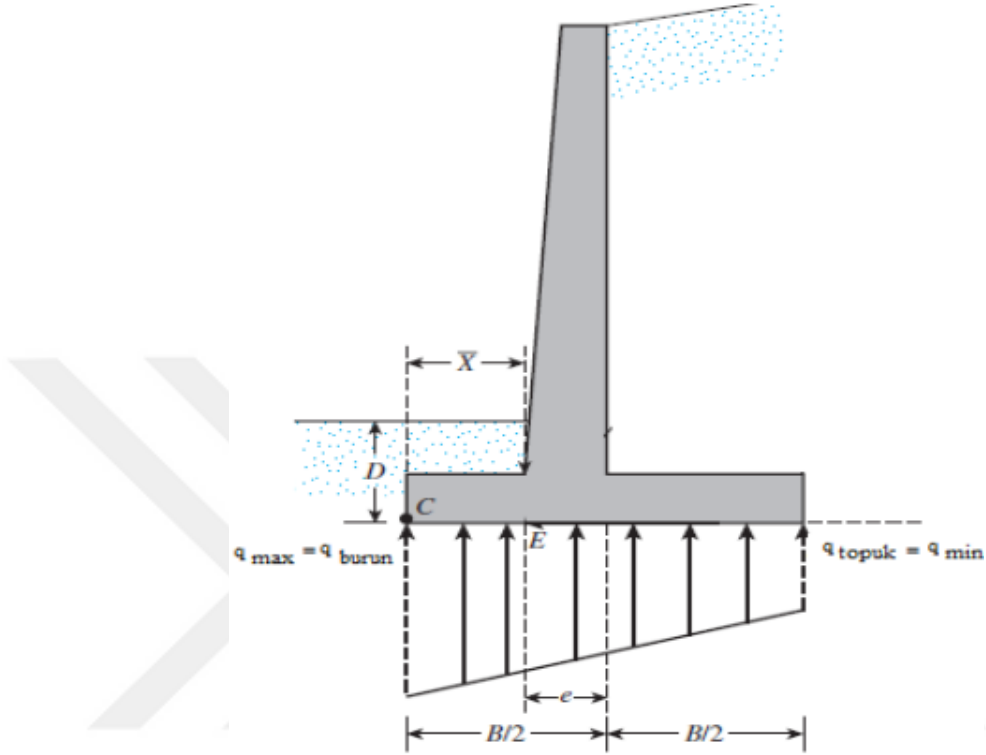
Eksantirisite hesaplamak için ilk olarak duvara etkiyen kuvvetler bileşkesinin yataydaki yeri bulunmalıdır. Eşitlik 5’ te görüldüğü üzere burun noktasına göre deviren momentler toplamı ile karşı koyan kuvvetler toplamı farkının, toplam eksenel kuvvete bölünmesiyle elde edilir.

$$\bar{x} = \frac{\sum M_{D-karşı\ koyan} - \sum M_{D-deviren}}{\sum N} \quad (5)$$

Eksantirisite için ise duvarın temel taban genişliğini ifade etme üzere Eşitlik 6 ile elde edilebilir.

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

Şekil 7’de tipik bir temel altı basınçları görülmektedir. Burunda oluşan basınç maksimum, topuk oluşan basınç ise minimum olarak adlandırılabilir.



Şekil 7. Dayanma duvarında taban basınçları

(Kaynak: Das, 2009)

Bu durumda L eksantrisinin olduğu taban uzunluğu olmak üzere; $e \leq L/6$ şartını sağlıyor ise Eşitlik 7 ile, $e \geq L/6$ şartını sağlıyor ise Eşitlik 8 ile minimum ve maksimum taban gerilmeleri hesaplanmaktadır.

$$q_{min,max} = \frac{\sum N}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right) \quad (7)$$

$$q_{min,max} = \frac{2 \sum N}{3 \left(\frac{B}{2} - e \right)} \quad (8)$$

Mütemadi temelin taşıma sınır gücü ise Meyerhof' a göre Eşitlik 9’da verilmiştir.

$$q_{sınır} = C_{taban}N_c + P'_0N_q + \frac{1}{2}\gamma_{taban}N_\gamma B' \quad (9)$$

Eşitlik 9 da bulunan N_c, N_q ve N_γ Meyerhof taşıma gücü katsayıları değerleri, kayma mukavemeti açısına(ϕ) bağlı olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Eşitlik 6,7 ve 8'den elde edilen verilerle bir güvenlik katsayısı elde edilebilir. Bu katsayısı devrilme ve kaymada olduğu gibi 1,5 olarak kullanılabilir. Güvenlik katsayısı için Eşitlik 10 kullanılabilir.

$$G_S \text{ taşıma gücü} = \frac{q_{sınır}}{q_{max}} \quad (10)$$

Tablo 1. Meyerhof taşıma gücü katsayıları

ϕ	N_c	N_q	N_γ	ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5,14	0	0	26	22,25	11,85	8
1	5,38	0,09	0,002	27	23,94	13,2	9,46
2	5,63	0,2	0,01	28	25,80	14,72	11,19
3	5,9	0,31	0,02	29	37,86	16,44	13,24
4	6,19	0,43	0,04	30	30,14	18,4	15,67
5	6,49	0,57	0,07	31	32,67	20,63	18,56
6	6,81	0,72	0,11	32	35,49	23,18	22,02
7	7,16	0,88	0,15	33	38,64	26,09	26,17
8	7,53	2,06	0,21	34	42,16	29,44	31,15
9	7,92	2,25	0,28	35	46,12	33,3	37,15
10	8,35	2,47	0,37	36	50,59	37,75	44,43
11	8,8	2,71	0,47	37	55,63	42,92	53,27
12	9,28	2,97	0,6	38	61,35	48,93	64,07
13	9,81	3,26	0,74	39	67,87	55,96	77,33
14	10,37	3,59	0,92	40	75,31	64,2	93,69
15	10,98	3,94	1,13	41	83,86	73,9	113,99
16	11,63	4,34	1,38	42	93,71	88,38	139,32
17	12,34	4,77	1,66	43	105,11	99,02	171,14
18	13,1	5,26	2	44	118,37	115,31	211,41
19	13,93	5,8	2,4	45	133,88	134,88	262,74
20	14,83	6,4	2,87	46	152,1	158,51	328,73
21	15,82	7,07	3,42	47	173,64	187,21	414,32
22	16,88	7,82	4,07	48	199,26	222,31	526,44
23	18,05	8,66	4,82	49	229,93	265,51	674,91
24	19,32	9,6	5,72	50	266,89	319,71	873,84
25	20,72	10,66	6,77				

(Kaynak: Uzuner, 2000)

Brinch Hansen (1961) tarafından geliştirilen kuram ise Eşitlik 11’de verilmiştir.

$$q_{sınır} = cN_c s_c d_c i_c + \gamma D_f N_q s_q d_q i_q + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma \quad (11)$$

Eşitlik 11’de bulunan N_c, N_q ve N_γ taşıma gücü katsayıları Eşitlik 12, Eşitlik 13 ve Eşitlik 14 kullanılarak hesaplanabilir.

Burada;

c: kohezyon,

γD_f : temel seviyesinde efektif gerilme(kPa)

s: şekil faktörü

d: derinlik faktörü

i: yük eğim faktörüdür.

$$N_q = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) e^{\pi \tan \phi} \quad (12)$$

$$N_c = (N_q - 1) \frac{1}{\tan \phi} \quad (13)$$

$$N_\gamma = 1.5 (N_q - 1) \tan \phi \quad (14)$$

Dayanma yapılarına ait mütemadi temel için şekil derinlik ve yük eğim faktörleri Eşitlik 15 ila Eşitlik 23 arasında bulunan eşitliklerle hesaplanabilir.

$$S_c = 1 + \left(\frac{B' N_q}{L' N_q} \right) \quad (15)$$

$$S_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \sin \phi \quad (16)$$

$$S_{\gamma} = 1 - 0,4 \left(\frac{B'}{L'} \right) \quad (17)$$

$$d_c = 1 + 0,4 \left(\frac{D}{B} \right) \quad (18)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \left(\frac{D}{B} \right) \quad (19)$$

$$d_{\gamma} = 1 \quad (20)$$

$$i_c = i_q - \left(\frac{1 - i_q}{N_q - 1} \right) \quad (21)$$

$$i_q = \left[1 - \frac{0,5 H_i}{V + A f C a c o t \phi} \right]^{\alpha_1} \quad (22)$$

$$i_{\gamma} = \left[1 - \frac{\left(0,7 - \frac{\mu}{450} \right) H_i}{V + A f C a c o t \phi} \right]^{\alpha_2} \quad (23)$$

Burada;

B': efektif genişlik

L': efektif uzunluk

H_i: temele uygulanan yatay kuvvet

V: normal kuvvet

Ca: taban adezyonu (0,6-1,0Cu)

Cu: taban kohezyonu

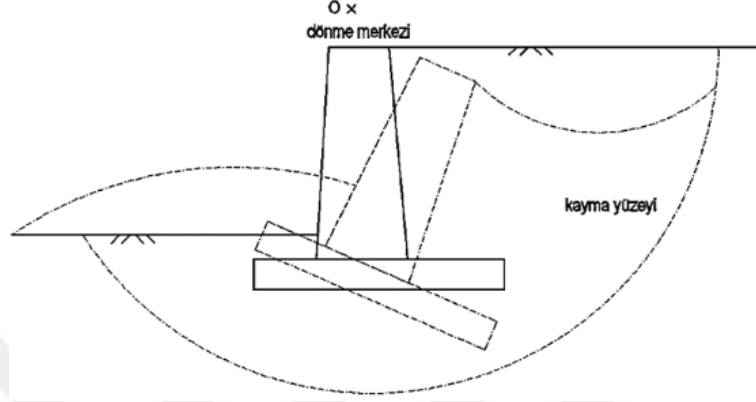
Ø: içsel sürtünme açısı

μ: temel taban eğimi

3.1.3. Toptan Göçme (Şev Stabilite) Tahkiki

Duvarın arkasında tutulan geniş çapta zemin kütlelerinin güvenliği ile ilgili tahkik ise toptan göçme tahkikidir. Şevin kritik kayma düzleminin belirlenmesi; zemin özellikleri, yer altı su seviyesinin yüksekliği, zeminin jeolojik geçmiş gibi parametrelerden dolayı

çok karmaşık bir durum haline gelmektedir (Uray,2020). Şekil 8’de belirtilen kayma yüzeyi, sayısız denemeler tekrarlanarak ve kabuller yapılmak suretiyle bazı yöntemlerle elde edilebilmektedir.



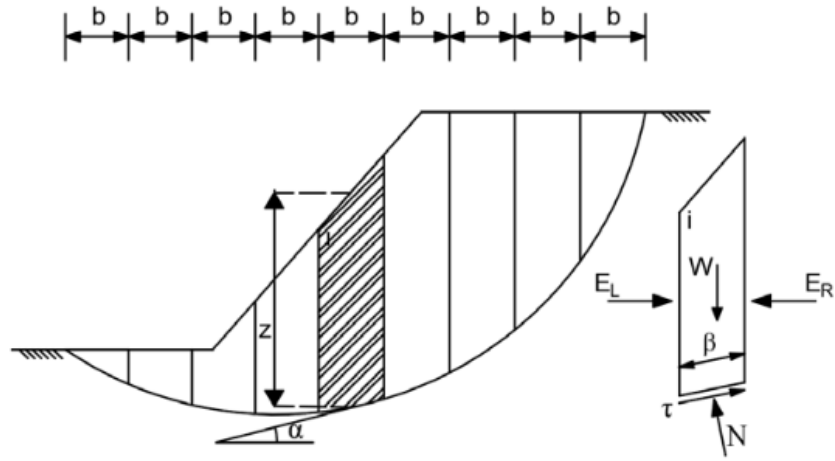
Şekil 8. Dayanma duvarlarında toptan göçme tahkiki

(Kaynak: Uray, 2020)

Bishop (1955) bu yöntemlerden biridir. Şekil 8’de belirlenen kayma yüzeyi ile şev geometrisi alan zemini yaklaşık olarak eşit dilimlere ayırarak her bir dilimin moment dengesini ve dengesizliğini dikkate alan bir yöntemdir. Bu yöneme göre güvenlik katsayısı Eşitlik 24’te verilmiştir.

$$F_s = \frac{\sum \left[(c\beta + w \tan \phi) \left(\cos \alpha + \frac{\sin \alpha \tan \phi}{F_s} \right) \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (24)$$

Burada c, zemin kohezyonu, β , dilim taban uzunluğu, ϕ , içsel sürtünme açısı, W, dilim ağırlığı, α , dilim taban eğimi olarak tanımlanır. F_s güvenlik katsayısının denklemin her iki tarafında da yer almasından dolayı, deneme yanılma yöntemi kullanılması gerekmektedir. Başlangıçta herhangi bir F_s ’e değer vererek yapılacak olan işlem, diğer F_s ile arasındaki fark 0,001 ya da daha az oluncaya kadar devam etmelidir. Böylelikle elde edilecek olan değer F_s değeridir (Şekil 9).



Şekil 9. Bishop yöntemi ile şev stabilite tahkiki

(Kaynak: Uray, 2020)

3.2. İç Stabilite

Söz konusu betonarme dayanma yapıları olduğu için dış stabilite kriterlerine göre boyutlandırılan yapının iç gerilmelere göre de donatılandırılması gerekmektedir. Bunun için pek çok yöntem olsa da esasında dayanma duvarlarının iç stabilite analizi betonarme kirişler için yapılan hesaplara dayandırılmaktadır. Bu çalışmada TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım kuralları (2000) ve Türkiye Bina deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) 'den yararlanılmıştır. Bu yönetmelikler ışığında kritik olan bölgelerin eğilme ve kesme tahkikleri yapılmıştır.

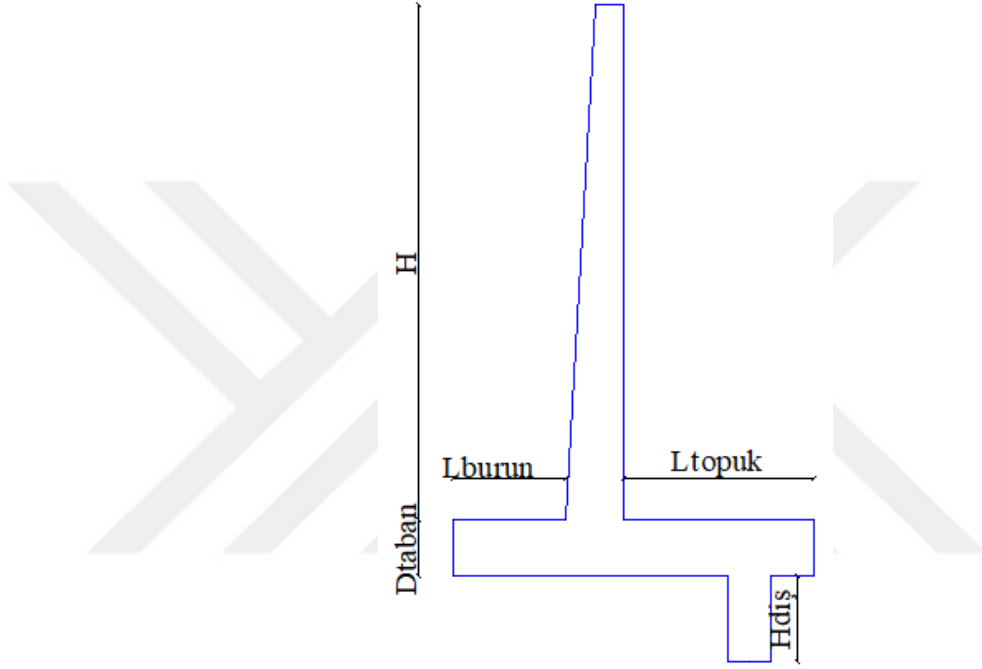
Betonarme elemanların hepsinde olduğu gibi dayanma yapılarında da üzerine etkileyen yüklerin bilinmesi gerekmektedir. Bu yükler bilindikten sonra yanal toprak itkisinin olduğu durumlarda Eşitlik 25, sabit ve hareketli yükün zorlamayı azalttığı durumlarda ise Eşitlik 26 kullanılarak bir bileşke kuvvet elde edilmektedir. Oluşan bu bileşke kuvvetlerden elde edilen en elverişsiz zorlamalar dikkate alınarak eğilme ve kesme tahkikleri yapılmalıdır.

$$U = 1,4G + 1,6Q + 1,6H \quad (25)$$

$$U = 0,9G + 1,6H \quad (26)$$

Bu eşitliklerde G, sabit yükü, Q, hareketli yükü, H, yanal toprak itkisini ifade etmektedir.

Şekil 10'da görülen istinat duvarı elemanlarına göre; gövde eğilme momenti, ön ampatman eğilme momenti ve arka ampatman eğilme momenti sırasıyla Eşitlik 27, Eşitlik 28 ve Eşitlik 29 kullanılarak elde edilmektedir.



Şekil 10. Betonarme istinat duvarı elemanları

$$M_{dgövde} = 1,6 \left[qK_a \cos \beta \frac{(L_{topuk} \tan \beta + H)^2}{2} + K_a \gamma_{dolgu} \cos \beta \frac{(L_{topuk} \tan \beta + H)^3}{6} \right] \quad (27)$$

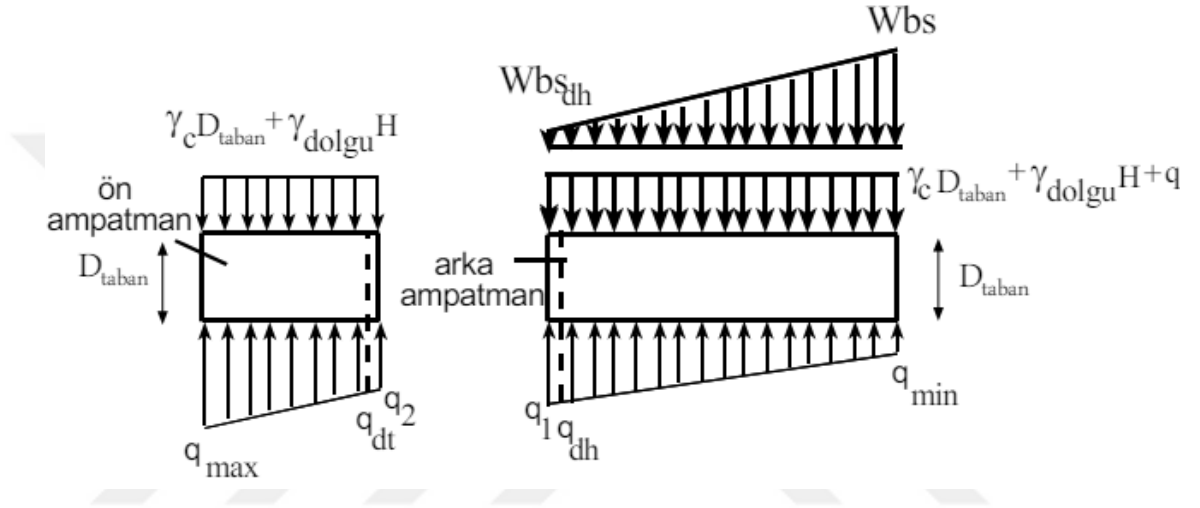
$$M_{dburun} = \left[1,6 \left(\frac{q_2}{6} + \frac{q_{max}}{3} \right) - 1,4 \left(\frac{\gamma_c D_{taban} + \gamma_{dolgu} D}{2} \right) \right] L_{burun}^2 \quad (28)$$

$$M_{dtopuk} = \left[\left(\frac{1,6q + 1,4\gamma_c D_{taban} + 1,4\gamma_{dolgu} H}{2} \right) + 1,4 \left(\frac{W_{bs}}{3} \right) - 1,6 \left(\frac{q_1 + 2q_{min}}{6} \right) L_{topuk}^2 \right] \quad (29)$$

Taban dışının bulunması durumunda tasarım momenti Eşitlik 30 ile hesaplanmaktadır.

$$M_{ddış} = 1,6 \left[\frac{K_{p2} \gamma_{taban} (H_{dış})^3}{3} \right] \quad (30)$$

Taban üzerinde etkiyen kuvvetler Şekil 11’de verilmiştir.



Şekil 11. Taban üzerine etkiyen kuvvetler

(Kaynak: Kalemci, 2021)

Betonarme elemanları boyuna donatılarını eğilme momentlerine göre belirlenirken enine donatıları ise kesme tahkikine göre belirlenir. Bu nedenle dayanma yapılarında da enine donatı yerleşimi için kesme tahkiki yapmamız gerekmektedir. Yine sonuç olarak gövde, ön ampatman ve arka ampatman için kesme tahkikleri sırasıyla Eşitlik 31, Eşitlik 32 ve Eşitlik 33’ te verilmiştir.

$$V_{dgövde} = 1,6 \left[q K_a \cos \beta (L_{topuk} \tan \beta + H - ds) + K_a \gamma_{dolgu} \cos \beta \frac{(L_{topuk} \tan \beta + H - ds)^2}{3} \right] \quad (31)$$

$$V_{d\text{burun}} = \left[1,6 \left(\frac{q_{dt} + q_{max}}{2} \right) - 1,4(q_c D_{taban} + \gamma_{dolgu} D) \right] (L_{burun} - d_t) \quad (32)$$

$$V_{d\text{topuk}} = \left[(1,6q + 1,4\gamma_c D_{taban} + 1,4\gamma_{dolgu} H) + 1,4 \left(\frac{W_{bs} + W_{bsd\text{h}}}{2} \right) - 1,6 \left(\frac{q_{dh} + q_{min}}{2} \right) \right] (L_{topuk} - dh) \quad (33)$$

Taban dışının bulunması durumunda tasarım kesme kuvveti Eşitlik 34 ile hesaplanmaktadır.

$$V_{d\text{dış}} = 1,6 \left[\left(\frac{K_{p2}\gamma_{dsh} + K_{p2}\gamma_{hdış}}{2} \right) (h_{dış} - dsh) \right] \quad (34)$$

Dış stabilite için elde edilen sonuçlar; devrilme güvenlik katsayısı, kayma güvenlik katsayısı, temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı, eksantrisite, temel oturması ve şev stabilite tahkiki güvenlik katsayısı (toptan göçme) şeklindedir.

Temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı için iki önemli parametre olan; zeminin tasarım taşıma gücü ve temel altı maksimum gerilmelerinin hesaplanmasında, yeraltı su yüksekliğinin artması sonucunda görülen artma ve azalmalar GEO5 programı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır.

İç stabilite için elde edilen sonuçlar; duvar arkası, ampatman alt ve ampatman üst bölgeleri için moment ve kesme kuvveti kapasite değerleri ve oluşan gerilmeler, temel için moment kapasitesi ve oluşan gerilmeler dikkate alınmıştır.

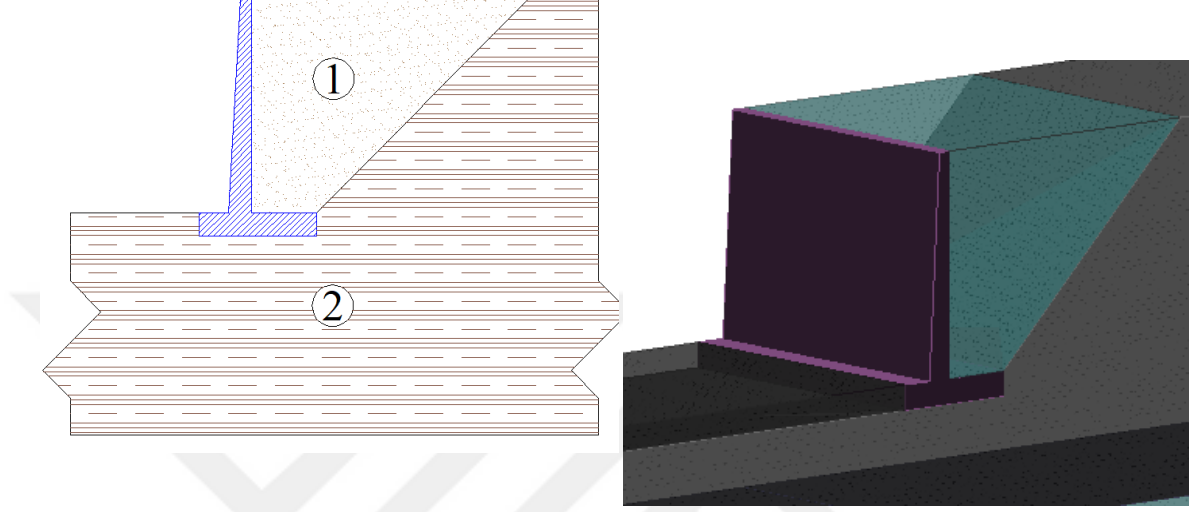
Dayanma duvarının tasarımı ve analizinde dikkate alınan durumlar ve kabuller şu şekildedir;

- Program standartlarına uygun olarak dış stabilitede tahkik yöntemlerinin hepsi güvenlik katsayısına bağlı olup, güvenlik katsayısı 1.5 olarak alınmıştır.
- İzin verilebilir eksantrisite için 0,333 katsayısı kullanılmıştır.
- Aktif ve pasif zemin basınç hesaplamasında Coulomb yöntemi kullanılmıştır.
- Şev stabilite analizinde (toptan göçme) Bishop yöntemi kullanılmıştır.
- Yeraltı su seviyesinin değişimi sonucu oluşan sadece yanal basınç etkisi göz önüne alınmıştır.
- Zeminin tasarım taşıma gücü parametreleri zemine ait parametreler ile GEO5 programı tarafından oluşturulan değerler dikkate alınmıştır.
- Dayanma duvarında malzeme özelliği olarak beton C25/30 ve donatı B420C dikkate alınmıştır.

4.2. Zemin Parametreleri

Türkiye’de özellikle meskûn mahallerde hâkim olan zemin sınıflarının ZC, ZD, ve ZE olduğu bilinmektedir. Yapılacak çalışma için Aksaray il sınırları içerisinde farklı arazilere ait jeoloji raporları incelenerek ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları Tablo 2’ de verilen değerler dikkate alınmıştır.

Şekil 13’ te görülen zemin profillerinden 2 numaralı zemin tipi ZC, ZD ve ZE olarak sınıflandırılmış, 1 numaralı zemin tipi ise ‘DOLGU’ olarak adlandırılmış ve Tablo 2’ de zemin özellikleri verilmiştir.



Şekil 13. Zemin profili GEO 5 modeli

Kohezyon türü olarak ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları kohezyonlu, dolgu ise kohezyonsuz zemin tipi kullanılmıştır. Temel tabanından itibaren kademeli olarak seviyesi arttırılan sadece yeraltı suyunun etkisinin gözlemlenebilmesi için temel zemini ve temel tabanı arasındaki sürtünme açısı (δ) içsel sürtünme açısına eşit alınmıştır.

Tablo 2. Zemin özellikleri

	ZC	ZD	ZE	DOLGU
Zemin sınıfı (USCS)	CL	SC	CL	GW
Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	18,8	18,6	18,4	19
İçsel sürtünme açısı (°)	8,17	6,44	5,60	32,5
Kohezyon (kPa)	61,25	52,60	43,66	0
Doygun birim hacim ağırlık (kN/m ³)	19	19	19	19
Poisson oranı	0.35	0.35	0.35	0.40

4.3. Yer Altı Su Seviyesi Yükseklikleri

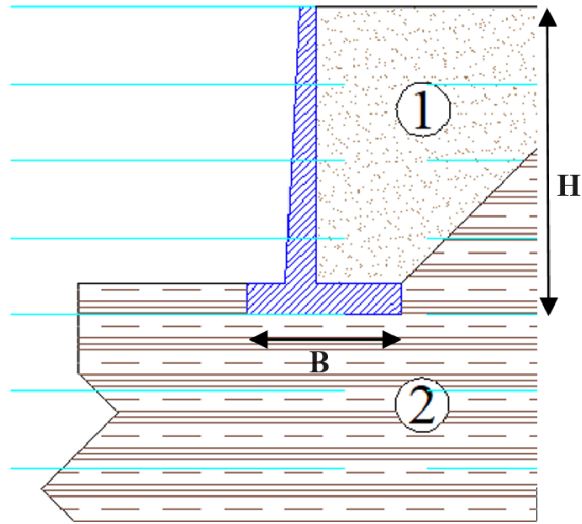
Her bir duvar yüksekliğinde geçerli olmak üzere yeraltı suyu seviyesi (YASS) değerleri;

1. YASS' nin duvar temelinden toplam temel genişliği (B) kadar altında olduğu durum (H+B)
2. YASS' nin duvar temelinden toplam temel genişliğinin (B) yarısı kadar altında olduğu durum (H+B)
3. YASS' nin duvar temeli hizasında olduğu durum (H)
4. YASS' nin duvar temelinden toplam duvar yüksekliğinin 3/4' ü kadar yukarısında olduğu durum (3H/4)
5. YASS' nin duvar temelinden toplam duvar yüksekliğinin 1/2'si kadar yukarısında olduğu durum (H/2)
6. YASS' nin duvar temelinden toplam duvar yüksekliğinin 1/4'ü kadar yukarısında olduğu durum (H/4)
7. YASS' nin duvar temelinden toplam duvar yüksekliği kadar olduğu durum (H)

Olarak alınmış olup Şekil 14'te detaylı olarak gösterilmiştir.

Yer altı su seviyesinin duvarın en üst kısmı olan "0" noktasına ulaşması neredeyse imkânsız olmasına rağmen, yapılan çalışmada parametrik sonuç elde etmek amacıyla yer altı su seviyesinin duvarın tepe noktasına kadar çıkmış olma durumu kabul edilmiştir.

- ▼ YASS:0
- ▼ YASS:H/4
- ▼ YASS:H/2
- ▼ YASS:3H/4
- ▼ YASS:H
- ▼ YASS:H+B/2
- ▼ YASS:H+B



Şekil 14. Yer altı su seviyelerinin gösterimi

4.4. Tasarım Kombinasyonları

Yapılacak çalışma için Aksaray il sınırları içerisinde farklı arazilere ait jeoloji raporları incelenerek ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları olmak üzere üç farklı temel zemini dikkate alınmıştır. Dayanma duvar yüksekliği 4 m, 6 m, 8 m ve 10 m olan 4 farklı yükseklik incelenmiştir. Her bir duvar yüksekliği 7 farklı su seviyesinin stabiliteye etkisi araştırılmıştır. Toplamda oluşan 84 kombinasyon için GEO5 programı kullanılarak iç ve dış stabilite için sonuçlar elde edilmiştir.

Farklı dayanma duvar tasarım kombinasyonları Tablo 3' te verilmiştir.

Tablo 3. Kombinasyonlar tablosu

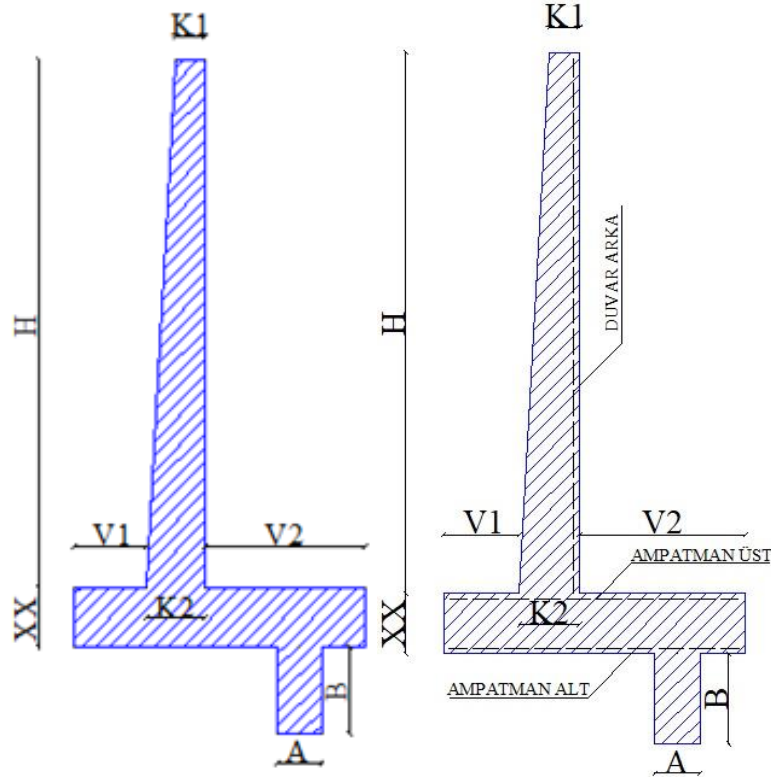
ZC Kombinasyonlar	ZD Kombinasyonlar	ZE Kombinasyonlar
ZC-4m-H+B	ZD-4m-H+B	ZE-4m-H+B
ZC-4m-H+B/2	ZD-4m-H+B/2	ZE-4m-H+B/2
ZC-4m-H	ZD-4m-H	ZE-4m-H
ZC-4m-3H/4	ZD-4m-3H/4	ZE-4m-3H/4
ZC-4m-H/2	ZD-4m-H/2	ZE-4m-H/2
ZC-4m-H/4	ZD-4m-H/4	ZE-4m-H/4
ZC-4m-0	ZD-4m-0	ZE-4m-0
ZC-6m-H+B	ZD-6m-H+B	ZE-6m-H+B
ZC-6m-H+B/2	ZD-6m-H+B/2	ZE-6m-H+B/2
ZC-6m-H	ZD-6m-H	ZE-6m-H
ZC-6m-3H/4	ZD-6m-3H/4	ZE-6m-3H/4
ZC-6m-H/2	ZD-6m-H/2	ZE-6m-H/2
ZC-6m-H/4	ZD-6m-H/4	ZE-6m-H/4
ZC-6m-0	ZD-6m-0	ZE-6m-0
ZC-8m-H+B	ZD-8m-H+B	ZE-8m-H+B
ZC-8m-H+B/2	ZD-8m-H+B/2	ZE-8m-H+B/2
ZC-8m-H	ZD-8m-H	ZE-8m-H
ZC-8m-3H/4	ZD-8m-3H/4	ZE-8m-3H/4
ZC-8m-H/2	ZD-8m-H/2	ZE-8m-H/2
ZC-8m-H/4	ZD-8m-H/4	ZE-8m-H/4
ZC-8m-0	ZD-8m-0	ZE-8m-0
ZC-10m-H+B	ZD-10m-H+B	ZE-10m-H+B
ZC-10m-H+B/2	ZD-10m-H+B/2	ZE-10m-H+B/2
ZC-10m-H	ZD-10m-H	ZE-10m-H
ZC-10m-3H/4	ZD-10m-3H/4	ZE-10m-3H/4
ZC-10m-H/2	ZD-10m-H/2	ZE-10m-H/2
ZC-10m-H/4	ZD-10m-H/4	ZE-10m-H/4
ZC-10m-0	ZD-10m-0	ZE-10m-0

Kombinasyonların isimlendirilmesi için parametrelerin ‘-’ imgesiyle ayrımı kullanılmıştır. Sırasıyla önce zemin sınıfı sonra duvar yüksekliği sonra yer altı su seviyesi yüksekliği ile kombinasyon ismi oluşturulmuştur.

Örneğin; ZE zemin sınıfı 4 metre yükseklikteki duvarın yer altı su seviyesi duvarın yarısına denk geldiği tasarım ifade edilmek istendiği zaman ‘ZE-4m-H/2’ kombinasyonu kullanılmıştır.

4.5. Duvar Parametreleri ve Ön Boyutlandırma

Her zemin tipinde olmak üzere yükseklikleri; 4 metre, 6 metre, 8 metre ve 10 metre olmak üzere 4 farklı tipte duvar kullanılmıştır. Her bir zemin sınıfı için kendi parametreleri kullanılarak yer altı su seviyesinin etkisinin olmadığı durumlar için duvar iç ve dış stabilitesini sağlayan duvar boyutları elde edilerek optimize edilmiştir. Duvar yüksekliğinin 8m ve 10m olduğu durumlarda duvar stabilitesinin sağlanabilmesi için dış ilavesi yapılmıştır. Şekil 15’ te verilen dayanma duvarına ait ölçüler Tablo 4’te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 15. İstinat duvarı genel şekli

Şekil 15 ve Tablo 4'te; H, duvar yüksekliği, XX, temel yüksekliği, V_1 , ön ampatman genişliği, V_2 , arka ampatman genişliği, K_1 , duvar üst kalınlığı, K_2 , duvar alt kalınlığı, A, topuk genişliği, B, topuk yüksekliğini göstermektedir.

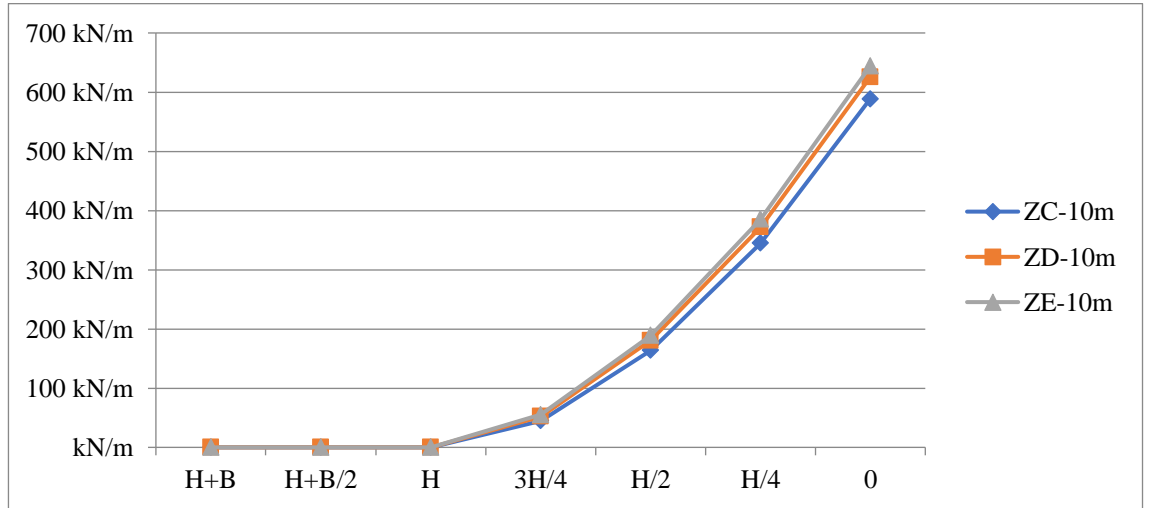
Tablo 4. Dayanma duvarı boyutlar tablosu

	Boyutlar							
	H(m)	XX(m)	V_1 (m)	V_2 (m)	K_1 (m)	K_2 (m)	A(m)	B(m)
ZE-4m	3,6	0,4	0,5	1,1	0,2	0,4	-	-
ZE-6m	5,4	0,6	0,7	2,5	0,3	0,6	-	-
ZE-8m	7,3	0,7	1,2	3,7	0,3	0,7	0,7	1,3
ZE-10m	9,2	0,8	2,4	6	0,3	0,7	0,8	1,6
ZD-4m	3,6	0,4	0,5	1	0,2	0,4	-	-
ZD-6m	5,5	0,5	0,6	2,35	0,25	0,55	-	-
ZD-8m	7,4	0,6	1	3,5	0,3	0,7	0,7	0,9
ZD-10m	9,2	0,8	2	4,4	0,3	0,8	0,8	1,4
ZC-4m	3,6	0,4	0,4	1,1	0,2	0,35	-	-
ZC-6m	5,5	0,5	0,6	2,05	0,2	0,45	-	-
ZC-8m	7,4	0,6	1,2	2,8	0,25	0,6	0,6	0,7
ZC-10m	9,2	0,8	2,2	3,3	0,3	0,75	0,9	1

5. ANALİZ SONUÇLARI

Her bir zemin sınıfı ve her bir duvar yüksekliği için oluşturulan toplam 12 modelin her biri için 7 adet yer altı su seviyesine göre Tablo 3' te verilen kombinasyonlara göre analiz yapılmıştır. Analize yer altı su seviyesinin temelin H+B kadar altında olduğu durumdan başlanarak kademeli olarak yükseltilmiştir. Yer altı su seviyesi H+B seviyesinden sırasıyla; H+B/2, H, 3H/4, H/2, H/4 ve yer altı su seviyesinin duvarın en tepe noktasına geldiği durum olan '0' için çözümlenmiştir. Analiz sonucunda dış stabilite için; devrilme tahkiki, kayma tahkiki, temel taşıma kapasitesi, maksimum toplam eksantrisite, temel oturması ve şev stabilitesi (toptan göçme) tahkiki sonuçları elde edilmiştir. İç stabilite için; duvar arkası, ampatman alt, ampatman üst ve temel için ayrı ayrı moment ve kesme kuvvetleri hem kapasite hem de oluşan yük olarak belirlenmiştir.

İlk olarak yanal su basıncının (F_{yx}) yer altı su seviyesi etkisine göre değişimini anlamak için her bir zemin sınıfında olmak üzere 10 metre yüksekliğe sahip duvarlarda yanal su basıncı hesabı yapılarak Şekil 16 elde edilmiştir.



Şekil 16. Yanal su basıncının yer altı su seviyesi etkisine göre değişimi

Şekil 16'da incelendiği zaman, su seviyesinin H seviyesi (temel taban kotu) üzerine çıkmasıyla birlikte; ZC zemin sınıfında maksimum 588,80 kN/m, ZD zemin sınıfında

625,60 kN/m ve ZE zemin sınıfında 644,00 kN/m yanal su etkisi olduğu hesaplanmıştır. Bu sonuç zemin sınıfı görece kötüleştiğinde yanal su etkisinin arttığını da göstermektedir.

5.1. Dış Stabilite Sonuçları

Dış stabilite sonuçları sırasıyla; devrilme, kayma, temel taşıma kapasitesi, maksimum toplam eksantrisite, temel oturması, şev stabilite tahkiki (toptan göçme) olarak verilmiştir. Devrilme, kayma, temel taşıma kapasitesi ve toptan göçme sonuçları güvenlik katsayısı cinsinden elde edilmiştir. Oturma miktarı ve eksantrisite ise mm cinsinden sonuçlandırılmıştır. Sonuç tablolarında güvenlik katsayısı ile güvenli olarak sonuçlanan veriler yeşil renkte güvenli olmayan veriler ise kırmızı renkte gösterilmiştir.

GEO5 programının yazılım sınırları dolayısıyla ‘BELİRENEMEDİ’ veya ‘100.000kNm’ gibi sonuçlar elde etmek mümkündür. Bu sebeple elde edilen bu sonuçlar her ne kadar tablolarda programın çıktısını aynen işlenmiş olsa da grafik oluşturulurken sonuçlar optimize edilerek grafiğin bazı noktalarda pik yapması engellenmiştir. Dış stabilite sonuçları olarak devrilme güvenlik katsayısı (F_d), kayma güvenlik katsayısı (F_k), temel taşıma kapasitesi (F_{qu}), eksantrisite (e), oturma miktarı (ΔH) ve toptan göçme güvenlik sayısı (F_{tg}) verilmiştir. Tabloda görülen sonuçlardan yeşil renkli olanlar kabul edilebilir sınır içerisinde olan sonuçlar, kırmızı renkli olanlar ise kabul edilebilir sınırın dışına çıkan sonuçlardır. Koyu kırmızı olan renkte “BEL.” Sonuçları ise GEO5 programının, güvenlik katsayısı olarak sıfır sonucuna çok yaklaşması veya kapasite olarak %10000 seviyesini aşması sonucu “BELİRENEMEYEN (BEL)” olarak verilen sonuçlarıdır.

5.1.1. ZC Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları

ZC Zemin sınıfına ait dış stabilite sonuçları Tablo 5’te verilmiştir. ZC zemin sınıfı için dış stabilite sonuçlarını değerlendirecek olursak; 4 m ve 6 m yüksekliğe sahip duvarların, su seviyesinin 3H/4 seviyesine geldiğinde stabiliteyi kaybettiği, 8 m ve 10 m yüksekliğe sahip duvarların ise su seviyesinin H yüksekliğe yani temel tabanına ulaştığında dış stabilitenin bozulduğu net bir şekilde görülmektedir.

Tablo 5. ZC Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları

	F _d	F _k	F _{qu}	e	ΔH(mm)	F _{tg}
ZC-4m-H+B	1,55	5,81	2,98	0,287	0,8	4,89
ZC-4m-H+B/2	1,55	5,81	2,97	0,287	0,8	4,63
ZC-4m-H	1,55	5,81	2,97	0,287	0,9	4,35
ZC-4m-3H/4	1,35	3,52	2,2	0,345	BEL.	4,14
ZC-4m-H/2	1,09	1,1	0,64	0,449	BEL.	3,96
ZC-4m-H/4	0,78	0,32	0	0,657	BEL.	3,71
ZC-4m-0	0,5	0,18	0	1,059	BEL.	3,41
ZC-6m-H+B	1,8	1,7	1,56	0,236	1,5	3,29
ZC-6m-H+B/2	1,8	1,7	1,56	0,236	1,6	3,24
ZC-6m-H	1,8	1,7	1,56	0,236	1,6	3,22
ZC-6m-3H/4	1,56	1,3	1,15	0,287	1,7	3,18
ZC-6m-H/2	1,26	0,72	0,47	0,38	BEL.	3,05
ZC-6m-H/4	0,9	0,2	0	0,563	BEL.	2,81
ZC-6m-0	0,57	0,13	0	0,923	BEL.	2,44
ZC-8m-H+B	2,22	1,68	1,52	0,179	3,5	2,63
ZC-8m-H+B/2	2,22	1,68	1,52	0,179	3,6	2,63
ZC-8m-H	2,19	1,66	1,46	0,183	3,8	2,59
ZC-8m-3H/4	1,9	1,26	1,1	0,227	3,7	2,54
ZC-8m-H/2	1,55	0,77	0,52	0,305	4	2,43
ZC-8m-H/4	1,12	0,3	0,05	0,45	BEL.	2,23
ZC-8m-0	0,71	0,13	0	0,708	BEL.	1,95
ZC-10m-H+B	2,5	1,51	1,5	0,131	4,1	2,22
ZC-10m-H+B/2	2,5	1,51	1,5	0,131	4,2	2,22
ZC-10m-H	2,46	1,49	1,43	0,137	4,6	2,18
ZC-10m-3H/4	2,14	1,16	1,07	0,177	4,1	2,13
ZC-10m-H/2	1,75	0,76	0,51	0,252	4,4	2,03
ZC-10m-H/4	1,27	0,36	0,06	0,387	BEL.	1,86
ZC-10m-0	0,81	0,13	0	0,625	BEL.	1,62

4 m ve 6 m lik duvarlar için; su seviyesinin 3H/4 seviyesinde olduğu durumda 4 m lik duvarda yalnızca devrilme güvenlik katsayısı ve eksantrisite, 6 m lik duvarda ise yalnızca kayma güvenlik katsayısı ve temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı sorunu ortaya çıkarken, su seviyesinin H/2 seviyesine ulaştığında her iki duvarda da toptan göçme güvenlik katsayısı hariç tüm parametrelerde sorun yaşandığı görülmüştür.

8 m ve 10 m lik duvarlar için ise başlangıç ebatlarının görece yüksek olması sebebiyle su seviyesi H/4 seviyesine ulaşıncaya kadar yalnızca kayma güvenlik katsayısı ve temel

taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı sorunu olduğunu, H/4 seviyesinden sonra toptan göçme güvenlik katsayısı hariç diğer tüm parametrelerde sorun yaşandığını görülmüştür.

5.1.2. ZD Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları

ZD Zemin sınıfına ait dış stabilite sonuçları Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6. ZD Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları

	F _d	F _k	F _{qu}	e	ΔH(mm)	F _{tg}
ZD-4m-H+B	1,56	2,8	2,14	0,277	0,8	4,11
ZD-4m-H+B/2	1,56	2,8	2,14	0,277	0,8	4,11
ZD-4m-H	1,56	2,8	2,14	0,277	0,8	3,97
ZD-4m-3H/4	1,36	1,88	1,54	0,335	BEL.	3,79
ZD-4m-H/2	1,11	0,7	0,47	0,439	BEL.	3,62
ZD-4m-H/4	0,81	0,19	BEL.	0,643	BEL.	3,4
ZD-4m-0	0,52	0,12	0	1,033	BEL.	3,12
ZD-6m-H+B	2,29	1,67	1,54	0,171	2,4	2,75
ZD-6m-H+B/2	2,29	1,67	1,54	0,171	2,4	2,75
ZD-6m-H	2,29	1,67	1,54	0,171	2,4	2,73
ZD-6m-3H/4	1,98	1,38	1,25	0,211	2,4	2,69
ZD-6m-H/2	1,6	0,91	0,71	0,285	2,4	2,69
ZD-6m-H/4	1,15	0,35	0,1	0,428	BEL.	2,39
ZD-6m-0	0,72	0,11	0	0,707	BEL.	2,08
ZD-8m-H+B	2,98	1,85	1,53	0,128	4	2,25
ZD-8m-H+B/2	2,98	1,85	1,53	0,128	4	2,25
ZD-8m-H	2,93	1,84	1,48	0,134	4,4	2,21
ZD-8m-3H/4	2,55	1,4	1,23	0,167	3,8	2,17
ZD-8m-H/2	2,07	0,91	0,74	0,229	3,8	2,08
ZD-8m-H/4	1,49	0,48	0,21	0,34	BEL.	1,91
ZD-8m-0	0,94	0,12	0	0,538	BEL.	1,68
ZD-10m-H+B	3,6	1,74	1,51	0,078	5	1,91
ZD-10m-H+B/2	3,6	1,74	1,51	0,078	5,1	1,91
ZD-10m-H	3,53	1,74	1,45	0,084	5,5	1,88
ZD-10m-3H/4	3,07	1,33	1,25	0,113	4,8	1,84
ZD-10m-H/2	2,51	0,9	0,79	0,17	4,3	1,76
ZD-10m-H/4	1,8	0,52	0,25	0,273	5	1,6
ZD-10m-0	1,13	0,18	0	0,452	BEL.	1,4

ZD zemin sınıfı için dış stabilite sonuçlarını değerlendirecek olursak; 4 m ve 6 m yüksekliğe sahip duvarların, su seviyesinin 3H/4 seviyesine geldiğinde stabiliteyi kaybettiği, 8 m ve 10 m yüksekliğe sahip duvarların ise su seviyesinin H yüksekliğe yani temel tabanına ulaştığında dış stabilitenin bozulduğu net bir şekilde görülmektedir.

4 m lik ve 6 m lik duvarlar için; su seviyesinin 3H/4 seviyesinde olduğu durumda 4 m lik duvarda yalnızca devrilme güvenlik katsayısı ve eksantiriste, 6 m lik duvarda ise yalnızca kayma güvenlik katsayısı ve temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı sorunu ortaya çıkarken, su seviyesinin H/2 seviyesine ulaştığında 4 m lik duvarda, H/4 seviyesine ulaştığında ise 6 m lik duvarda toptan göçme güvenlik katsayısı hariç tüm parametrelerde sorun yaşandığını gözlemliyoruz.

8 m lik ve 10 m lik duvarlar için ise başlangıç ebatlarının görece yüksek olması sebebiyle su seviyesi H/4 ve 0 seviyesine ulaşmaya kadar yalnızca kayma güvenlik katsayısı ve temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı sorunu olduğunu, H/4 ve seviyesinde toptan göçme güvenlik katsayısı hariç diğer tüm parametrelerde sorun yaşandığını gözlemleyebiliriz.

5.1.3. ZE Zemin Sınıfı İçin Dış Stabilite Sonuçları

ZE Zemin sınıfına ait dış stabilite sonuçları Tablo 7’de verilmiştir.

ZE zemin sınıfı için dış stabilite sonuçlarını değerlendirecek olursak; 4 m ve 6 m yüksekliğe sahip duvarların, su seviyesinin 3H/4 seviyesine geldiğinde stabiliteyi kaybettiği, 8 m ve 10 m yüksekliğe sahip duvarların ise su seviyesinin H yüksekliğe yani temel tabanına ulaştığında dış stabilitenin bozulduğu net bir şekilde görülmektedir.

ZE zemin sınıfının görece daha kötü sonuçlara sahip olması ve bu nedenle başlangıç ebatlarının çok daha yüksek olması sebebiyle duvar yüksekliği arttıkça bazı parametrelerde (su seviyesi yükseldikçe) sorun çıkma olasılığı azalmaktadır. Örneğin ZE zemin sınıfı içerisinde olmak üzere; 4 m yüksekliğe sahip duvar 3H/4 seviyesinde devrilme güvenlik katsayısı 1,5 değerinin altına düşerken, 10 m yüksekliğe sahip duvar 0 su yüksekliği seviyesinde dahi 1,82 devrilme güvenlik katsayısına sahip olmaktadır. Bunun sebebi ise 10 m lik duvarın başlangıçta sahip olduğu devrilme güvenlik katsayısının 5,9 olmasıdır.

Tablo 7. ZE Zemin sınıfı için dış stabilite sonuçları

	F _d	F _k	F _{qu}	e	ΔH(mm)	F _{tg}
ZE-4m-H+B	1,7	1,93	1,65	0,245	0,7	3,41
ZE-4m-H+B/2	1,7	1,93	1,65	0,245	0,7	3,41
ZE-4m-H	1,7	1,93	1,64	0,245	0,8	3,4
ZE-4m-3H/4	1,48	1,42	1,22	0,299	0,8	3,37
ZE-4m-H/2	1,21	0,69	0,49	0,394	BEL.	3,25
ZE-4m-H/4	0,88	0,15	BEL.	0,581	BEL.	3,04
ZE-4m-0	0,56	0,1	0	0,94	BEL.	2,78
ZE-6m-H+B	2,73	1,68	1,53	0,128	1,4	2,36
ZE-6m-H+B/2	2,73	1,68	1,53	0,128	1,5	2,36
ZE-6m-H	2,73	1,68	1,53	0,128	1,5	2,35
ZE-6m-3H/4	2,37	1,42	1,31	0,161	1,4	2,32
ZE-6m-H/2	1,92	1	0,85	0,225	1,4	2,23
ZE-6m-H/4	1,37	0,5	0,24	0,347	BEL.	2,06
ZE-6m-0	0,87	0,11	0	0,583	BEL.	1,8
ZE-8m-H+B	3,68	2,02	1,51	0,098	4,1	1,97
ZE-8m-H+B/2	3,68	2,02	1,51	0,098	4,1	1,97
ZE-8m-H	3,58	2,01	1,45	0,105	4,5	1,93
ZE-8m-3H/4	3,13	1,47	1,25	0,134	3,9	1,89
ZE-8m-H/2	2,55	0,94	0,81	0,189	3,7	1,81
ZE-8m-H/4	1,83	0,52	0,31	0,287	4,2	1,67
ZE-8m-0	1,15	0,18	0,01	0,455	BEL.	1,47
ZE-10m-H+B	5,9	2,02	1,5	0,011	5,5	1,63
ZE-10m-H+B/2	5,9	2,02	1,5	0,011	5,7	1,63
ZE-10m-H	5,79	2,03	1,45	0,016	6,2	1,58
ZE-10m-3H/4	5,04	1,57	1,33	0,034	5,3	1,54
ZE-10m-H/2	4,09	1,09	0,99	0,075	4,5	1,47
ZE-10m-H/4	2,92	0,7	0,49	0,149	3,9	1,35
ZE-10m-0	1,82	0,37	0,06	0,28	4,7	1,19

5.1.4. Genel Değerlendirme

Tüm sonuçları yorumladığımızda öncelikle neredeyse tüm zemin sınıfları ve tüm duvar tipleri için yer altı su seviyesinin duvar zemininden H+B kadar aşağıda olması ile H+B/2 kadar aşağıda olması arasında bir fark olmadığını göstermektedir. Anlaşıyor ki kritik stabilite sorunları duvar tabanı yani H seviyesine geldiği anda başlamaktadır.

Tablolar incelendiğinde örneğin 10 m lik duvar tipinde devrilme güvenlik katsayıları incelendiğinde, ZE zemin sınıfı için tüm kombinasyonlar güvenli iken; ZD zemin sınıfında 1 kombinasyon, ZC zemin sınıfında ise 2 kombinasyonun 1.5 güvenlik katsayısının altına kaldığını görmekteyiz. Bunu ZE sınıfının daha güvenli olduğu şeklinde yorumlamak ciddi bir hata olacaktır. ZE zemin sınıfında zemin değerlerinden dolayı seçilen ilk boyutlar daha büyük olduğundan ilk kombinasyonda çıkan sonuçlar güvenlik katsayısının çok üzerindedir. Bu şekilde değerlendirmek yerine her duvar tipi için ilk ve son kombinasyona ait değerlerdeki değişim yüzdeleri ele alındığında karşımıza aşağıdaki tablolar ortaya çıkmaktadır. Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7’de bulunan değerlerin her bir parametre için en olumlu değeri ile en olumsuz değeri arasındaki değişimlerinin yüzdesel (%) olarak değerlendirilmesi ZC, ZD ve ZE zemin sınıfları için sırasıyla Tablo 8, Tablo 9 ve Tablo 10’ da verilmiştir.

Tablo 8. ZC Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri

ZC	F_d	F_k	F_{qu}	e	F_{tg}
4 m	-67,74%	-96,90%	-100,00%	268,99%	-30,27%
6 m	-68,33%	-92,35%	-100,00%	291,10%	-25,84%
8 m	-68,02%	-92,26%	-100,00%	295,53%	-25,86%
10 m	-67,60%	-91,39%	-100,00%	377,10%	-27,03%

Tablo 9. ZD Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri

ZD	F_d	F_k	F_{qu}	e	F_{tg}
4 m	-66,67%	-95,71%	-100,00%	272,92%	-24,09%
6 m	-68,56%	-93,41%	-100,00%	313,45%	-24,36%
8 m	-68,46%	-93,51%	-100,00%	320,31%	-25,33%
10 m	-68,61%	-89,66%	-100,00%	479,49%	-26,70%

Tablo 10. ZE Zemin sınıfı için dış stabilite değişim yüzdeleri

ZE	F_d	F_k	F_{qu}	e	F_{tg}
4 m	-67,06%	-94,82%	-100,00%	283,67%	-18,48%
6 m	-68,13%	-93,45%	-100,00%	355,47%	-23,73%
8 m	-68,75%	-91,09%	-99,34%	364,29%	-25,38%
10 m	-69,15%	-81,68%	-96,00%	2445,45%	-26,99%

Görüldüğü üzere devrilme güvenlik katsayısı baz alındığında değişimler yaklaşık %66-%69 arası olması sonuçların tutarlı olduğunun göstergesidir.

Her ne kadar parametrelere kombinasyonlar için ayrı ayrı değerlendirme yapmak gerekse de genel itibari ile baktığımızda yer altı su seviyesi değişiminin etkisi bakımından önem sırası vermek gerekirse sırasıyla; temel taşıma kapasitesi, eksantrisite, kayma, devrilme ve en son şev stabilitesi gelmektedir.

Toplam 84 kombinasyon içerisinde dış stabilitenin herhangi bir parametre nedeniyle; 8 m ve 10 m duvarlar için yer altı su seviyesinin H(zeminde) olduğu durumda, 4 m ve 6 m olan duvarlarda ise yer altı su seviyesinin $3H/4$ olduğu durumda bozulduğu görülmektedir.

Dış stabilite için; devrilme güvenlik katsayısı, kayma güvenlik katsayısı, temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı, maksimum toplam eksantrisite, oturma miktarı ve toptan göçme güvenlik katsayılarını; ZC, ZD ve ZE zemin sınıflarıyla birlikte değerlendirilmesiyle stabilitenin bozulduğu kritik su yüksekliği belirlenmiştir.

Şekil 17 de verilen grafik incelendiği zaman, devrilme güvenlik katsayılarında diğerlerinden ayrılan yalnızca ZE-10m verilerinin olduğunu bunun sebebinin ise yapının temel taşıma kapasitesinin çok düşük olması sebebiyle görece diğer duvarlara göre daha büyük ebatların seçilmesi sonucunda temel taşıma kapasitesi sınırda iken devrilme güvenlik katsayısının çok yüksek çıktığı görülmüştür. 'H' seviyesinden sonra oluşan azalmanın hemen hemen tüm verilerde aynı olduğu eğim açılarından da görülmektedir.

Şekil 18' de verilen kayma güvenlik katsayıları ele alındığında bir önceki grafikte ZE-10m için yapılan yorumun aynısını bu grafikte ZC-4m için yapabiliriz. Haricinde gruplaşmanın olduğu ve $3H/4$ seviyesinden itibaren verilerin %83'ünün güvenlik katsayısı altına indiği hatta $H/2$ seviyesinden itibaren verilerin %91 inin 1'in altına düştüğü yani $H/2$ seviyesinin ciddi güvenlik tehdidi oluşturarak kaymanın gerçekleştiği görülmektedir.

Şekil 19' da verilen grafiğe göre temel taşıma kapasitesi ele alındığında H seviyesinden itibaren güvenlik katsayısının altına düşmektedir. 1 in altına düşüşler ise $H/2$ seviyesinden itibaren başlamakta ve $H/4$ seviyesinde bazı duvarlarda sıfırlama görülmektedir. Sonuç olarak, kayma güvenlik katsayısı grafiğinde elde edilen $H/2$ kritik su seviyesinin temel taşıma kapasitesi içinde geçerli olduğu görülmüştür.

Şekil 20' de verilen eksantrisite için devrilmeye daha meyilli (daha hafif olduğu için) olan yüksekliği az olan duvarlar için risk taşıdığı sonucuna varılmıştır. Duvar yüksekliği, ağırlığı ve dolayısıyla temel genişliği (moment kolu) arttıkça 0,333 güvenlik katsayısı üzerine çıkışlar nispeten azalmaktadır. Bu bağlamda en yüksek temel genişliğine ve dolayısıyla en büyük moment koluna sahip olan ZE-10m duvar tipi, aynı zamanda en ağır duvar olması sebebiyle de eksantrisite olarak 0,333 katsayısının üzerine çıkmaması bu sonucu destekler niteliktedir.

GEO5 programına ait temel taşıma kapasitesi (qsınır) sonuçlarını kıyaslamak amacıyla Eşitlik 11 kullanılarak, her bir duvar çeşidi için 'H' su seviyesinde çözümleme yapıp program sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmanın sonucunda programa ait değerler ile el ile yapılan hesap değerleri arasındaki fark maksimum -0,82% olmuştur. Ortalama olarak bakıldığında ise -0,32% ortalamayla neredeyse eşit sonuçlara ulaşılmış olduğu gözükmektedir. Yapılan bu karşılaştırmaya ait tablo Ek-13'te görülebilir.

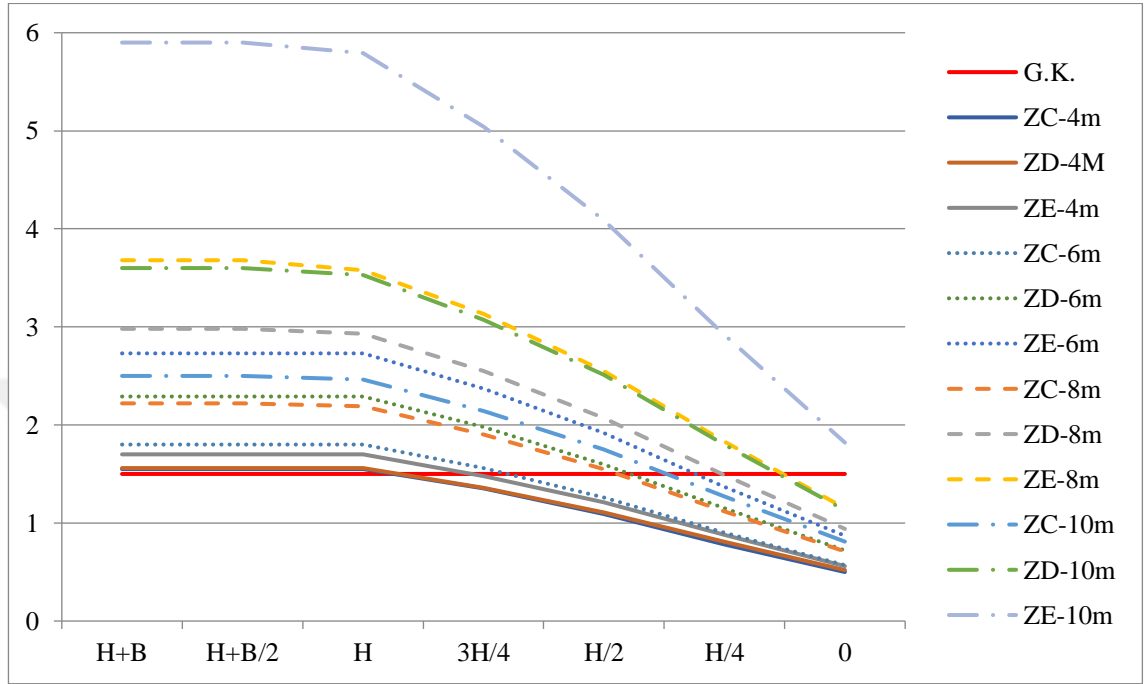
Temel oturma miktarlarıyla ilgili; yalnızca temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayılarının sıfıra yakınsaması sonucunda, 'BELİRLENEMEDİ' sonucunun elde edilmesi ve elde edilen en yüksek oturma miktarının 6 mm olması, yer altı su seviyesinin yükselmesiyle temel oturma miktarları arasında anlamlı olabilecek bir bağlantı kurulamamasına sebep olmuştur (Şekil 21).

Şekil 22' de verilen toptan göçme (şev stabilitesi) güvenlik sayısı için 1,5 güvenlik katsayısı ele alındığında ciddi risk içermediği görülmektedir. Ancak Tablo 8-9-10' da elde edilen %30,27 maksimum düşüş yüzdesi göz önüne alınıp güvenlik katsayısının bu oranda artırılarak çözüme ulaşmak daha güvenli sonuçlar doğuracaktır.

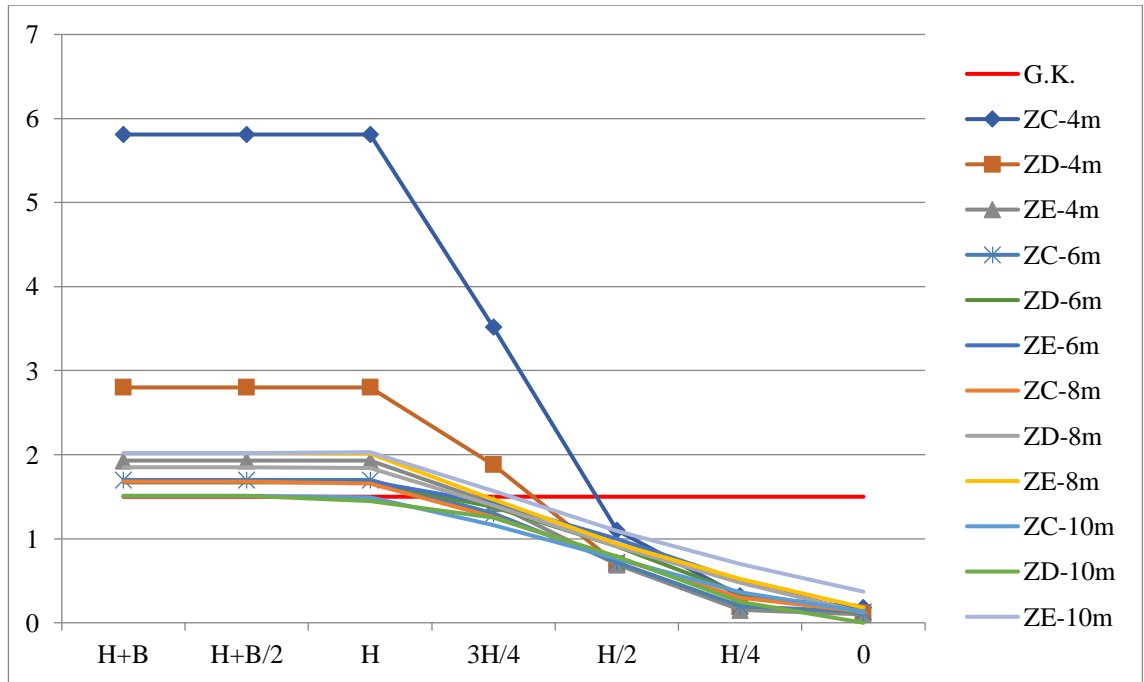
5.2. İç Stabilite Sonuçları

İç stabilite olarak her bir duvar için; duvar arka, ampatman alt, ampatman üst ve temel için ayrı ayrı olmak suretiyle, V_{RD} (kesme kapasitesi kN), V_{ED} (oluşan kesme gerilmesi kN), M_{RD} (moment kapasitesi kNm), M_{ED} (oluşan moment gerilmesi kNm) verileri elde edilip karşılaştırılmıştır. Veriler elde edilirken ebatlar ve donatı miktarları ilk çözüme

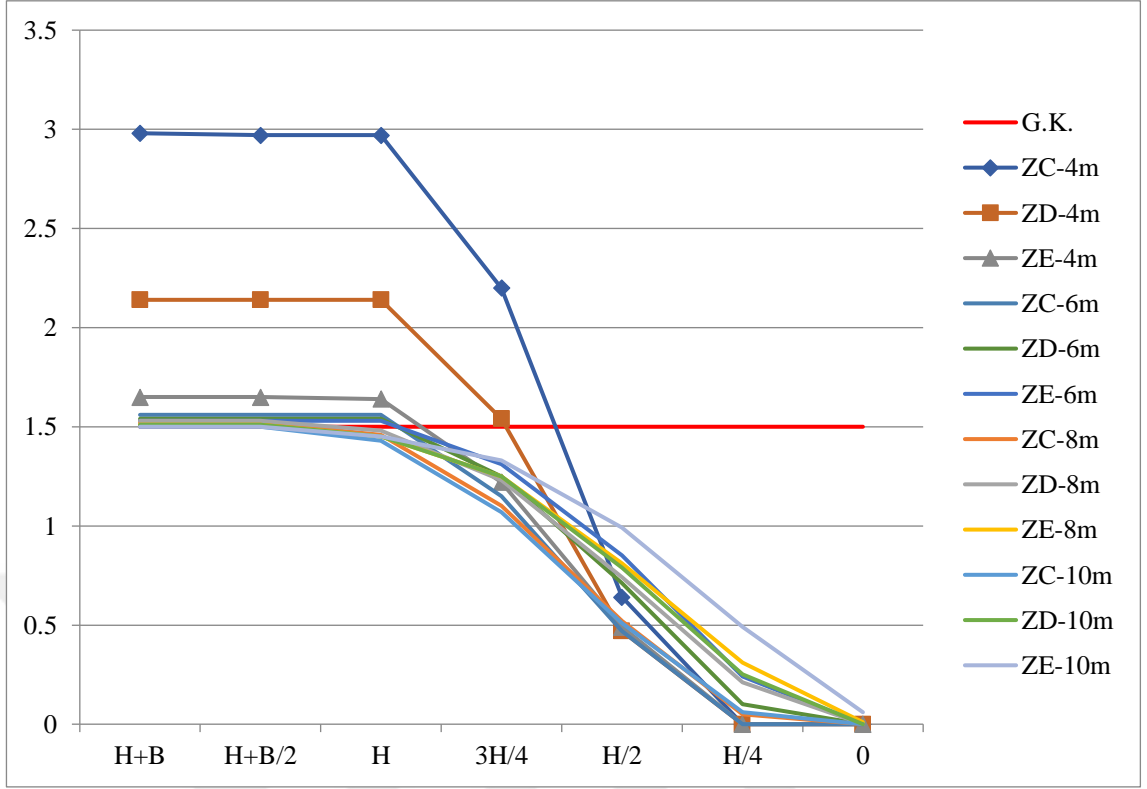
göre sabit bırakılmış olup kapasitesini aşan veriler tablolarda kırmızı, kapasite içerisinde kalan veriler ise yeşil olarak gösterilmiştir.



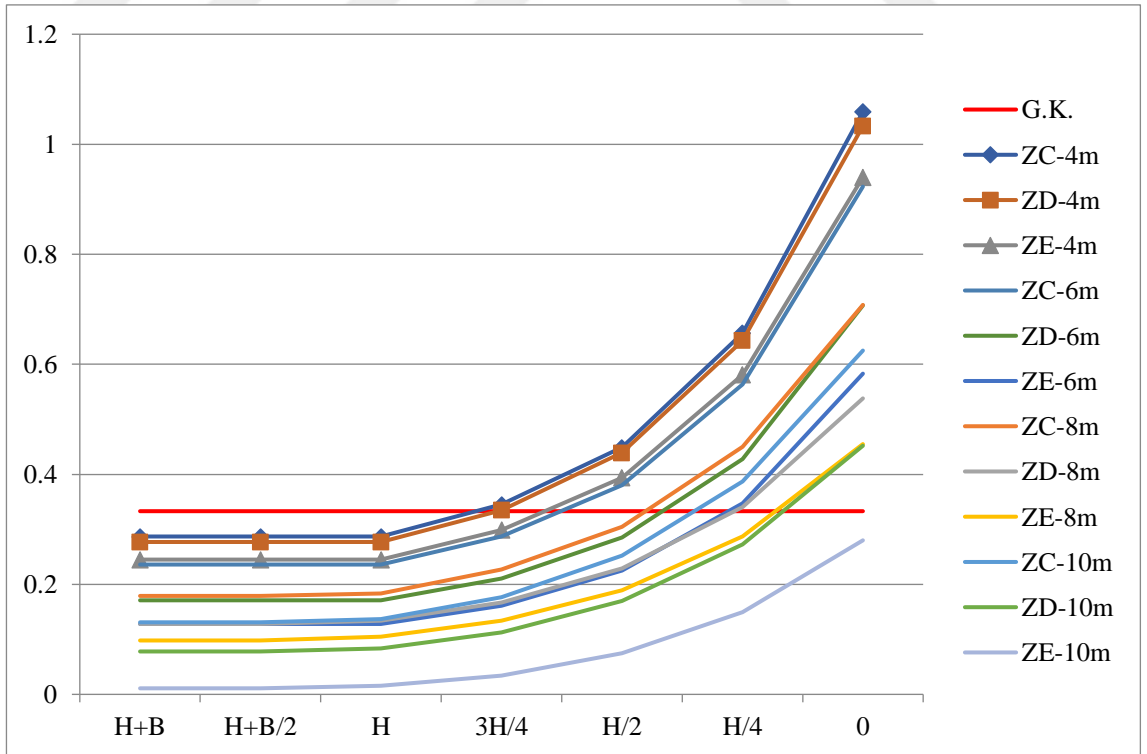
Şekil 17. Devrilme güvenlik katsayıları grafiği



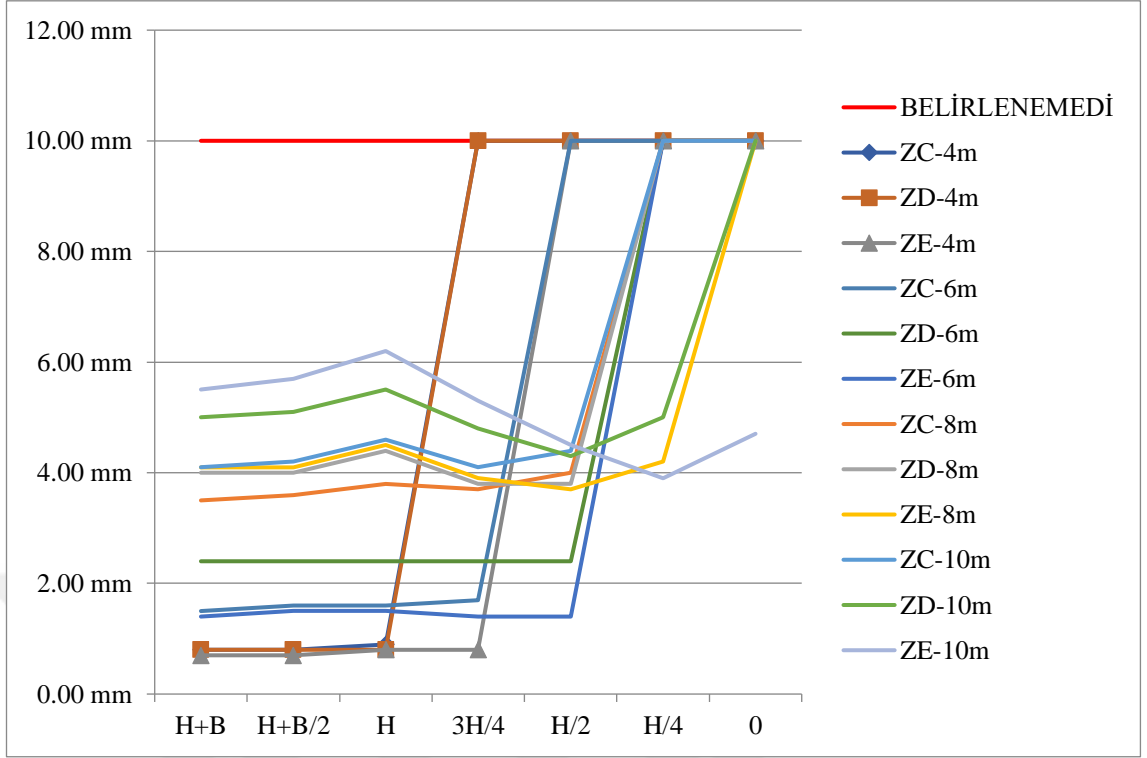
Şekil 18. Kayma güvenlik katsayıları grafiği



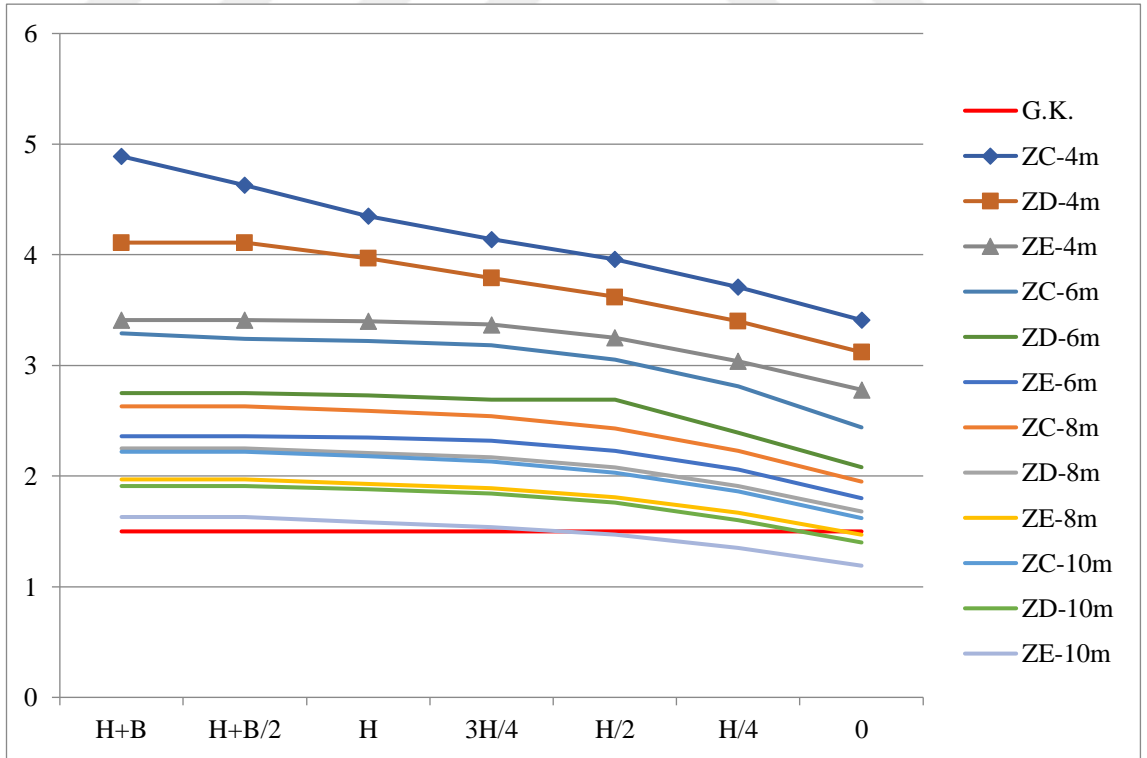
Şekil 19. Temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayıları grafiği



Şekil 20. Maksimum toplam eksantrisite grafiği



Şekil 21. Temel oturma miktarları grafiği



Şekil 22. Toptan göçme güvenlik katsayıları grafiği

5.2.1. ZC Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları

ZC zemin sınıfına ait iç stabilite sonuçları duvar arka ve ampattan alt için Tablo 11' de ve ampattan üst ve temel kritik kesitleri için Tablo 12' de verilmiştir.

Tablo 11. ZC Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1

	DUVAR ARKA				AMPATMAN ALT			
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZC-4m-H+B	132,19	56,93	71,63	67,52	146,09	60,97	80,12	13,07
ZC-4m-H+B/2	132,19	56,93	71,63	67,52	146,09	60,97	80,12	13,07
ZC-4m-H	132,19	56,93	71,63	67,52	146,09	60,97	80,12	13,07
ZC-4m-3H/4	132,19	57,89	71,63	67,71	146,09	68,39	80,12	15,13
ZC-4m-H/2	132,19	63,8	71,63	71,18	146,09	86,35	80,12	26,85
ZC-4m-H/4	132,19	75,07	71,63	83,23	146,09	3,68	80,12	99999
ZC-4m-0	132,19	91,72	71,63	109,25	146,09	3,68	80,12	99999
ZC-6m-H+B	185,25	132,91	254,4	241,37	172,34	118,09	126,2	37,17
ZC-6m-H+B/2	185,25	132,91	254,4	241,37	172,34	118,09	126,2	37,17
ZC-6m-H	185,25	132,91	254,4	241,37	172,34	118,09	126,2	37,17
ZC-6m-3H/4	185,25	135,59	254,4	242,27	172,34	124,3	126,2	39,63
ZC-6m-H/2	185,25	149,68	254,4	255,34	172,34	169,67	126,2	57,41
ZC-6m-H/4	185,25	175,87	254,4	298,63	172,34	6,9	126,2	99997
ZC-6m-0	185,25	214,14	254,4	390,26	172,34	6,9	126,2	99997
ZC-8m-H+B	259,42	240,63	612,62	587,94	258,91	249,97	603,3	158,32
ZC-8m-H+B/2	259,42	240,63	612,62	587,94	258,91	249,97	603,3	158,32
ZC-8m-H	259,42	240,63	612,62	587,94	258,91	251,22	603,3	159,25
ZC-8m-3H/4	259,42	245,88	612,62	590,39	258,91	251,85	603,3	161,27
ZC-8m-H/2	259,42	271,66	612,62	623,1	258,91	297,16	603,3	196,34
ZC-8m-H/4	259,42	318,93	612,62	728,85	258,91	389,44	603,3	383,96
ZC-8m-0	259,42	387,69	612,62	950,63	258,91	16,56	603,3	99990
ZC-10m-H+B	376,08	371,95	1679,41	1129,82	428,52	426,21	2195,89	500,23
ZC-10m-H+B/2	376,08	371,95	1679,41	1129,82	428,52	426,21	2195,89	500,23
ZC-10m-H	376,08	371,95	1679,41	1129,82	428,52	428,31	2195,89	503,61
ZC-10m-3H/4	376,08	379,7	1679,41	1134,21	428,52	416,18	2195,89	495,01
ZC-10m-H/2	376,08	419,31	1679,41	1196,11	428,52	462,02	2195,89	565,23
ZC-10m-H/4	376,08	492,5	1679,41	1399	428,52	462,02	2195,89	897,33
ZC-10m-0	376,08	599,27	1679,41	1826,85	428,52	40,48	2195,89	99955,47

Tablo 12. ZC Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2

	AMPATMAN ÜST				TEMEL	
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZC-4m-H+B	146,09	69,96	80,12	44,73	77,87	47,8
ZC-4m-H+B/2	146,09	69,96	80,12	44,73	77,87	47,8
ZC-4m-H	146,09	69,96	80,12	44,73	77,87	47,8
ZC-4m-3H/4	146,09	77,08	80,12	43,26	77,87	53,75
ZC-4m-H/2	146,09	67,76	80,12	37,27	77,87	62,83
ZC-4m-H/4	146,09	56,76	80,12	31,22	77,87	100000
ZC-4m-0	146,09	45,76	80,12	25,17	77,87	100000
ZC-6m-H+B	174,68	142,67	207,74	199,29	203,09	186,53
ZC-6m-H+B/2	174,68	142,67	207,74	199,29	203,09	186,53
ZC-6m-H	174,68	142,67	207,74	199,29	203,09	186,53
ZC-6m-3H/4	174,68	161,13	207,74	205,35	203,09	199,56
ZC-6m-H/2	174,68	185,82	207,74	191,2	203,09	230,39
ZC-6m-H/4	174,68	155,8	207,74	159,7	203,09	100000
ZC-6m-0	174,68	125,05	207,74	128,18	203,09	100000
ZC-8m-H+B	240,35	231,51	488,74	428,95	535,96	480,46
ZC-8m-H+B/2	240,35	231,51	488,74	428,95	535,96	480,46
ZC-8m-H	240,35	237,01	488,74	437,96	535,96	508,42
ZC-8m-3H/4	240,35	256,44	488,74	460,67	535,96	501,24
ZC-8m-H/2	240,35	288,15	488,74	457,54	535,96	565,9
ZC-8m-H/4	240,35	281,12	488,74	393,57	535,96	748,11
ZC-8m-0	240,35	225,12	488,74	315,17	535,96	100000
ZC-10m-H+B	349,31	346,18	1272,13	677,2	889,02	882,14
ZC-10m-H+B/2	349,31	346,18	1272,13	677,2	889,02	882,14
ZC-10m-H	349,31	356,92	1272,13	698,52	889,02	943,71
ZC-10m-3H/4	349,31	379,76	1272,13	750,87	889,02	911,56
ZC-10m-H/2	349,31	405,44	1272,13	770,1	889,02	999,38
ZC-10m-H/4	349,31	416,46	1272,13	687,16	889,02	1338,79
ZC-10m-0	349,31	333,96	1272,13	551,04	889,02	100000

5.2.2. ZD Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları

ZD zemin sınıfına ait iç stabilite sonuçları duvar arka ve ampatman alt için Tablo 13' te ve ampatman üst ve temel kritik kesitleri için Tablo 14' e verilmiştir.

Tablo 13. ZD Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1

	DUVAR ARKA				AMPATMAN ALT			
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZD-4m-H+B	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	65,34	80,12	17,76
ZD-4m-H+B/2	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	65,34	80,12	17,76
ZD-4m-H	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	65,34	80,12	17,76
ZD-4m-3H/4	146,07	57,89	82,87	67,38	146,09	71,29	80,12	20,12
ZD-4m-H/2	146,07	63,8	82,87	70,85	146,09	82,52	80,12	32,28
ZD-4m-H/4	146,07	75,07	82,87	82,9	146,09	4,6	80,12	99998
ZD-4m-0	146,07	91,72	82,87	108,93	146,09	4,6	80,12	99998
ZD-6m-H+B	189,33	132,91	253,79	240,33	172,6	99,8	133,11	30,95
ZD-6m-H+B/2	189,33	132,91	253,79	240,33	172,6	99,8	133,11	30,95
ZD-6m-H	189,33	132,91	253,79	240,33	172,6	99,8	133,11	30,95
ZD-6m-3H/4	189,33	135,59	253,79	241,22	172,6	98,27	133,11	30,63
ZD-6m-H/2	189,33	149,68	253,79	254,3	172,6	112,88	133,11	35,7
ZD-6m-H/4	189,33	175,87	253,79	297,59	172,6	208,5	133,11	76,8
ZD-6m-0	189,33	214,14	253,79	389,22	172,6	6,9	133,11	99997
ZD-8m-H+B	261,52	240,63	590,66	586,07	214,47	204,63	352,26	105,64
ZD-8m-H+B/2	261,52	240,63	590,66	586,07	214,47	204,63	352,26	105,64
ZD-8m-H	261,52	240,63	590,66	586,07	214,47	205,96	352,26	106,41
ZD-8m-3H/4	261,52	245,88	590,66	588,52	214,47	200,94	352,26	104,28
ZD-8m-H/2	261,52	271,66	590,66	621,23	214,47	217,54	352,26	113,93
ZD-8m-H/4	261,52	318,93	590,66	726,99	214,47	305,28	352,26	166
ZD-8m-0	261,52	387,96	590,66	948,77	214,47	13,8	352,26	99993
ZD-10m-H+B	373,67	371,95	1602,22	1128,24	381,99	377,46	1624,23	390,91
ZD-10m-H+B/2	373,67	371,95	1602,22	1128,24	381,99	377,46	1624,23	390,91
ZD-10m-H	373,67	371,95	1602,22	1128,24	381,99	380,34	1624,23	394,58
ZD-10m-3H/4	373,67	379,7	1602,22	1132,63	381,99	367,5	1624,23	384,55
ZD-10m-H/2	373,67	419,31	1602,22	1194,53	381,99	389,22	1624,23	412,45
ZD-10m-H/4	373,67	492,5	1602,22	1397,43	381,99	479	1624,23	523,13
ZD-10m-0	373,67	599,27	1602,22	1825,28	381,99	100000	1624,23	1140,04

Tablo 14. ZD Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2

	AMPATMAN ÜST				TEMEL	
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZD-4m-H+B	146,09	68,13	80,12	37,63	77,87	45,37
ZD-4m-H+B/2	146,09	68,13	80,12	37,63	77,87	45,37
ZD-4m-H	146,09	68,13	80,12	37,63	77,87	45,37
ZD-4m-3H/4	146,09	71,43	80,12	35,8	77,87	51,21
ZD-4m-H/2	146,09	61,6	80,12	30,8	77,87	60,53
ZD-4m-H/4	146,09	51,6	80,12	25,8	77,87	100000
ZD-4m-0	146,09	41,6	80,12	20,8	77,87	100000
ZD-6m-H+B	180,84	122,69	229,55	205,09	224,41	206,79
ZD-6m-H+B/2	180,84	122,69	229,55	205,09	224,41	206,79
ZD-6m-H	180,84	122,69	229,55	205,09	224,41	206,79
ZD-6m-3H/4	180,84	134,85	229,55	220,77	224,41	210,7
ZD-6m-H/2	180,84	150,91	229,55	227,96	224,41	227,11
ZD-6m-H/4	180,84	178,6	229,55	209,86	224,41	292,39
ZD-6m-0	180,84	143,35	229,55	168,44	224,41	100000
ZD-8m-H+B	241,55	187,89	495,46	471,38	634	596,61
ZD-8m-H+B/2	241,55	187,89	495,46	471,38	634	596,61
ZD-8m-H	241,55	195,96	495,46	489,9	634	628,64
ZD-8m-3H/4	241,55	212,07	495,46	534,54	634	603,66
ZD-8m-H/2	241,55	222,47	495,46	569,41	634	631,86
ZD-8m-H/4	241,55	301,28	495,46	601,74	634	785,27
ZD-8m-0	241,55	281,4	495,46	492,45	634	100000
ZD-10m-H+B	297,12	293,51	805,98	788,94	1164,55	1128,61
ZD-10m-H+B/2	297,12	293,51	805,98	788,94	1164,55	1128,61
ZD-10m-H	297,12	308,07	805,98	829,39	1164,55	1201,08
ZD-10m-3H/4	297,12	335,74	805,98	920,23	1164,55	1148,06
ZD-10m-H/2	297,12	340,58	805,98	996,29	1164,55	1190,65
ZD-10m-H/4	297,12	409,52	805,98	1119,65	1164,55	1401,6
ZD-10m-0	297,12	445,28	805,98	979,62	1164,55	2038,83

5.2.3. ZE Zemin Sınıfı İçin İç Stabilite Sonuçları

ZE zemin sınıfına ait iç stabilite sonuçları duvar arka ve ampattan alt için Tablo 15' te ve ampattan üst ve temel kritik kesitleri için Tablo 16' da verilmiştir.

Tablo 15. ZE Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-1

	DUVAR ARKA				AMPATMAN ALT			
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZE-4m-H+B	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	60,26	80,12	16,12
ZE-4m-H+B/2	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	60,26	80,12	16,12
ZE-4m-H	146,07	56,93	82,87	67,19	146,09	60,26	80,12	16,12
ZE-4m-3H/4	146,07	57,89	82,87	67,38	146,09	63,57	80,12	17,37
ZE-4m-H/2	146,07	63,8	82,87	70,85	146,09	84,12	80,12	25,87
ZE-4m-H/4	146,07	75,07	82,87	82,9	146,09	4,6	80,12	99998
ZE-4m-0	146,07	91,72	82,87	108,93	146,09	4,6	80,12	99998
ZE-6m-H+B	198,39	128,12	242,19	226,84	198,4	99,73	202,3	36,02
ZE-6m-H+B/2	198,39	128,12	242,19	226,84	198,4	99,73	202,3	36,02
ZE-6m-H	198,39	128,12	242,19	226,84	198,4	99,73	202,3	36,02
ZE-6m-3H/4	198,39	130,29	242,19	227,49	198,4	95,59	202,3	34,68
ZE-6m-H/2	198,39	143,58	242,19	239,2	198,4	102,19	202,3	37,41
ZE-6m-H/4	198,39	168,95	242,19	279,91	198,4	147,55	202,3	56,26
ZE-6m-0	198,39	206,42	242,19	367,75	198,4	9,66	202,3	99996
ZE-8m-H+B	259,62	234,17	579,34	562,51	222,99	218,68	296,59	135,29
ZE-8m-H+B/2	259,62	234,17	579,34	562,51	222,99	218,68	296,59	135,29
ZE-8m-H	259,62	234,17	579,34	562,51	222,99	220,72	296,59	136,77
ZE-8m-3H/4	259,62	238,7	579,34	564,47	222,99	214,14	296,59	133,42
ZE-8m-H/2	259,62	263,4	579,34	594,66	222,99	227,9	296,59	142,78
ZE-8m-H/4	259,62	309,59	579,34	695,74	222,99	287,63	296,59	184,97
ZE-8m-0	259,62	377,28	579,34	910,7	222,99	363,01	296,59	460,48
ZE-10m-H+B	376,1	371,95	1728,92	1131,32	349,31	348,51	1272,13	420,87
ZE-10m-H+B/2	376,1	371,95	1728,92	1131,32	349,31	348,51	1272,13	420,87
ZE-10m-H	376,1	371,95	1728,92	1131,32	349,31	351,92	1272,13	425,95
ZE-10m-3H/4	376,1	379,7	1728,92	1135,71	349,31	331,54	1272,13	404,93
ZE-10m-H/2	376,1	419,31	1728,92	1197,61	349,31	343,33	1272,13	425,87
ZE-10m-H/4	376,1	492,5	1728,92	1400,51	349,31	381,58	1272,13	482,15
ZE-10m-0	376,1	599,27	1728,92	1828,36	349,31	499,5	1272,13	653,83

Tablo 16. ZE Zemin sınıfı için iç stabilite sonuçları-2

	AMPATMAN ÜST				TEMEL	
	V _{RD}	V _{ED}	M _{RD}	M _{ED}	M _{RD}	M _{ED}
ZE-4m-H+B	146,09	65,35	80,12	42,76	77,87	46,86
ZE-4m-H+B/2	146,09	65,35	80,12	42,76	77,87	46,86
ZE-4m-H	146,09	65,35	80,12	42,76	77,87	46,86
ZE-4m-3H/4	146,09	71,98	80,12	42,62	77,87	51,51
ZE-4m-H/2	146,09	67,76	80,12	37,27	77,87	60,92
ZE-4m-H/4	146,09	56,76	80,12	31,22	77,87	100000
ZE-4m-0	146,09	45,76	80,12	25,17	77,87	100000
ZE-6m-H+B	198,4	114,16	202,3	193,32	237,38	213,79
ZE-6m-H+B/2	198,4	114,16	202,3	193,32	237,38	213,79
ZE-6m-H	198,4	114,16	202,3	193,32	237,38	213,79
ZE-6m-3H/4	198,4	127,76	202,3	215,36	237,38	215,73
ZE-6m-H/2	198,4	134,32	202,3	229,58	237,38	221,27
ZE-6m-H/4	198,4	177,89	202,3	239,59	237,38	272,95
ZE-6m-0	198,4	156	202,3	195	237,38	100000
ZE-8m-H+B	236,46	171,34	440,14	437,45	639,22	629,95
ZE-8m-H+B/2	236,46	171,34	440,14	437,45	639,22	629,95
ZE-8m-H	236,46	183,34	440,14	466,33	639,22	670,59
ZE-8m-3H/4	236,46	203,49	440,14	521	639,22	640,96
ZE-8m-H/2	236,46	205,13	440,14	561,83	639,22	662,27
ZE-8m-H/4	236,46	255,8	440,14	629,3	639,22	783,26
ZE-8m-0	236,46	302,66	440,14	559,92	639,22	1114,82
ZE-10m-H+B	297,12	245,34	805,98	777,54	1848,4	1454,86
ZE-10m-H+B/2	297,12	245,34	805,98	777,54	1848,4	1454,86
ZE-10m-H	297,12	262,43	805,98	844,48	1848,4	1549,39
ZE-10m-3H/4	297,12	298,53	805,98	1006,16	1848,4	1446,53
ZE-10m-H/2	297,12	292,64	805,98	1094,75	1848,4	1460,88
ZE-10m-H/4	297,12	311,76	805,98	1314,2	1848,4	1563,6
ZE-10m-0	297,12	409,3	805,98	1630,68	1848,4	1910,34

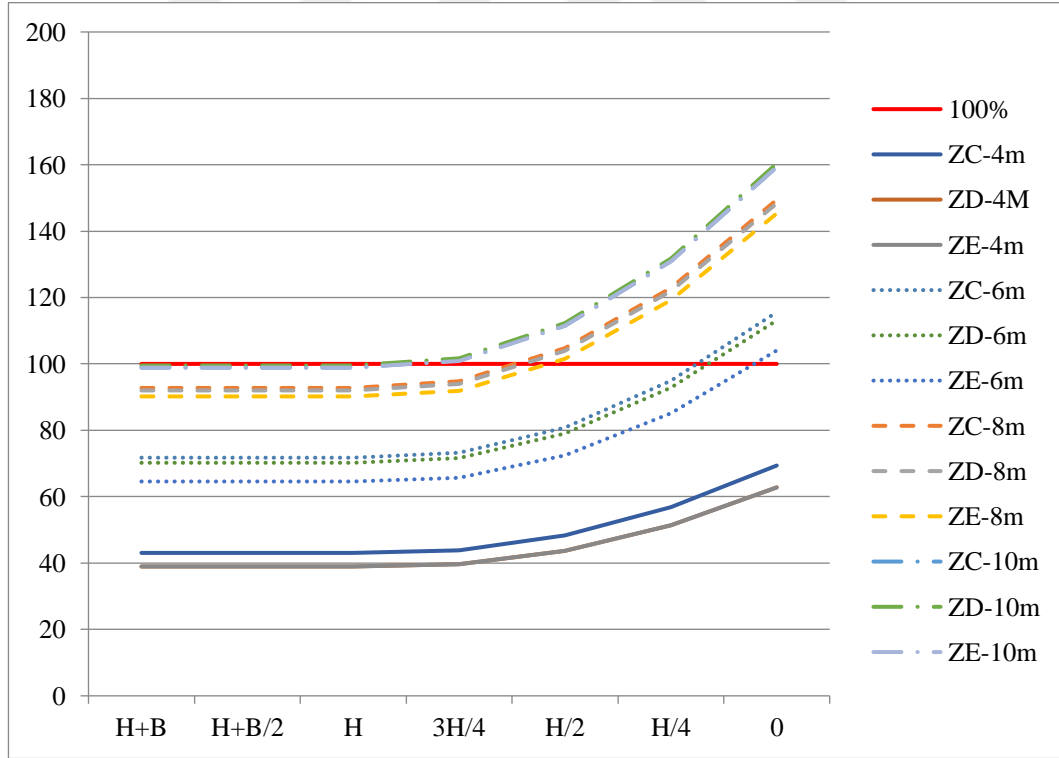
5.2.4. Genel Değerlendirme

Çıkan sonuçları yorumladığımızda öncelikle neredeyse tüm zemin sınıfları ve tüm duvar tipleri için yer altı su seviyesinin duvar zemininden H+B kadar aşağıda olması ile H+B/2 kadar aşağıda olması arasında bir fark olmadığını göstermektedir. Oluşan gerilmeleri kapasite yüzdesi olarak değerlendirdiğimizde ise verilerin H/2 ve H/4

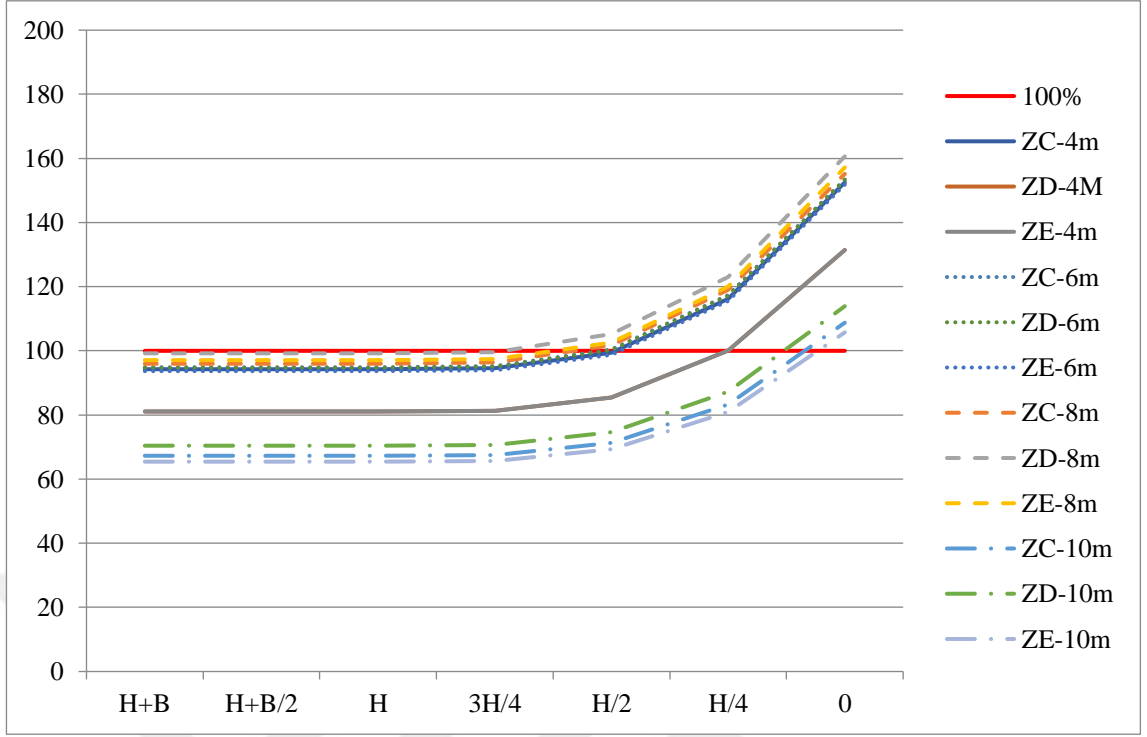
seviyelerinde %100 kapasiteyi aştığı görülmektedir. Anlaşıyor ki kritik stabilite sorunları duvar tabanı yani H seviyesine geldiği anda başlamaktadır.

Tablolar incelendiğinde iç stabilite sorunlarının duvar yüksekliği arttıkça daha düşük yer altı su seviyelerinde dahi olumsuzluklar ortaya çıktığını görülmektedir. Daha düşük duvar yüksekliğine sahip örneğin 4 metrelik duvarlarda zemin sınıfı fark etmeksizin iç stabilite sorunlarının H/4 seviyesinde başladığı görülmektedir. Oluşan gerilmeleri kapasite yüzdesi olarak değerlendirdiğimizde ise verilerin H/2 ve H/4 seviyelerinde %100 kapasiteyi aştığı görülmektedir.

Duvar arkası için Şekil 23' te verilen kesme kuvveti ve Şekil 24' te verilen moment kapasiteleri değerlendirilecek olursa görece duvar yüksekliği fazla olan duvarlarda kesme kuvveti kapasiteyi aşarken görece düşük yüksekliğe sahip olan duvarlar ise moment kapasitesini aşmaktadır. Her iki durum içinde kritik seviyenin H/2 olduğu söylenebilir.



Şekil 23. Duvar arka kesme kapasite oranları (%) grafiği

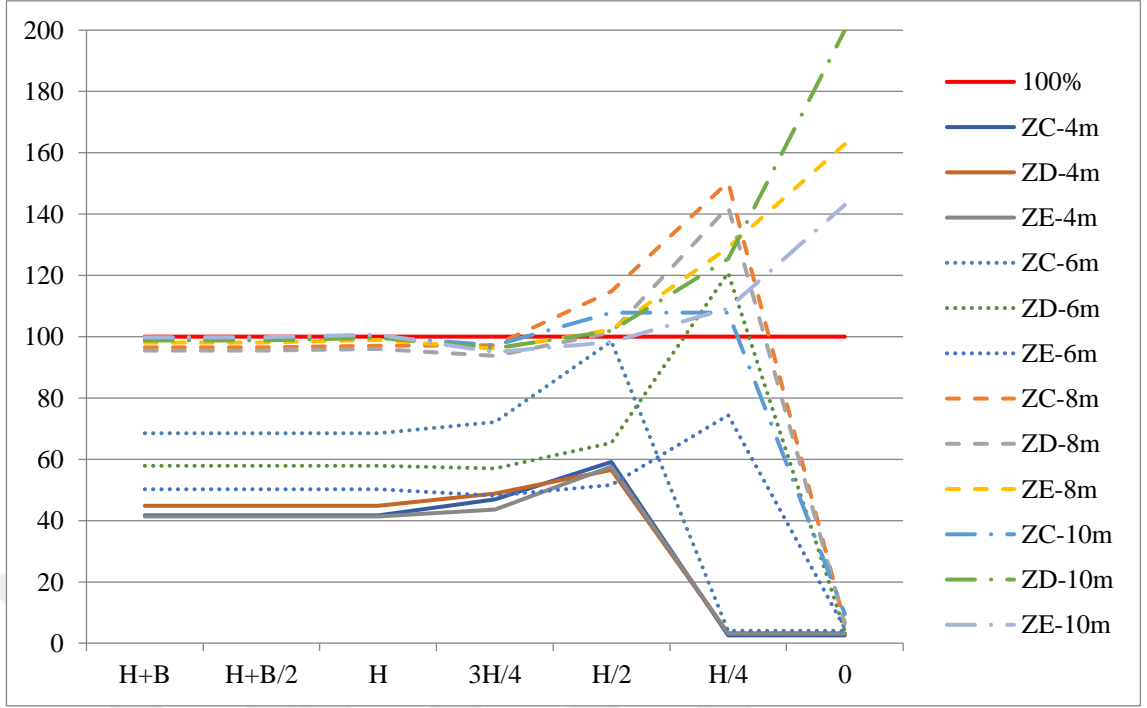


Şekil 24. Duvar arka moment kapasite oranları (%) grafiği

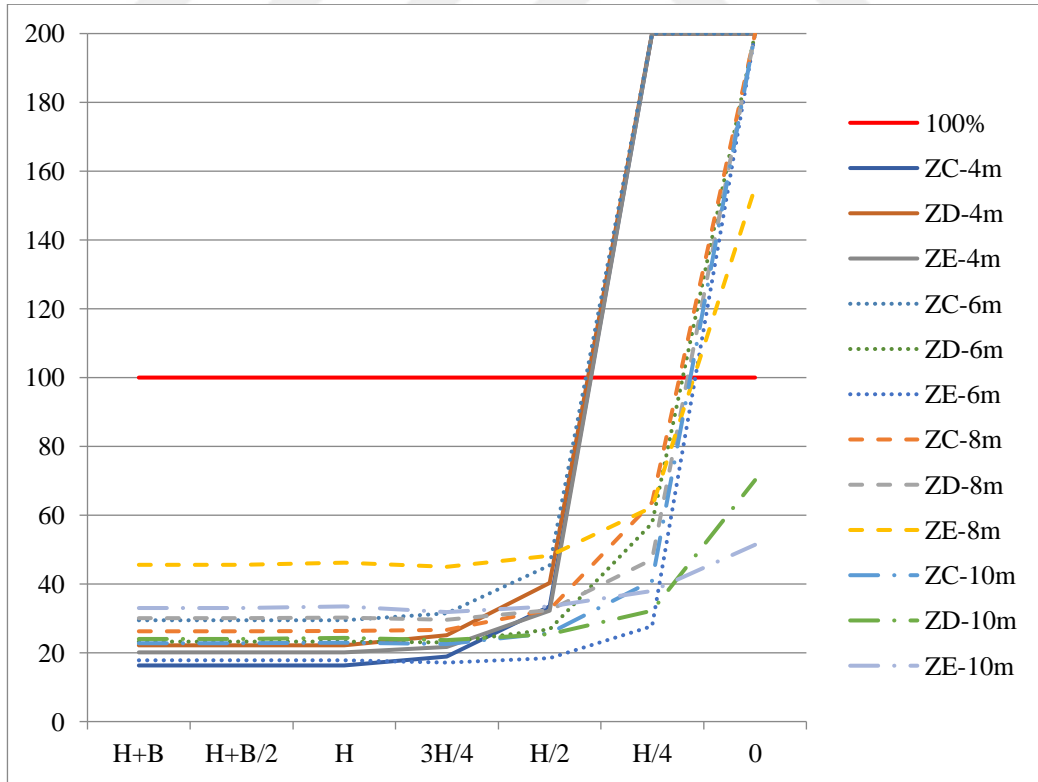
Alt ampatman kesme kapasitesi için Şekil 25 ve moment kapasitesi için Şekil 26' da verilen grafikler için değerlendirme yapılacak olursa, H/2 ve H/4 seviyelerinden sonra kesme kapasitesinin sıfırlandığını görmekteyiz. Bunun sebebinin aynı seviyelerde dış stabilitenin sıfırlaması olarak değerlendirebiliriz. Örneğin ZC-8m ait verilerin H/4 seviyesinden sonra sıfırlandığı görülmektedir. Şekil 19'a bakacak olursak ZC-8m ait temel taşıma kapasitesi verisi yine aynı seviye olan H/4 seviyesinde sıfırlanmıştır.

Şekil 27 ve Şekil 28' de verilen üst ampatman verileri incelendiğinde 4 m lik istinat duvarlarında herhangi bir sorun yaşanmazken 6 m lik duvarların yer altı su seviyesi yükseldikçe moment kapasitesini aştığı 8 ve 10 m lik duvarların ise yer altı su seviyesi yükseldikçe hem kesme kuvveti kapasitesini hem de moment kapasitesini aştığı görülmektedir.

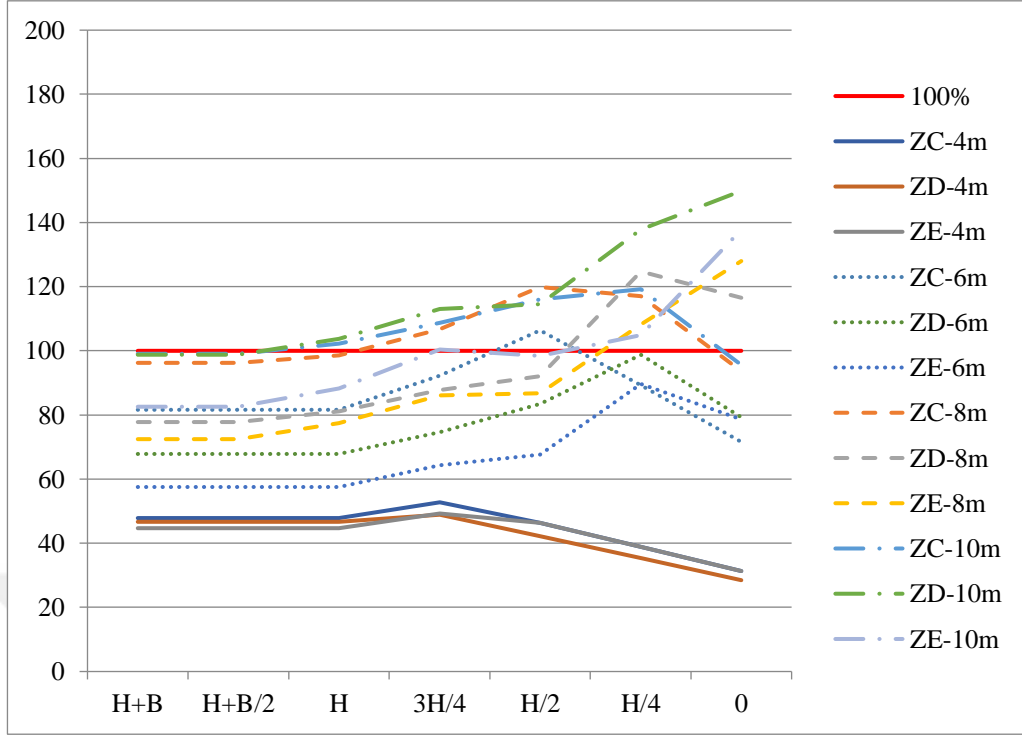
Şekil 29' da verilen temel moment kapasitesi incelendiğinde yer altı su seviyesinin H/2 olduğu alandan sonra %100 kapasiteyi aştığı görülmektedir. Bu durum Şekil 19'da verilen verilerin 1 in altına düştüğü seviye olan H/2 seviyesindeki davranışa benzer olarak güvenlik sorunu yarattığını göstermektedir.



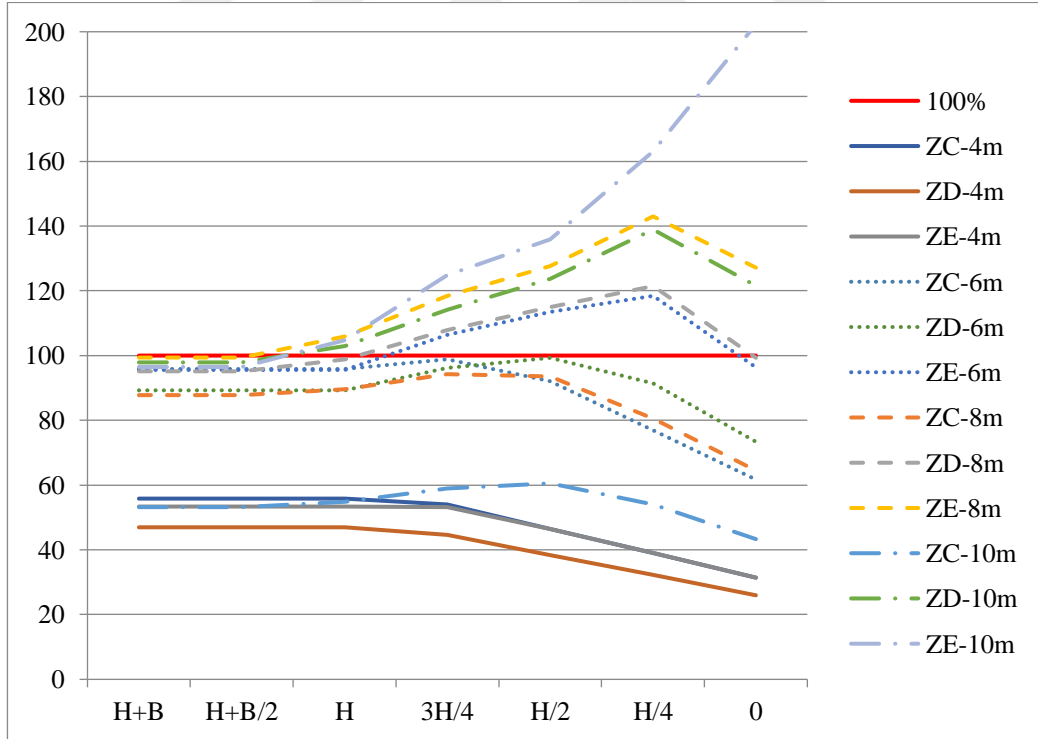
Şekil 25. Ampatman alt kesme kapasite oranları (%) grafiği



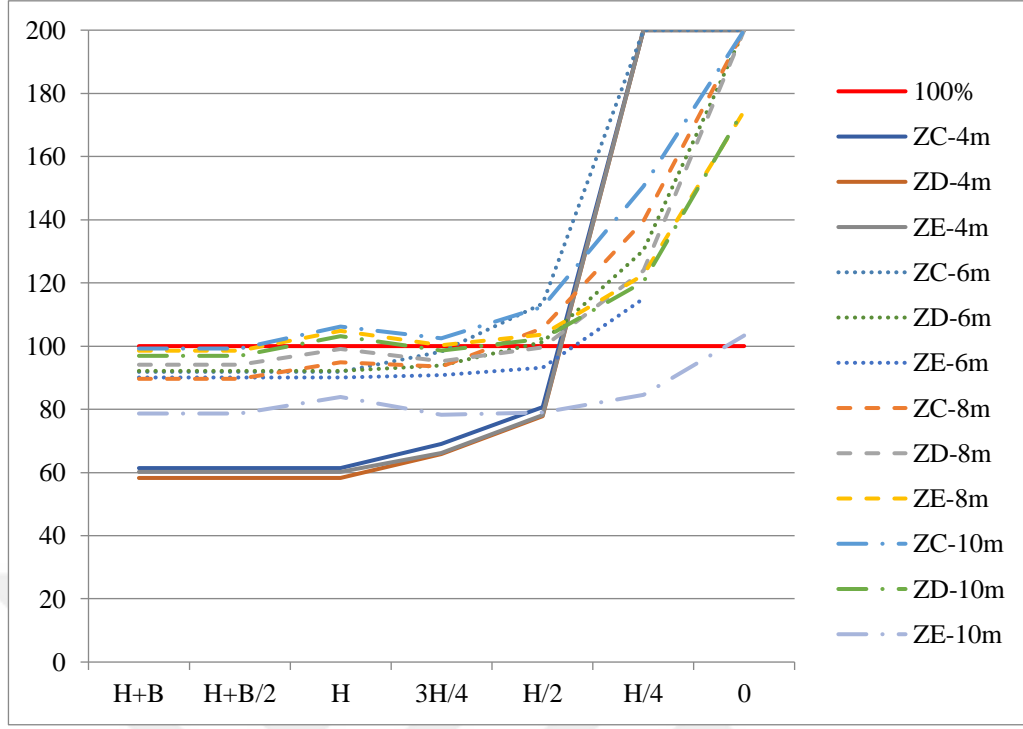
Şekil 26. Ampatman alt moment kapasite oranları (%) grafiği



Şekil 27. Ampatman üst kesme kapasite oranları (%) grafiği



Şekil 28. Ampatman üst moment kapasite oranları (%) grafiği



Şekil 29. Temel moment kapasite oranları (%) grafiği

6. PARAMETRİK ETKİ AÇISINDAN MALİYET ANALİZİ

İncelenen dayanma yapılarının olumsuz durumları bir önceki bölümde verilmiştir. Bu olumsuzlukların giderilmesi durumunda ebatların, donatıların ve dolayısıyla maliyetin ne kadar artacağı konusuna da değinilmiştir. Bunun için olumsuz parametresi bulunmayanlar kombinasyonlarda değişiklik yapılmazken, olumsuz parametresi bulunan kombinasyonların çözümlenmeleri yapılarak her parametresi olumlu (kabul edilebilir stabilitesi sağlanmış) seviyeye getirilip sonuçlar incelenmiştir. Çözümleme yapıldıktan sonra iç ve dış stabilite sonuçları EK-1 ve EK-6 arasında verilmiştir.

Her bir çözümleme sonucunda gerek duvar boyutu artırma gerekse donatı alanı artırma yoluna gidilerek yer altı su seviyesinin artmasının oluşturduğu olumsuzluklar giderilmiş ve her bir kombinasyon için ayrı ayrı beton ve demir metrajı çıkarılmıştır. Metrajlar EK-7 ve EK-12 arasında verilmiştir.

Her bir zemin tipi için maliyet çalışması ayrı ayrı yapılmış olup Tablo 17, Tablo 18 ve Tablo 19'da verilmiştir.

Maliyet analizi yapılırken yalnız beton miktarı (m³) ve demir miktarı (kg) dikkate alınmıştır. Metraj hazırlanırken beton için hacim hesabı ile demir için ise ebatlar birebir kullanılmış, paspayı için herhangi bir ekleme-çıkarma yapılmamıştır.

Analiz T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı'nın yayınlamış olduğu 2024 Yılı İnşaat ve Tesisat Birim Fiyat'larına dayanarak; C25/30 beton için 15.150.1006 poz numarası ile 1 m³ fiyatı 2605,30 TL, demir için ise 10.130.1705 poz numarası ile kg fiyatı 18,70 TL olarak hesaplanmıştır.

Fiyatlama sonrasında aynı zemin sınıfı ve aynı tip yüksekliğe sahip duvarda yer altı su seviyesinin en düşük olduğu durum ile en yüksek olduğu durum arasındaki farkı ifade etmek adına Tablo 20, Tablo 21 ve Tablo 22'de veriler yüzde olarak verilmiştir. Çözüm için maliyetin ne kadar artacağına bir yaklaşım sağlamaktadır.

Demir ve beton maliyet artışlarının görülmesi adına ZC zemin sınıfı için Şekil 30, ZD zemin sınıfı için Şekil 31 ve ZE zemin sınıfı için Şekil 32 incelenebilir.

Tablo 17. ZC Zemin sınıfı için maliyet tablosu

	DEMİR (kg)	BETON (m ³)	DEMİR (TL)	BETON (TL)
ZC-4m-H+B	133,26	1,73	₺ 2.491,92	₺ 4.507,17
ZC-4m-H+B/2	133,26	1,73	₺ 2.491,92	₺ 4.507,17
ZC-4m-H	133,26	1,73	₺ 2.491,92	₺ 4.507,17
ZC-4m-3H/4	135,92	1,77	₺ 2.541,61	₺ 4.611,38
ZC-4m-H/2	142,56	1,87	₺ 2.665,86	₺ 4.871,91
ZC-4m-H/4	154,52	2,05	₺ 2.889,49	₺ 5.340,87
ZC-4m-0	200,85	2,59	₺ 3.755,96	₺ 6.741,21
ZC-6m-H+B	423,26	3,34	₺ 7.914,88	₺ 8.695,19
ZC-6m-H+B/2	423,26	3,34	₺ 7.914,88	₺ 8.695,19
ZC-6m-H	423,26	3,34	₺ 7.914,88	₺ 8.695,19
ZC-6m-3H/4	421,76	3,65	₺ 7.886,89	₺ 9.496,32
ZC-6m-H/2	442,44	3,92	₺ 8.273,59	₺ 10.199,75
ZC-6m-H/4	526,97	4,46	₺ 9.854,25	₺ 11.606,61
ZC-6m-0	641,68	5,75	₺ 11.999,33	₺ 14.973,96
ZC-8m-H+B	1055,65	6,33	₺ 19.740,69	₺ 16.478,52
ZC-8m-H+B/2	1055,65	6,33	₺ 19.740,69	₺ 16.478,52
ZC-8m-H	1064,78	6,39	₺ 19.911,31	₺ 16.634,84
ZC-8m-3H/4	1101,27	6,63	₺ 20.593,81	₺ 17.260,11
ZC-8m-H/2	1098,83	7,58	₺ 20.548,13	₺ 19.754,69
ZC-8m-H/4	1415,33	9,38	₺ 26.466,60	₺ 24.437,71
ZC-8m-0	2245,62	12,73	₺ 41.993,10	₺ 33.158,96
ZC-10m-H+B	2468,36	10,73	₺ 46.158,31	₺ 27.954,87
ZC-10m-H+B/2	2468,36	10,73	₺ 46.158,31	₺ 27.954,87
ZC-10m-H	2536,39	10,85	₺ 47.430,57	₺ 28.267,51
ZC-10m-3H/4	2542,69	11,37	₺ 47.548,36	₺ 29.622,26
ZC-10m-H/2	2587,53	13,10	₺ 48.386,74	₺ 34.135,94
ZC-10m-H/4	3668,51	16,28	₺ 68.601,14	₺ 42.401,26
ZC-10m-0	4295,18	22,52	₺ 80.319,81	₺ 58.671,36

Tablo 18. ZD Zemin sınıfı için maliyet tablosu

	DEMİR (kg)	BETON (m ³)	DEMİR (TL)	BETON (TL)
ZD-4m-H+B	134,60	1,84	₺ 2.516,98	₺ 4.793,75
ZD-4m-H+B/2	134,60	1,84	₺ 2.516,98	₺ 4.793,75
ZD-4m-H	134,60	1,84	₺ 2.516,98	₺ 4.793,75
ZD-4m-3H/4	137,26	1,88	₺ 2.566,68	₺ 4.897,96
ZD-4m-H/2	142,57	1,96	₺ 2.666,07	₺ 5.106,39
ZD-4m-H/4	159,36	2,14	₺ 2.980,07	₺ 5.575,34
ZD-4m-0	193,31	2,70	₺ 3.614,98	₺ 7.034,31
ZD-6m-H+B	379,60	3,95	₺ 7.098,51	₺ 10.290,94
ZD-6m-H+B/2	379,60	3,95	₺ 7.098,51	₺ 10.290,94
ZD-6m-H	379,60	3,95	₺ 7.098,51	₺ 10.290,94
ZD-6m-3H/4	373,84	4,29	₺ 6.990,83	₺ 11.176,74
ZD-6m-H/2	395,14	4,59	₺ 7.389,20	₺ 11.958,33
ZD-6m-H/4	471,30	5,16	₺ 8.813,23	₺ 13.443,35
ZD-6m-0	613,03	6,60	₺ 11.463,64	₺ 17.194,98
ZD-8m-H+B	946,47	7,45	₺ 17.698,96	₺ 19.409,49
ZD-8m-H+B/2	946,47	7,45	₺ 17.698,96	₺ 19.409,49
ZD-8m-H	954,46	7,51	₺ 17.848,41	₺ 19.565,80
ZD-8m-3H/4	911,11	8,13	₺ 17.037,70	₺ 21.181,09
ZD-8m-H/2	1040,40	8,83	₺ 19.455,47	₺ 23.004,80
ZD-8m-H/4	1362,39	10,87	₺ 25.476,72	₺ 28.319,61
ZD-8m-0	2247,17	13,83	₺ 42.022,12	₺ 36.031,30
ZD-10m-H+B	2342,49	11,94	₺ 43.804,59	₺ 31.107,28
ZD-10m-H+B/2	2342,49	11,94	₺ 43.804,59	₺ 31.107,28
ZD-10m-H	2441,56	12,10	₺ 45.657,18	₺ 31.524,13
ZD-10m-3H/4	2525,15	12,74	₺ 47.220,36	₺ 33.191,52
ZD-10m-H/2	2885,49	14,95	₺ 53.958,72	₺ 38.936,21
ZD-10m-H/4	3842,33	18,95	₺ 71.851,57	₺ 49.370,44
ZD-10m-0	4497,66	27,38	₺ 84.106,28	₺ 71.320,09

Tablo 19. ZE Zemin sınıfı için maliyet tablosu

	DEMİR (kg)	BETON (m ³)	DEMİR (TL)	BETON (TL)
ZE-4m-H+B	137,26	1,88	₺ 2.566,68	₺ 4.897,96
ZE-4m-H+B/2	137,26	1,88	₺ 2.566,68	₺ 4.897,96
ZE-4m-H	137,26	1,88	₺ 2.566,68	₺ 4.897,96
ZE-4m-3H/4	139,91	1,92	₺ 2.616,38	₺ 5.002,18
ZE-4m-H/2	149,21	2,06	₺ 2.790,32	₺ 5.366,92
ZE-4m-H/4	171,69	2,26	₺ 3.210,61	₺ 5.887,98
ZE-4m-0	230,04	2,68	₺ 4.301,81	₺ 6.982,20
ZE-6m-H+B	360,49	4,71	₺ 6.741,24	₺ 12.270,96
ZE-6m-H+B/2	360,49	4,71	₺ 6.741,24	₺ 12.270,96
ZE-6m-H	360,49	4,71	₺ 6.741,24	₺ 12.270,96
ZE-6m-3H/4	377,14	4,86	₺ 7.052,55	₺ 12.661,76
ZE-6m-H/2	409,73	5,19	₺ 7.661,91	₺ 13.521,51
ZE-6m-H/4	505,21	5,85	₺ 9.447,42	₺ 15.241,01
ZE-6m-0	507,93	7,14	₺ 9.498,32	₺ 18.601,84
ZE-8m-H+B	977,74	8,48	₺ 18.283,71	₺ 22.092,94
ZE-8m-H+B/2	977,74	8,48	₺ 18.283,71	₺ 22.092,94
ZE-8m-H	1044,57	8,55	₺ 19.533,40	₺ 22.275,32
ZE-8m-3H/4	1054,68	8,90	₺ 19.722,47	₺ 23.187,17
ZE-8m-H/2	1270,97	9,95	₺ 23.767,19	₺ 25.922,74
ZE-8m-H/4	1858,76	11,88	₺ 34.758,73	₺ 30.937,94
ZE-8m-0	3459,73	14,85	₺ 64.697,01	₺ 38.688,71
ZE-10m-H+B	2990,79	13,16	₺ 55.927,68	₺ 34.285,75
ZE-10m-H+B/2	2990,79	13,16	₺ 55.927,68	₺ 34.285,75
ZE-10m-H	2899,45	13,64	₺ 54.219,69	₺ 35.536,29
ZE-10m-3H/4	2594,83	15,33	₺ 48.523,29	₺ 39.926,22
ZE-10m-H/2	3299,75	17,58	₺ 61.705,26	₺ 45.801,17
ZE-10m-H/4	3854,66	25,06	₺ 72.082,20	₺ 65.299,24
ZE-10m-0	6037,06	35,16	₺ 112.893,05	₺ 91.602,35

Tablo 20. ZC Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu

	DEMİR (%)	BETON(%)	TOPLAM (%)
ZC - 4m	51%	50%	50%
ZC - 6m	52%	72%	62%
ZC - 8m	113%	101%	107%
ZC - 10m	74%	110%	88%

Tablo 21. ZD Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu

	DEMİR (%)	BETON(%)	TOPLAM (%)
ZD - 4m	44%	47%	46%
ZD - 6m	61%	67%	65%
ZD - 8m	137%	86%	110%
ZD - 10m	92%	129%	107%

Tablo 22. ZE Zemin sınıfı için maliyet değişim (%) tablosu

	DEMİR (%)	BETON(%)	TOPLAM (%)
ZE - 4m	68%	43%	51%
ZE - 6m	41%	52%	48%
ZE - 8m	254%	75%	156%
ZE - 10m	102%	167%	127%

Elde edilen veriler ışığında 4 m lik duvarlar için demir ve beton maliyet artışları göz önüne alındığında; yer altı su seviyesinin en alta olması ile en üstte olması arasındaki çözüm açısından toplam maliyet artışının %46-51 arasında olduğu söylenebilir.

Bu artış;

6 m lik duvarlar için %48-65,

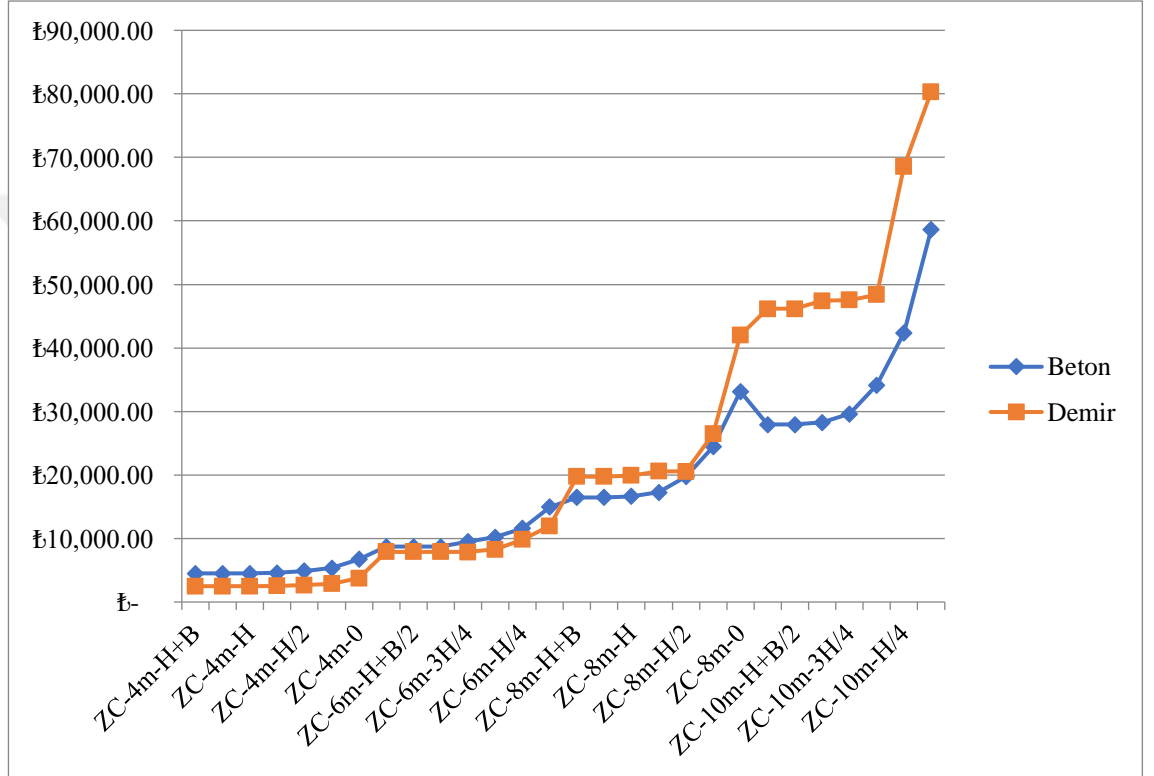
8 m lik duvarlar için %107-156,

10 m lik duvarlar için %88-127 arasındadır.

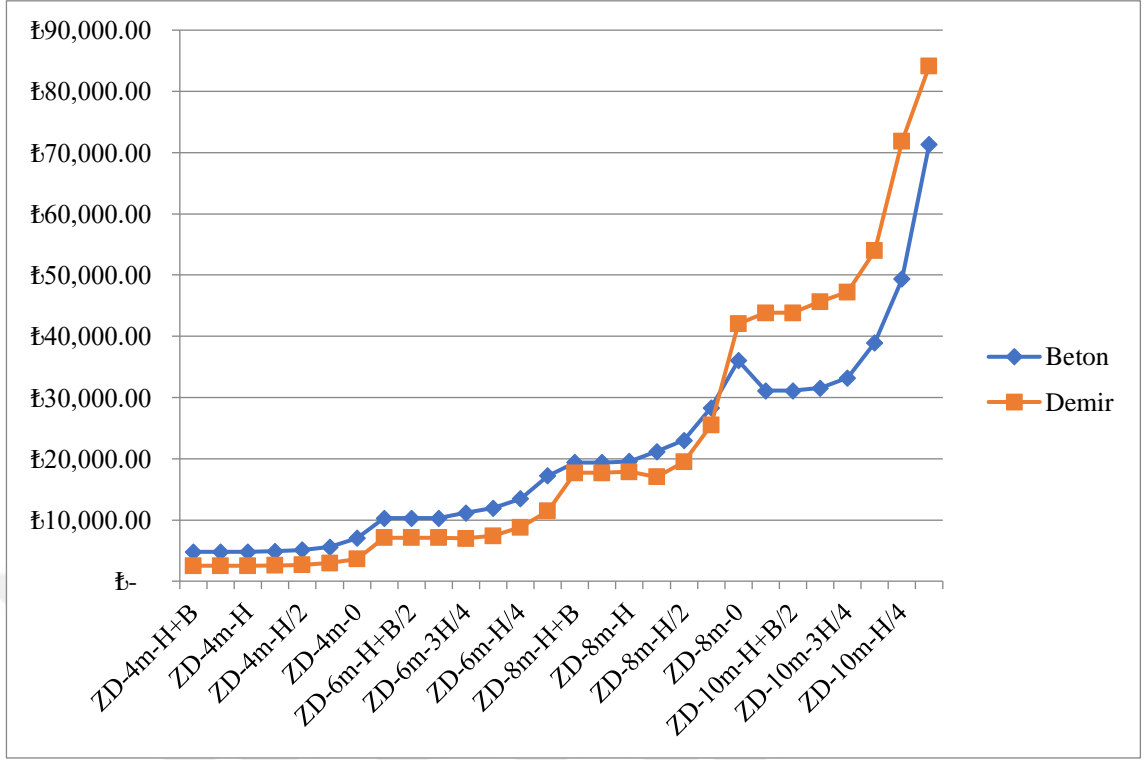
Sonuçlar yorumlandığında zemin sınıfına ait değerler olumsuz hale geldikçe yer altı su seviyesinin yükselmesi dikkate alınarak yapılacak olan tasarımda maliyetin daha fazla arttığı görülmektedir. Şekil 31, Şekil 31 ve Şekil 32 değerlendirildiğinde, grafik eğiminin 8 m lik duvarlardan itibaren değiştiğini ve arttığını görebiliriz.

4 m ve 6 m lik duvarlarda maliyet artışlar nispeten daha düşük iken 8 m ve 10 m lik duvarlarda maliyet artışlarının çok daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

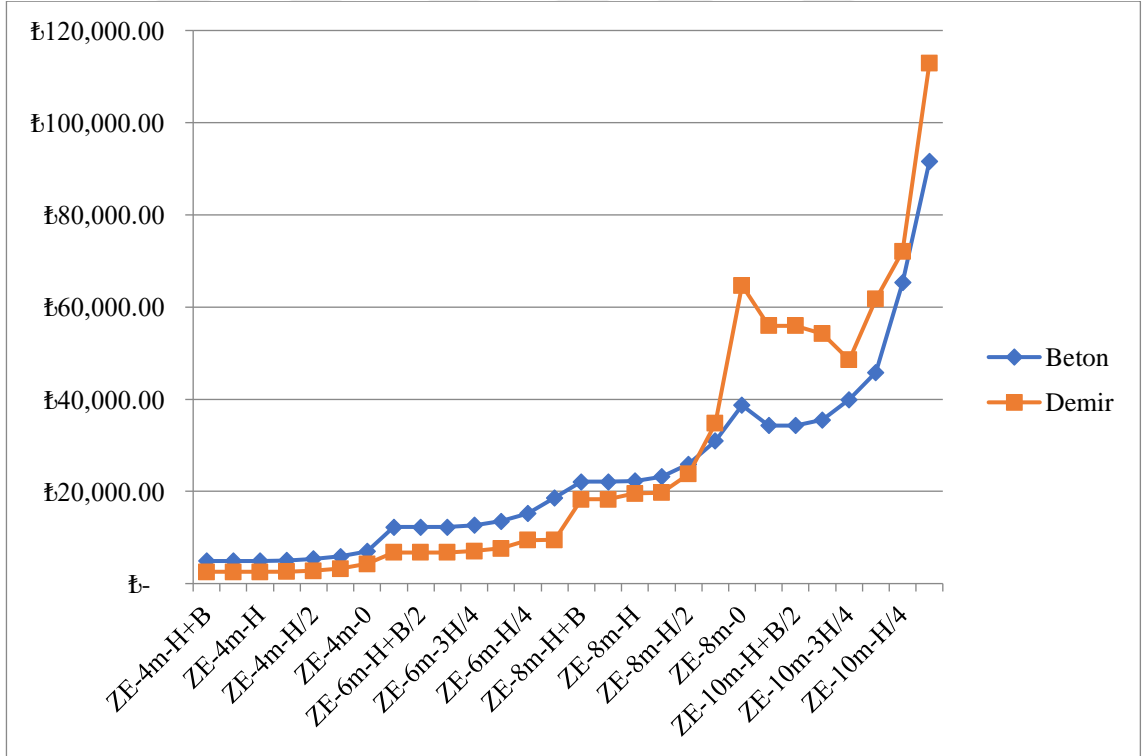
En genel çapta maliyet analizine baktığımızda artış oranının %48-156 arasında olduğu görülmektedir. Bu artışlar günümüz şartlarında her bir yapı için ayrı değerlendirilmesi gerektiği sonucuna bizi götürür.



Şekil 30. ZC zemin sınıfı için maliyet artış grafiği



Şekil 31. ZD zemin sınıfı için maliyet artış grafiği



Şekil 32. ZE zemin sınıfı için maliyet artış grafiği

7. SONUÇ

Bu çalışmada farklı yerel zemin sınıfına sahip temel zemine inşaa edilen farklı yüksekliklere sahip betonarme dayanma duvarı tasarımlarında yer altı su seviyesinin yükselmesinin etkisi araştırılmıştır.

Üç farklı zemin sınıfı ve özellikleri ele alınarak; dört farklı yüksekliğe sahip dayanma yapısının, yedi farklı su seviyesinde iç ve dış stabiliteyi incelenmiştir. Toplamda 84 farklı tasarım oluşturularak GEO5 programı ile çözümlenmiştir.

Her ne kadar yer altı su seviyesinin duvarın en üst seviyesine çıkması durumunun neredeyse imkansız olduğu bilinsede, parametrik bir çalışma elde etmek amacıyla, ilk etapta başlangıç ebatları ve donatılendirma şartları sabit bırakılarak her bir etapta bir seviye olmak üzere toplam yedi su seviyesinde analiz yapılmış ve olumsuz parametreler elde edilmiştir.

İkinci etapta ise; ilk etapta belirlenen olumsuz parametreleri düzelterek, yeni duvar boyutları ve donatılendirmalar elde edilmiş ve maliyet analizi yapılmıştır.

İlk etap için yapılan analizlerin sonucunda yer altı su seviyesinin, dayanma yapısının temelinden H+B kadar aşağıda olması ile H+B/2 kadar aşağıda olması durumunun iç ve dış stabilite açısından hiçbir farklılık yansıtmadığını ortaya koymuştur. Ancak iç ve dış stabilite parametrelerinin dayanma duvarının tabanı yani H seviyesinden itibaren olumsuzluk yarattığı gözlemlenmiştir.

Dış stabilite olarak ele alındığında yer altı su seviyesinin yükselmesi durumunda elde edilen maksimum olumsuz parametreler; devrilme güvenlik katsayısında %69,15, kayma güvenlik katsayısında %96,90, temel taşıma kapasitesinde %100, eksantiristede %2445,45, şev stabilitesi(toptan göçme) güvenlik katsayısında ise %30,27 dir. Bu bilgiler ışığında şev stabilitesi hariç olmak üzere yer altı su seviyesinin artması durumunun dayanma yapısının dış stabilitesini tamamıyla olumsuz olarak etkilediği sonucuna varılmıştır.

Temel taşıma kapasitesi güvenlik katsayısı dikkate alınırken; su seviyesi yükseldikçe zemine ait tasarım taşıma gücünün düştüğü, yanal etkiye ait açının artması sonucu ise temel altı gerilmelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu sebeple zemin sınıfı farketmeksizin H+B seviyesinden H+B/2 seviyesine geçişlerde güvenlik katsayısını etkilemeyecek kadar

az değişim yaşanırken, su seviyesi H seviyesine ulaştığında ve daha üst seviyelere çıktığında değişimlerin hızla arttığı gözlemlenmektedir.

Dış stabilite açısından göçmenin yaşanmasında, zemin özelliklerine ve yer altı su seviyesinin artmasıyla oluşan su basıncı ve dolayısıyla değişen zemin özellikleri oldukça etkilidir.

Dış stabilite için kritik bir su seviyesi belirlenmesi gerekir ise; 10 m ve 8 m lik duvarlar H seviyesinden itibaren, 6 m ve 4 m lik duvarlarda ise $3H/4$ seviyesinden itibaren kritik veriler elde edilmektedir.

İç stabilite değerlerine bakıldığında ise zemin sınıfı farketmeksizin 4 m lik duvar için olumsuz paramlerin $H/4$ seviyesinden itibaren başladığını görülmüştür. 6 m lik duvarlarda bu seviye $3H/4$ iken 8 ve 10 m lik duvarlarda ise H seviyesinde olumsuz parametrelerin başladığı ve %100 kapasitenin aşıldığı sonucuna varılmıştır..

2. etapta yapılan çözümlenme sonrasında yapı maliyetlerinin %156'ya kadar arttığı görülmektedir. Bu durum 2 öneriyi beraberinde getirir; birincisi duvar boyutlarının arttırılarak güvenlik katsayılarının güncellenmesi veya hidrostatik basınç etkisi altında tasarım yapılması, ikincisi ise maliyetin çok yükseldiği durumlar için gabion duvar gibi su geçirim oranı yüksek dayanma yapılarına yönelmek olarak önerilmektedir. Gabion dayanma duvarı gabion sepetler kullanılarak yapıldığında geçirgen ve boşluklu yapısı nedeniyle drenaj önlemi gerektirmez.

Yer altı suyunun yüzeye yakın olduğu alanlarda, dayanma duvarının tasarım aşamasında farklı su seviyeleri için stabilite analizleri yapılarak gerekli önlemlerin alınması önemlidir.

KAYNAKLAR

- Adnan F.A., Mohammed, A.M.(2013). Soil-Structure Interaction of Retaining Walls under earthquake loads. *Journal of Engineering*, 19(07), 795-811.
- Aka, İ., Keskinel, F. ve Arda, T., S., 1977. Birsen Yayınevi, 324 S.
- Ankara (2022), Araştırma sorgusu: Yağış sonrası dayanma duvarı stabilite problemi, Erişim: 10.06.2024, URL: <https://www.dha.com.tr/yerel-haberler/ankara/ankarada-istinat-duvari-yikildi-4-apartman-1-2082787>
- Altun, N. (2021). Konsol İstinat Duvarlarının Stabilite Parametreleri Değişiminin AHP Yöntemi İle İncelenmesi. Yüksek lisans tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir.
- Aydogdu, İ., 2017a. Cost Optimization of Reinforced Concrete Cantilever Retaining Walls Under Seismic Loading Using a Biogeography-based Optimization Algorithm with Levy Flights. *Eng. Optim.*, 49, 3, 381–400.
- Bekdas, G. ve Temur, R., 2015. Optimum Design of Cantilever Reinforced Concrete Retaining Wall Using Teaching Learning Based Optimization Algorithm, Third International Conference on Optimization Techniques in Engineering, November, Bildiriler Kitabı: Roma, 138-14
- Blake, J.R., Renaud, J.P., Anderson, M.G., Hencher, S.R. (2003). Prediction of rainfall-induced transient water pressure head behind a retaining wall using a high-resolution finite element model. *Computers and geotechnics*, 30(6), 431–442.
- Camp, C., V. ve Akin, A., 2012. Design of Retaining Walls Using Big Bang-Big Crunch Optimization, *J. Struct. Eng.*, 138, 3, 438–448
- Choudhury D., Ahmad, S.M.(2007). Stability of waterfront retaining wall subjected to pseudo-static earthquake forces. *Ocean Engineering*, 14-15(34), 1947-1954.
- Coulomb, C., 1776, “Essai sur une application des règles des maximas et minmas à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture.” Mém. acad. roy. pres. divers savants, Vol. 7, Paris (in French).
- Das, B. M., 1999. *Shallow Foundations: Bearing Capacity and Settlement*, CRC Press, California, 366 s.
- Das, B.M., 2009. *Principles of Geotechnical Engineering*, 7th Edition, Cengage Learning, 666 S.
- Eberhart, R. and Kennedy, J., 1995. A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, October, Nagoya, Bildiriler Kitabı: 39-43.

Fang, H., & Daniels, J. L. (2006). *The Foundation Engineering Handbook*. Boca Raton, BR: Taylor and Francis.

GEO5, <https://www.finesoftware.eu>:

İzmir (2021), Araştırma sorgusu: Yağış sonrası dayanma duvarı stabilite problemi, Erişim: 10.06.2024, URL: <https://www.yeniasir.com.tr/izmir/2021/12/08/izmirde-istinat-duvari-coktu-88-daire-bosaltildi>

Karaboğa, D., 2004. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayınevi, İstanbul, 200 S.

Karabulut, B. (2019). Yağış İle Sızmanın Dolgu Şevlerinin Stabilitesine Etkisi. Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Khajehzadeh, M., Taha, M., R., El-Shafie, A. ve Eslami, M., 2010. Economic Design of Retaining Wall Using Particle Swarm Optimization with Passive Congregation, Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 4, 11, 5500-5507.

Köktan, U., & Demir, G., & Ertek, M. K. (2019). Bir Konsol İstinat Duvarının Sismik Davranışına Yeraltı Su Seviyesindeki Değişimlerin Etkisinin İncelenmesi: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 55139, Samsun, GÜFBED/GUSTIJ (2019) 9 (2): 307-317

Khosravi, M. H., & Pipatphongsa, T., & Takemura, J. (2016). Soils and Foundations: Theoretical analysis of earth pressure against rigid retaining walls under translation mode. *Elsevier*, 56(4), 664-675.

MH Site Construction (2024). Drainage. <https://mhsiteconstruction.com/retaining-walls/>

Mirjalili, S., Mirjalili, S., M. ve Lewis, A., 2014. Grey Wolf optimizer, *Adv. Eng. Softw.*, 69, 46–61.

Rankine, W., 1857, Earth pressure theory, *Phil. Trans. of the Royal Soc.*

Rao, R., V., 2020. Rao Algorithms: Three metaphor-less Simple Algorithms for Solving Optimization Problems, *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 11, 107–130.

Sörensen, K., 2013. Metaheuristics -- the Metaphor Exposed, *International Transactions of Operational Research*. 22, 1, 3–18.

Wang, C., X., Li, C., G., Dong, H. ve Fan Zhang, 2013. An Efficient Differential Evolution Algorithm For Function Optimization, *Information Technology Journal*, 12, 444-448

Visone C., Santucci de Magistris, F. (2008). A review of design methods for retaining structures under seismic loadings. *Strategies for reduction of the seismic risk*, 15(3), 51–64.

- Uray, E., Çarbaş, S., Erkan, İ. H. ve Tan, Ö. (2019). Parametric investigation for discrete optimal design of a cantilever retaining wall. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 5(3), 108–120.
- Uray, E. (2020). Dayanma Yapılarının Sezgisel Yöntemler Kullanılarak Optimum Tasarımı. Doktora tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Uray, E., 2014, Gabion tipi dayanma duvarlarında tasarım kriterlerinin araştırılması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yılmaz, B., Bekdaş, G. ve Niğdeli, S., 2015. Betonarme İstinat Duvarlarının Çiçeklerin Tozlaşma Algoritması ile Optimizasyonu, XIX. Ulusal Mekanik Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Ağustos, Trabzon, Bildiriler Kitabı: 1070- 1075.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :İhsan YAMAN

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :2014, Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri :

İŞ DENEYİMİ

Stajlar : 2011, stajyer, Serhat Mühendislik, Çorum

:2012, stajyer, KGM 73. Bölge Şefliği, Çorum

Projeler :

Çalıştığı Kurumlar :2013, Kentsel dönüşüm saha elemanı, Dolunay Yapı Denetim, Aksaray

Aksaray :2014, Şantiye Şefi-Proje Mühendisi, Kaymak İnşaat,

:2020, Genel Müdür, Yamanlar Mühendislik, Aksaray

Tarih: 12 Temmuz 2024

EK 1. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE

	F_d	F_k	F_{qu}	e	$\Delta H(\text{mm})$	F_d
ZC-4m-H+B						
ZC-4m-H+B/2						
ZC-4m-H						
ZC-4m-3H/4	1,5	4,47	2,84	0,301	0,9	4,14
ZC-4m-H/2	1,53	3,17	2,8	0,295	0,8	3,96
ZC-4m-H/4	1,52	2,32	2,59	0,29	0,6	3,71
ZC-4m-0	1,51	2,38	2,66	0,305	0,6	3,54
ZC-6m-H+B						
ZC-6m-H+B/2						
ZC-6m-H						
ZC-6m-3H/4	1,66	1,71	1,55	0,266	1,6	3,47
ZC-6m-H/2	1,71	1,57	1,54	0,25	1,3	3,21
ZC-6m-H/4	1,91	1,55	1,51	0,225	1,8	3,13
ZC-4m-0	1,94	1,6	1,51	0,216	1,4	2,95
ZC-8m-H+B						
ZC-8m-H+B/2						
ZC-8m-H	2,26	1,72	1,55	0,17	3,7	2,59
ZC-8m-3H/4	2,32	1,58	1,53	0,164	3,2	2,53
ZC-8m-H/2	2,46	1,51	1,53	0,154	2,8	2,5
ZC-8m-H/4	2,75	1,52	1,53	0,132	2,4	2,36
ZC-8m-0	3,43	1,6	1,51	0,122	0,122	2,25
ZC-10m-H+B						
ZC-10m-H+B/2						
ZC-10m-H	2,58	1,56	1,52	0,124	4,7	2,17
ZC-10m-3H/4	2,77	1,51	1,53	0,11	4,3	2,14
ZC-10m-H/2	3,19	1,51	1,53	0,91	3,9	2,08
ZC-10m-H/4	3,77	1,53	1,51	0,075	3,5	1,94
ZC-10m-0	4,25	1,58	1,5	0,076	2,8	1,85

Olumsuz parametresi olmayan kombinasyonlarda çözümlene yapılmayıp ilgili alanlar boş bırakılmıştır.

EK 2. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE

	F _d	F _k	F _{qu}	e	ΔH(mm)	F _d
ZD-4m-H+B						
ZD-4m-H+B/2						
ZD-4m-H						
ZD-4m-3H/4	1,51	2,4	2	0,29	0,8	3,79
ZD-4m-H/2	1,5	1,84	1,69	0,302	0,8	3,62
ZD-4m-H/4	1,54	1,55	1,55	0,295	0,7	3,39
ZD-4m-0	1,54	1,61	1,63	0,301	0,6	3,23
ZD-6m-H+B						
ZD-6m-H+B/2						
ZD-6m-H						
ZD-6m-3H/4	2,1	1,67	1,54	0,195	1,5	2,81
ZD-6m-H/2	2,18	1,57	1,54	0,184	1,2	2,68
ZD-6m-H/4	2,31	1,54	1,53	0,163	1,6	2,82
ZD-4m-0	2,42	1,56	1,5	0,169	1,4	2,34
ZD-8m-H+B						
ZD-8m-H+B/2						
ZD-8m-H	3,02	1,88	1,54	0,123	4,3	2,21
ZD-8m-3H/4	2,86	1,67	1,53	0,133	3,6	2,21
ZD-8m-H/2	3,23	1,51	1,53	0,115	3,3	2,14
ZD-8m-H/4	3,75	1,52	1,5	0,087	2,7	2
ZD-8m-0	4,77	1,69	1,5	0,02	2,2	1,86
ZD-10m-H+B						
ZD-10m-H+B/2						
ZD-10m-H	3,68	1,78	1,51	0,07	5,4	1,88
ZD-10m-3H/4	4	1,66	1,51	0,062	5	1,83
ZD-10m-H/2	4,65	1,57	1,52	0,042	4,3	1,78
ZD-10m-H/4	5,51	1,56	1,5	0,023	3,6	1,68
ZD-10m-0	5,93	1,58	1,5	0,036	2,8	1,64

Olumsuz parametresi olmayan kombinasyonlarda çözümlene yapılmayıp ilgili alanlar boş bırakılmıştır.

EK 3. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI DIŞ STABİLİTE

	F_d	F_k	F_{qu}	e	$\Delta H(\text{mm})$	F_d
ZE-4m-H+B						
ZE-4m-H+B/2						
ZE-4m-H						
ZE-4m-3H/4	1,64	1,72	1,72	0,26	0,8	3,39
ZE-4m-H/2	1,81	1,72	1,61	0,231	0,7	3,25
ZE-4m-H/4	1,87	1,53	1,56	0,228	1	2,98
ZE-4m-0	2,12	1,61	1,52	0,206	0,9	2,54
ZE-6m-H+B						
ZE-6m-H+B/2						
ZE-6m-H						
ZE-6m-3H/4	2,67	1,62	1,62	0,129	1,4	2,32
ZE-6m-H/2	2,78	1,53	1,51	0,128	2	2,26
ZE-6m-H/4	3,01	1,51	1,52	0,115	1,8	2,23
ZE-4m-0	3,5	1,66	1,52	0,091	1,5	1,93
ZE-8m-H+B						
ZE-8m-H+B/2						
ZE-8m-H						
ZE-8m-3H/4	3,78	1,69	1,52	0,088	3,9	1,88
ZE-8m-H/2	4,73	1,57	1,5	0,06	3,6	1,82
ZE-8m-H/4	6,09	1,58	1,51	0,026	3	1,72
ZE-8m-0	7,44	1,63	1,5	0,027	2,6	1,63
ZE-10m-H+B						
ZE-10m-H+B/2						
ZE-10m-H	6,12	2,22	1,51	0,011	6,2	1,61
ZE-10m-3H/4	5,7	1,87	1,51	0,018	5,2	1,59
ZE-10m-H/2	7,04	1,7	1,51	0,007	47	1,53
ZE-10m-H/4	8,41	1,67	1,55	0,011	4,1	1,51
ZE-10m-0	9,19	1,62	1,56	0,028	3,2	1,5

Olumsuz parametresi olmayan kombinasyonlarda çözümleme yapılmayıp ilgili alanlar boş bırakılmıştır.

EK 4. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI İÇ STABİLİTE

	DUVAR ARKA			AMPATMAN ALT			AMPATMAN ÜST			TEMEL						
	VRD	VED	MRD	MED	VRD	VED	MRD	MED	VRD	VED	MRD	MED	VRD	VED	MRD	MED
ZC-4m-H+B																
ZC-4m-H+B/2																
ZC-4m-H																
ZC-4m-3H/4	132,19	57,89	71,63	67,71	146,09	57,66	80,12	12,38	146,09	72,27	80,12	49,67	77,87	52,75		
ZC-4m-H/2	132,19	63,8	71,63	71,18	146,09	58,63	80,12	15,85	146,09	68,65	80,12	53,7	77,87	56,48		
ZC-4m-H/4	132,19	75,07	87,6	83,23	146,09	65,58	80,12	29,29	146,09	67,66	80,12	56,36	77,87	62,65		
ZC-4m-0	131,02	86,7	102,05	100,38	172,86	66,27	127,78	33,38	172,86	73,37	127,78	83,24	124,97	80,05		
ZC-6m-H+B																
ZC-6m-H+B/2																
ZC-6m-H																
ZC-6m-3H/4	184,31	130,29	251,45	229,06	198,15	114,18	204,4	36,18	198,15	152,89	254,21	208,56	200,69	191,12		
ZC-6m-H/2	184,31	143,58	251,45	240,78	198,15	120,57	204,4	54,75	198,15	145,45	254,21	213,14	200,69	196,28		
ZC-6m-H/4	192,7	168,95	285,71	281,48	198,15	108,38	204,4	54,3	203,73	133,82	303,5	289,89	249,56	247,67		
ZC-4m-0	209,2	198,85	360,54	349,03	223,24	117,73	300,68	94,71	232,21	143,66	417,32	363,76	296,03	291,26		
ZC-8m-H+B																
ZC-8m-H+B/2																
ZC-8m-H																
ZC-8m-3H/4	259,42	240,63	612,62	587,94	258,91	254,38	603,3	174,93	240,35	234,57	488,74	424,09	535,96	503,3		
ZC-8m-H/2	259,42	245,88	612,62	590,39	258,91	234,87	603,3	173,75	240,35	233,84	488,74	463,92	535,96	510,25		
ZC-8m-H/4	266,7	263,4	666,52	596,52	222,99	222,7	296,59	188,27	260,26	220,58	580,53	512,27	571,35	552,3		
ZC-8m-0	303,12	300,4	969,77	667,1	247,52	212,41	342,48	224,01	279,01	213,72	672,32	632,67	742,48	665,03		
ZC-10m-H+B	359,37	356,89	1611,63	839,32	271,59	176,67	483,49	173,88	339,77	194,78	1127,21	1077,3	1113,44	1068,16		
ZC-10m-H+B/2																
ZC-10m-H																
ZC-10m-3H/4	376,08	371,95	1679,41	1129,82	428,52	421,49	2195,89	504,85	358,05	349,98	1361,89	700,78	982,02	954,93		
ZC-10m-H/2	382,92	379,7	1771,88	1134,21	374,35	372,67	1537,94	452,34	349,31	348,7	1272,13	822,44	1073,86	997,18		
ZC-10m-H/4	409,11	409,04	2098,16	1153,25	340,52	336,44	1134,74	439,75	328,76	321,77	1026,47	957,99	1226,58	1155,76		
ZC-10m-0	469,8	469,41	3257,55	1303,02	321,66	305,41	920,21	442,99	371,69	311,73	1394,56	1331,89	1615,04	1532,97		
ZC-10m-0	469,47	469,47	3252,59	1597,88	341,31	264,93	936,15	409,92	454,4	327,22	2283,48	2176,4	2262,65	2197,47		

EK 5. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI İÇ STABİLİTE

	DUVAR ARKA			AMPATMAN ALT			AMPATMAN ÜST			TEMEL	
	VRD	MRD	MED	VRD	MRD	MED	VRD	MRD	MED	MRD	MED
ZD-4m-H+B											
ZD-4m-H+B/2											
ZD-4m-H											
ZD-4m-3H/4	146,07	57,89	82,87	146,09	61,54	80,12	146,09	70,33	80,12	42,31	77,87
ZD-4m-H/2	146,07	63,8	82,87	146,09	59,92	80,12	146,09	69,89	80,12	50,66	77,87
ZD-4m-H/4	146,07	75,07	101,52	146,09	61,98	80,12	146,09	69,07	80,12	63,44	77,87
ZD-4m-0	144,55	86,7	100,09	172,86	63,12	127,78	172,86	73,17	127,78	90,42	124,97
ZD-6m-H+B											
ZD-6m-H+B/2											
ZD-6m-H											
ZD-6m-3H/4	189,81	130,29	255,18	198,4	93,08	202,3	198,4	131,89	241,79	221,42	237,38
ZD-6m-H/2	189,81	143,58	255,18	198,4	98,59	202,3	198,4	126,19	241,79	234,36	237,38
ZD-6m-H/4	198,45	168,95	290,14	198,4	109,29	202,3	198,45	126,4	280,95	264,55	275,81
ZD-4m-0	214,33	198,85	362,03	223,48	100,53	285,85	233,61	129,19	424,4	411,78	372,66
ZD-8m-H+B											
ZD-8m-H+B/2											
ZD-8m-H	261,52	240,63	590,66	214,47	213,24	352,26	213,33	241,55	495,46	474,71	634
ZD-8m-3H/4	261,31	238,7	589,65	223,24	204,25	300,68	127,35	252,51	531,89	510,38	644,39
ZD-8m-H/2	269,74	263,4	647,36	223,24	194,53	300,68	141,06	261,53	588,4	574,81	699,86
ZD-8m-H/4	305,87	300,4	937,36	247,76	194,49	347,15	201,44	289,4	746,62	692,68	875,63
ZD-8m-0	368,6	367,01	1630,3	247,76	187,32	347,15	288,65	320,92	1002,57	988,87	1189,09
ZD-10m-H+B											
ZD-10m-H+B/2											
ZD-10m-H	373,67	371,95	1602,22	389,34	385,06	1709,37	438,66	309,02	901,52	793,06	1254,08
ZD-10m-3H/4	381,29	379,7	1701,43	340,12	336,79	1181,21	381,37	320,06	995,91	954,33	1342,45
ZD-10m-H/2	409,11	409,04	2098,16	328,76	316,46	1026,47	437,15	340,52	1134,74	1053,34	1536,81
ZD-10m-H/4	471,63	469,41	3201,66	303,69	298,19	778,02	529,64	371,69	1394,56	1325,16	1846,16
ZD-10m-0	535,9	535,9	3188,95	364,41	259,99	1027,91	504,14	463,68	2333,71	2272,23	2626,38

EK 7. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR

	DONATILAR (1m UZUNLUK İÇİN)									
	DUV. ÖN		DUV. ARKA		AMPATMAN ALT		AMPATMAN ÜST		TEMEL	
	ADE T	ÇA P	ADE T	ÇA P	ADET	ÇAP	ADET	ÇAP	ADE T	ÇA P
ZC-4m-H+B	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-H+B/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-H	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-3H/4	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-H/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-H/4	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZC-4m-0	6	14	6	14	5	14	5	14	5	14
ZC-6m-H+B	7	18	7	18	3	18	5	18	5	18
ZC-6m-H+B/2	7	18	7	18	3	18	5	18	5	18
ZC-6m-H	7	18	7	18	3	18	5	18	5	18
ZC-6m-3H/4	7	18	7	18	4	18	5	18	4	18
ZC-6m-H/2	7	18	7	18	4	18	5	18	4	18
ZC-6m-H/4	8	18	8	18	4	18	6	18	5	18
ZC-6m-0	10	18	10	18	5	18	7	18	4	18
ZC-8m-H+B	10	20	10	20	10	20	8	20	9	20
ZC-8m-H+B/2	10	20	10	20	10	20	8	20	9	20
ZC-8m-H	10	20	10	20	10	20	8	20	9	20
ZC-8m-3H/4	10	20	10	20	10	20	8	20	9	20
ZC-8m-H/2	11	20	11	20	4	20	8	20	8	20
ZC-8m-H/4	16	20	16	20	4	20	8	20	9	20
ZC-8m-0	27	20	27	20	5	20	12	20	12	20
ZC-10m-H+B	18	22	18	22	24	22	13	22	9	22
ZC-10m-H+B/2	18	22	18	22	24	22	13	22	9	22
ZC-10m-H	18	22	18	22	24	22	14	22	10	22
ZC-10m-3H/4	19	22	19	22	16	22	13	22	11	22
ZC-10m-H/2	21	22	21	22	10	22	9	22	11	22
ZC-10m-H/4	35	22	35	22	6	22	11	22	13	22
ZC-10m-0	35	22	35	22	5	22	15	22	15	22

EK 8. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR

	DONATILAR (1m UZUNLUK İÇİN)									
	DUV. ÖN		DUV.ARK A		AMPATMAN ALT		AMPATMAN ÜST		TEMEL	
	ADE T	ÇA P	ADE T	ÇA P	ADET	ÇAP	ADET	ÇAP	ADE T	Ç AP
ZD-4m-H+B	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-H+B/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-H	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-3H/4	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-H/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-H/4	4	14	5	14	4	14	4	14	4	14
ZD-4m-0	5	14	5	14	5	14	5	14	5	14
ZD-6m-H+B	7	16	7	16	4	16	7	16	7	16
ZD-6m-H+B/2	7	16	7	16	4	16	7	16	7	16
ZD-6m-H	7	16	7	16	4	16	7	16	7	16
ZD-6m-3H/4	7	16	7	16	5	16	6	16	6	16
ZD-6m-H/2	7	16	7	16	5	16	6	16	6	16
ZD-6m-H/4	8	16	8	16	5	16	7	16	7	16
ZD-6m-0	10	16	10	16	6	16	9	16	8	16
ZD-8m-H+B	10	18	10	18	7	18	10	18	13	18
ZD-8m-H+B/2	10	18	10	18	7	18	10	18	13	18
ZD-8m-H	10	18	10	18	7	18	10	18	13	18
ZD-8m-3H/4	10	18	10	18	5	18	9	18	11	18
ZD-8m-H/2	11	18	11	18	5	18	10	18	12	18
ZD-8m-H/4	16	18	16	18	5	18	11	18	13	18
ZD-8m-0	28	18	28	18	5	18	15	18	18	18
ZD-10m-H+B	16	22	16	22	17	22	8	22	12	22
ZD-10m-H+B/2	16	22	16	22	17	22	8	22	12	22
ZD-10m-H	16	22	16	22	18	22	9	22	13	22
ZD-10m-3H/4	17	22	17	22	12	22	10	22	14	22
ZD-10m-H/2	21	22	21	22	9	22	10	22	14	22
ZD-10m-H/4	32	22	32	22	6	22	11	22	15	22
ZD-10m-0	32	22	32	22	6	22	14	22	16	22

EK 9. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI DONATILAR

	DONATILAR (1m UZUNLUK İÇİN)									
	DUV. ÖN		DUV.ARK A		AMPATMAN ALT		AMPATMAN ÜST		TEMEL	
	ADE T	ÇA P	ADE T	ÇA P	ADET	ÇAP	ADET	ÇAP	ADE T	ÇA P
ZE-4m-H+B	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-H+B/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-H	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-3H/4	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-H/2	4	14	4	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-H/4	5	14	5	14	4	14	4	14	4	14
ZE-4m-0	6	14	6	14	4	14	6	14	6	14
ZE-6m-H+B	6	16	6	16	5	16	5	16	6	16
ZE-6m-H+B/2	6	16	6	16	5	16	5	16	6	16
ZE-6m-H	6	16	6	16	5	16	5	16	6	16
ZE-6m-3H/4	6	16	6	16	5	16	6	16	6	16
ZE-6m-H/2	6	16	6	16	5	16	6	16	7	16
ZE-6m-H/4	7	16	7	16	5	16	8	16	8	16
ZE-6m-0	10	16	10	16	5	16	11	16	11	16
ZE-8m-H+B	8	20	8	20	4	20	6	20	9	20
ZE-8m-H+B/2	8	20	8	20	4	20	6	20	9	20
ZE-8m-H	8	20	8	20	6	20	7	20	10	20
ZE-8m-3H/4	8	20	8	20	4	20	7	20	10	20
ZE-8m-H/2	9	20	9	20	4	20	8	20	12	20
ZE-8m-H/4	14	20	14	20	4	20	10	20	16	20
ZE-8m-0	25	20	25	20	4	20	18	20	28	20
ZE-10m-H+B	20	22	20	22	13	22	8	22	20	22
ZE-10m-H+B/2	20	22	20	22	13	22	8	22	20	22
ZE-10m-H	19	22	19	22	11	22	8	22	18	22
ZE-10m-3H/4	19	22	19	22	7	22	9	22	12	22
ZE-10m-H/2	24	22	24	22	5	22	10	22	17	22
ZE-10m-H/4	24	22	24	22	5	22	12	22	18	22
ZE-10m-0	37	22	37	22	6	22	19	22	23	22

EK 10. ZC ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR

BOYUTLAR											
YÜKSEKLİK H(m)	TEMEL YÜKS. XX(m)	ÖN AMPATMAN V1(m)	ARKA AMPATMAN V2(m)	ÜST KALINLIK		ALT KALINLIK		TOPUK(VARSA)			
				K1(m)	K2(m)	A-GEN. (m)	B-YÜK.(m)				
ZC-4m-H+B	3,6	0,4	0,4	1,1	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-H+B/2	3,6	0,4	0,4	1,1	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-H	3,6	0,4	0,4	1,1	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-3H/4	3,6	0,4	0,4	1,2	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-H/2	3,6	0,4	0,5	1,35	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-H/4	3,6	0,4	0,8	1,5	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-4m-0	3,5	0,5	0,9	2	0,2	0,35	-	-	-		
ZC-6m-H+B	5,5	0,5	0,6	2,05	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-H+B/2	5,5	0,5	0,6	2,05	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-H	5,5	0,5	0,6	2,05	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-3H/4	5,4	0,6	0,6	2,1	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-H/2	5,4	0,6	0,85	2,3	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-H/4	5,4	0,6	0,95	3,1	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-6m-0	5,3	0,7	1,5	3,8	0,2	0,45	-	-	-		
ZC-8m-H+B	7,4	0,6	1,2	2,8	0,25	0,6	0,6	0,6	0,7		
ZC-8m-H+B/2	7,4	0,6	1,2	2,8	0,25	0,6	0,6	0,6	0,7		
ZC-8m-H	7,4	0,6	1,3	2,8	0,25	0,6	0,6	0,6	0,7		
ZC-8m-3H/4	7,4	0,6	1,4	3,1	0,25	0,6	0,6	0,6	0,7		
ZC-8m-H/2	7,3	0,7	1,6	3,6	0,25	0,6	0,6	0,6	0,7		
ZC-8m-H/4	7,2	0,8	2	4,6	0,25	0,6	0,6	0,8	0,7		
ZC-8m-0	7,1	0,9	1,9	7,4	0,25	0,6	0,6	0,8	1		
ZC-10m-H+B	9,2	0,8	2,2	3,3	0,3	0,75	0,9	0,9	1		
ZC-10m-H+B/2	9,2	0,8	2,2	3,3	0,3	0,75	0,9	0,9	1		
ZC-10m-H	9,2	0,8	2,25	3,4	0,3	0,75	0,9	0,9	1		
ZC-10m-3H/4	9,2	0,8	2,3	4	0,3	0,75	0,9	0,9	1		
ZC-10m-H/2	9,1	0,9	2,5	5	0,3	0,75	0,9	0,9	1		
ZC-10m-H/4	9	1	2,8	7	0,3	0,75	1	1	1		
ZC-10m-0	8,8	1,2	3	10,25	0,3	0,75	1,1	1,1	1		

EK 11. ZD ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR

BOYUTLAR												
YÜKSEKLİK	TEMEL YÜKS.	ÖN AMPATMAN	ARKA AMPATMAN	ÜST KALINLIK	ALT KALINLIK	TOPUK(VARSA)						
H(m)	XX(m)	V1(m)	V2(m)	K1(m)	K2(m)	A-GEN. (m)	B-YÜK.(m)					
ZD-4m-H+B	3,6	0,4	0,5	1	0,2	0,4	-					
ZD-4m-H+B/2	3,6	0,4	0,5	1	0,2	0,4	-					
ZD-4m-H	3,6	0,4	0,5	1	0,2	0,4	-					
ZD-4m-3H/4	3,6	0,4	0,5	1,1	0,2	0,4	-					
ZD-4m-H/2	3,6	0,4	0,5	1,3	0,2	0,4	-					
ZD-4m-H/4	3,6	0,4	0,65	1,6	0,2	0,4	-					
ZD-4m-0	3,5	0,5	0,8	2,1	0,2	0,4	-					
ZD-6m-H+B	5,5	0,5	0,6	2,35	0,25	0,55	-					
ZD-6m-H+B/2	5,5	0,5	0,6	2,35	0,25	0,55	-					
ZD-6m-H	5,5	0,5	0,6	2,35	0,25	0,55	-					
ZD-6m-3H/4	5,4	0,6	0,6	2,4	0,25	0,55	-					
ZD-6m-H/2	5,4	0,6	0,8	2,7	0,25	0,55	-					
ZD-6m-H/4	5,4	0,6	1,25	3,2	0,25	0,55	-					
ZD-6m-0	5,3	0,7	1,35	4,5	0,25	0,55	-					
ZD-8m-H+B	7,4	0,6	1	3,5	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-H+B/2	7,4	0,6	1	3,5	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-H	7,4	0,6	1,1	3,5	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-3H/4	7,3	0,7	1,2	3,6	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-H/2	7,3	0,7	1,4	4,4	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-H/4	7,2	0,8	2	5,6	0,3	0,7	0,9					
ZD-8m-0	7,2	0,8	3	8,3	0,3	0,7	0,9					
ZD-10m-H+B	9,2	0,8	2	4,4	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-H+B/2	9,2	0,8	2	4,4	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-H	9,2	0,8	2,2	4,4	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-3H/4	9,2	0,8	2,2	5,2	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-H/2	9,1	0,9	2,7	6,3	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-H/4	9	1	3,5	8,3	0,3	0,8	1,4					
ZD-10m-0	8,7	1,3	3,8	11,7	0,3	0,8	1,4					

EK 12. ZE ÇÖZÜMLEME SONRASI BOYUTLAR

BOYUTLAR											
YÜKSEKLİK H(m)	TEMEL YÜKS.		ÖN AMPATMAN V1(m)	ARKA AMPATMAN V2(m)	BOYUTLAR	ÜST KALINLIK K1(m)	ALT KALINLIK K2(m)	TOPUK(VARSA)			
	XX(m)							A-GEN.(m)	B-YÜK.(m)		
	3,6	0,4	0,5	1,1		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-H+B	3,6	0,4	0,5	1,1		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-H+B/2	3,6	0,4	0,5	1,1		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-H	3,6	0,4	0,5	1,1		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-3H/4	3,6	0,4	0,5	1,2		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-H/2	3,6	0,4	0,6	1,45		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-H/4	3,6	0,4	0,7	1,85		0,2	0,4	-	-		
ZE-4m-0	3,6	0,4	0,8	2,8		0,2	0,4	-	-		
ZE-6m-H+B	5,4	0,6	0,7	2,5		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-H+B/2	5,4	0,6	0,7	2,5		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-H	5,4	0,6	0,7	2,5		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-3H/4	5,4	0,6	0,8	2,65		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-H/2	5,4	0,6	0,9	3,1		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-H/4	5,4	0,6	1,2	3,9		0,3	0,6	-	-		
ZE-6m-0	5,4	0,6	1,8	5,45		0,3	0,6	-	-		
ZE-8m-H+B	7,3	0,7	1,2	3,7		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-H+B/2	7,3	0,7	1,2	3,7		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-H	7,3	0,7	1,3	3,7		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-3H/4	7,3	0,7	1,5	4		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-H/2	7,3	0,7	1,8	5,2		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-H/4	7,3	0,7	2,6	7,15		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-8m-0	7,3	0,7	2,8	11,2		0,3	0,7	0,7	1,3		
ZE-10m-H+B	9,2	0,8	2,4	6		0,3	0,7	0,8	1,6		
ZE-10m-H+B/2	9,2	0,8	2,4	6		0,3	0,7	0,8	1,6		
ZE-10m-H	9,2	0,8	2,4	6,6		0,3	0,7	0,8	1,6		
ZE-10m-3H/4	9	1	2,5	6,4		0,3	0,69	0,8	1,6		
ZE-10m-H/2	9	1	2,8	8,3		0,3	0,7	0,8	1,6		
ZE-10m-H/4	8,8	1,2	3	11,2		0,4	0,89	0,8	1,6		
ZE-10m-0	8,6	1,4	3	16		0,5	0,9	0,8	1,6		

**EK 13. ELLE ÇÖZÜM VE GEO 5 PROGRAMI SONUÇLARININ
KARŞILAŞTIRILMASI**

	Nc	sc	dc	ic	yDf(kN/m ²)	Nq	sq	dq	iq	y	B(m)	Ny	sy	dy	iy	qsınır(kPa)	qsınır-program(kPa)	Fark(%)
ZC-4m-H	7,593	1,032	1,071	0,815	7,52	2,090	1,022	1,038	0,815	18,8	0,788	0,235	0,953	1	0,815	433,852	433,311	-0,54%
ZC-6m-H	7,593	1,065	1,055	0,508	9,4	2,090	1,046	1,029	0,508	18,8	1,635	0,235	0,902	1	0,508	277,833	277,036	-0,80%
ZC-8m-H	7,593	1,117	1,045	0,531	5,4	2,090	1,083	1,024	0,531	9	2,915	0,235	0,825	1	0,531	283,213	283,129	-0,08%
ZC-10m-H	7,593	1,181	1,042	0,483	7,2	2,090	1,129	1,022	0,483	9	4,535	0,235	0,728	1	0,483	273,318	273,607	0,29%
ZD-4m-H	6,962	1,034	1,069	0,665	7,44	1,786	1,019	1,032	0,665	18,6	0,848	0,133	0,949	1	0,665	279,128	278,871	-0,26%
ZD-6m-H	6,962	1,092	1,047	0,514	9,3	1,786	1,052	1,022	0,514	18,6	2,302	0,133	0,862	1	0,514	225,642	224,819	-0,82%
ZD-8m-H	6,962	1,152	1,04	0,619	5,4	1,786	1,085	1,019	0,619	9	3,81	0,133	0,771	1	0,619	268,380	268,574	0,19%
ZD-10m-H	6,962	1,167	1,04	0,606	8,1	1,786	1,094	1,019	0,606	9	5	0,133	0,75	1	0,606	268,137	267,125	-1,01%
ZE-4m-H	6,681	1,041	1,063	0,569	7,36	1,655	1,02	1,028	0,569	18,4	1,019	0,096	0,939	1	0,569	191,402	191,146	-0,26%
ZE-6m-H	6,681	1,113	1,046	0,547	11,04	1,655	1,055	1,02	0,547	18,4	2,825	0,096	0,83	1	0,547	197,636	197,122	-0,51%
ZE-8m-H	6,681	1,177	1,04	0,695	6,3	1,655	1,086	1,018	0,695	9	4,422	0,096	0,735	1	0,695	245,567	245,673	0,11%
ZE-10m-H	6,681	1,113	1,04	0,678	7,2	1,655	1,055	1,018	0,678	9	5	0,096	0,83	1	0,678	230,684	230,536	-0,15%