

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ
2018 TBDY'YE GÖRE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Samet SÖNMEZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

ŞUBAT 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ
2018 TBDY'YE GÖRE İRDELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Samet SÖNMEZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Geoteknik Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Sedat SERT

ŞUBAT 2023

Ahmet Samet Sönmez tarafından hazırlanan “Konsol İstinat Duvarlarının 2018 TB DY’ye Göre İrdelenmesi” adlı tez çalışması 02.02.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı **Geoteknik** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Doç. Dr. Sedat SERT (Danışman) Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. Ertan BOL Sakarya Üniversitesi	
Jüri Üyesi :	Doç. Dr. İsa VURAL Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Konsol İstinat Duvarlarının 2018 TB DY’ye Göre İrdelenmesi” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

02/02/2023

Ahmet Samet Sönmez



TEŞEKKÜR

İlk olarak bana hep güvenen, her zaman bana destek olup yolumu aydınlatan kıymetli hocam Doç. Dr. Sedat Sert'e teşekkür ederim. Geoteknik yazılımı olan istCAD'in kullanılması hususunda yardımcı olan Ali Osman Kahveci'ye teşekkür ederim. Tez yazım sürecinde bana maddi manevi destek olup her zaman sabırlı şekilde bana yardımcı olan aileme, hayat arkadaşşıma ve sevdiklerime ayrıca teşekkür ederim.



Ahmet Samet Sönmez



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SİMGELER	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
2. İSTİNAT DUVARLARI	3
2.1. İstinat Duvarlarının Kullanım Alanları	3
2.2. İstinat Duvarı Çeşitleri	4
2.2.1. Ağırlık tipi istinat duvarları	4
2.2.2. Yarı ağırlık istinat duvarları	5
2.2.3. Betonarme istinat duvarları	6
2.2.3.1. Konsol istinat duvarları	6
2.2.3.2. Payandalı istinat duvarları	6
2.3. İstinat Duvarlarında Dolgu Malzemesi	7
2.4. İstinat Duvarı Geri Dolgusunda Drenajın Uygulanması	7
2.5. İstinat Duvarında Don Etkisi	8
2.6. İstinat Duvarlarına Etkiyen Yanal Toprak Basınçları	8
2.6.1. Aktif, pasif ve sükûnetteki toprak basınçları	9
2.6.2. Rankine zemin basınç teorisi	10
2.6.2.1. Rankine aktif zemin basınç teorisi	10
2.6.2.2. Rankine pasif basınç teorisi	12
2.6.3. Coulomb zemin basınç teorisi	12
2.6.3.1. Coulomb aktif zemin basınç teorisi	13
2.6.3.2. Coulomb pasif zemin basınç teorisi	13
2.7. İstinat Duvarlarının Stabilitesi	14
2.7.1. Devrilme kontrolü	15
2.7.2. Kayma kontrolü	17
2.7.3. Taşıma gücü kapasite kontrolü	17
2.7.4. Toptan göçme kontrolü	19
2.8. Dinamik Toprak Basınçları	19
2.8.1. Mononobe - Okabe dinamik hesap yöntemi	19
2.8.2. Seed - Whitman yöntemi	21
3. İSTİNAT DUVARI HASARLARI	23
3.1. Türkiye’de Karşılaşılan İstinat Duvarı Hasarları	23

3.2. İstinat Duvarı Yapımında Dikkat Edilecek Hususlar	26
4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	27
5. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YAZILIMLAR.....	33
5.1. İstCAD İstinat Duvarı Analiz, Tasarım ve Çizim Programı	33
5.2. Plaxis 2D Programı.....	42
6. MODELLEME VE ANALİZ.....	45
6.1. TBDY 2018 ve 2007 DBYBHY'ye Göre Elle Çözüm Karşılaştırması	45
6.1.1. TBDY 2018'e göre elle çözüm	45
6.1.2. 2007 DBYBHY'ye göre elle çözüm	54
6.2. İstCAD Yazılımıyla Modelleme.....	56
6.2.1. IstCAD, TBDY 2018 ve 2007 DBYBHY'nin sonuçlarının karşılaştırılması	58
6.2.2. Yer altı su seviyesinin etkisi	60
6.2.3. Duvar yüksekliğinin etkisi	62
6.2.4. Dolgu malzemesinin etkisi.....	65
6.2.5. Duvar gövdesinin konumunun etkisi	66
6.2.6. Zemin eğiminin etkisi	68
6.3. Plaxis 2D Yazılımıyla Modelleme	70
6.3.1. Modelleme sonuçları	73
6.3.1.1. Temel gömme derinliğinin etkisi	73
6.3.1.2. Sürşarj yükünün etkisi	73
6.3.1.3. Yer altı su seviyesinin etkisi.....	74
6.3.1.4. Zemin yüzey eğiminin etkisi	74
6.3.2. Statik analiz sonuçları	75
6.3.3. Dinamik analiz sonuçları.....	84
6.4. Konsol İstinat Duvarı Maliyet Hesabı.....	98
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	101
KAYNAKLAR.....	105
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR

YASS	: Yer altı su seviyesi
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
TDBY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
AFAD	: Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı





SİMGELER

c	: Zemin kohezyon değeri
c_u	: Drenajsız kayma direnci
D_f	: Temel gömme derinliği
B	: Temel genişliği
L	: Temel uzunluğu
H	: İstinat duvarı yüksekliği
e	: Eksantrisite değeri
E	: Elastisite modülü
q	: Sürşarj yükü
λ	: Deprem durumunda sismik açı
u	: Toplam deformasyon
u_x	: Yatay deformasyon
u_y	: Düşey deformasyon
g	: Yerçekimi ivmesi
GS	: Güvenlik sayısı
GS_{devrilme}	: Devrilme için güvenlik katsayısı
GS_{kayma}	: Kayma için güvenlik katsayısı
GS_{taşıma}	: Taşıma gücü için güvenlik katsayısı
K	: Yanal toprak basıncı katsayısı
K₀	: Sükunetteki toprak basınç katsayısı
K_a	: Rankine aktif basınç katsayısı
K_p	: Rankine pasif basınç katsayısı
M	: Eğilme momenti
N	: Eksenel kuvvet
P_a	: Statik aktif zemin basıncı
P_{su}	: Yer altı suyundan kaynaklanan su basıncı
P_h	: Aktif duvar basıncının yatay bileşkesi
P_v	: Aktif duvar basıncının düşey bileşkesi
P_p	: Statik pasif zemin basıncı

W	: Zemin kamasının ağırlığı
ΣV	: Zeminin ağırlığı da dahil toplam düşey yük
ΣF_d	: Kaydırmaya çalışan kuvvetler toplamı
ΣF_R	: Kaymaya karşı koyan toplam kuvvet
ΣM_d	: Döndürücü moment toplamı
ΣM_o	: Duvara tesir eden yüklerin 0 noktasına göre toplam momenti
γ	: Zeminin kuru birim hacim ağırlığı
γ_d	: Zeminin doymuş birim hacim ağırlığı
β	: Duvar arkası zemin yüzeyinin yatayla yapmış olduğu açı
ϕ	: Zemin içsel sürtünme açısı
θ	: Duvar yüzünün yatayla yapmış olduğu açı
μ	: Taban zemini için sürtünme katsayısı
ν	: Poisson oranı
α	: Duvar arka yüzeyinin düşey ile yaptığı açı
δ	: Duvar arka yüzeyi ile zemin arasındaki sürtünme açısı
σ	: Zeminden kaynaklanan ve istinat duvarı üzerine etkiyen zemin basıncı
σ_v'	: Düşey efektif gerilme
σ_h'	: Yatay efektif gerilme
σ_p	: Pasif basınç gerilmesi
z	: Derinlik
P_0	: Sükunetteki zemin basıncı
η	: Kırılma zarfı doğrultusunun yatayla yaptığı açı
δ	: Zemin ile temel arasındaki sürtünme açısı
Ψ	: Duvar yüzünün yatayla açısı
q_t	: İzin verilebilir güvenli taşıma gücü
r	: Dayanma yapısının tipi
R_a	: Dayanım azaltma katsayısı
δ_d	: Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı
R_{th}	: Tasarım sürtünme direnci
R_{pt}	: Tasarım pasif direnci
R_{pk}	: Karakteristik pasif direnç
V_{th}	: Tasarım yatay kuvvet
q_{max}	: Maksimum zemin gerilmesi
q_{min}	: Minimum zemin gerilmesi

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
 S_s : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
 k_h : Yatay statik eşdeğer deprem katsayısı
 k_v : Düşey statik eşdeğer deprem katsayısı





TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Türkiye’de göçen istinat duvarları örnekleri (url-1, url-2, url-3, url-4)...	24
Tablo 3.2. Türkiye’de göçen istinat duvarları örnekleri (url-5, url-6, url-7, url-8)...	25
Tablo 6.1. Yönetmeliklerin ve istCAD programının sonuçlarının karşılaştırılması.	59
Tablo 6.2. Duvar yüksekliğinin yanal itki, betonarme kesme kuvveti ve momentlere etkisi.	63
Tablo 6.3. Dolgu malzemesinin kesme kuvveti ve momentlere etkisi.	65
Tablo 6.4. Zemin eğiminin değişmesi ile gövdedeki I-I kesitindeki kesit tesirleri. ..	69
Tablo 6.5. Konsol istinat duvarına etkiyecek sabit ve değişken parametreler.	70
Tablo 6.6. Konsol istinat duvarına etki edecek zemin özellikleri.	71
Tablo 6.7. Betonarme konsol istinat duvarının boyutları.	71
Tablo 6.8. Beton sınıfları ve betonun basınç dayanımları (TS 500, 2000).	72
Tablo 6.9. Zemin eğiminin 0° ve 15° olduğu durumlarda Plaxis 2D programında kullanılan elastisite modülleri ve atalet momentleri.	73
Tablo 6.10. H: 6,50 m için gömme derinliği, sürşarj yükü, yer altı su seviyesi ve zemin eğiminin konsol istinat duvarındaki kesit tesirlerine olan etkisi (Ana modelin sonuçları turuncu renk ile işaretlenmiştir).	76
Tablo 6.11. Kullanılan zemin ve malzeme parametreleri.....	85
Tablo 6.12. İvme değerlerinin değişiminin toplam, yatay ve düşey deformasyona etkisi.	87
Tablo 6.13. Metrajda kullanılacak poz numaraları ve 07/2022 birim fiyatları.	99
Tablo 6.14. Duvar yüksekliklerine bağlı değişen konsol istinat duvarı maliyeti. ...	100
Tablo 7.1. H: 6,50 m, D _r : 1,50 m, q: 10 kPa, α: 15°, Y.A.S.S.: Yok durumunda konsol istinat duvarına etki eden kesit tesirlerinin DBYBHY 2007, TBDY 2018, istCAD ve Plaxis 2D analiz sonuçları.	101



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. İstinat duvarlarının kullanım alanları; a) Yamaç yolları, b) Dolgu gerektiren yollar, c) Yarma gerektiren yollar, d) Zemin tutan duvarlar, e) Su kanalları, f) Köprü yaklaşım ayakları, g) Taşkın önleyici duvarlar.	4
Şekil 2.2. Ağırlık tipi istinat yapısı.	5
Şekil 2.3. Yarı ağırlık istinat yapısı.	5
Şekil 2.4. Konsol istinat yapısı.	6
Şekil 2.5. Payandalı istinat yapısı.	7
Şekil 2.6. Drenaj sisteminin yapısı (Insepedia, url-9).	8
Şekil 2.7. Aktif, pasif yanal toprak basıncı, hidrostatik ve sürşarj etkisinin duvar derinliğiyle değişimi (Budhu, 2011).	9
Şekil 2.8. Sükunetteki zemin basıncı (Budhu, 2011).	10
Şekil 2.9. Zemindeki kayma düzlemleri (Budhu, 2011).	11
Şekil 2.10. P_a bileşke kuvvetinin etkiye yönü (Budhu, 2011).	12
Şekil 2.11. Coulomb'a göre göçme durumu için P_a ve zemin kamasının yönü (Bowles, 1982).	13
Şekil 2.12. Coulomb pasif basıncı sırasında oluşan zemin kaması ve pasif kuvvetler, a) Pasif durumda oluşan kayma kaması ve kuvvetler, b) Pasif basıncı kuvvet poligonu (Bowles, 1982).	14
Şekil 2.13. İstinat duvarlarında stabilite durumları, a) Kayma, b) Dönme ve taşıma gücü göçmesi, c) Taban göçmesi, d) Yapısal göçme (Budhu, 2011).	15
Şekil 2.14. Rankine'in teorisine göre duvar devrilme kontrolünde oluşan kuvvetler (Das, 1984).	16
Şekil 2.15. Kayma kontrolü için ağırlık istinat duvarında ve konsol istinat duvarında genel durum (Budhu, 2011).	17
Şekil 2.16. Mononobe-Okabe yönteminde aktif kama üzerine etkiyen kuvvetler ve kuvvet poligonu.	20
Şekil 2.17. Seed-Whitman yöntemine göre zemin kaması (Yıldız, 2015).	21
Şekil 4.1. Özberk ve Kahyaoğlu (2018) çalışmasında istinat duvarı ve zemin bilgileri.	27
Şekil 4.2. Analiz yapılan bölgelerdeki deprem ivme katsayıları.	29
Şekil 4.3. DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 için kullanılan duvar boyutları.	29
Şekil 4.4. Arslan ve diğ. (2018) çalışmasında duvara ait parametrelerin görüntüsü.	30
Şekil 4.5. Arslan ve diğ. (2018) çalışmasında diğer parametreler.	30
Şekil 4.6. İncelenen temel zemini özellikleri (Çakır ve Livaoğlu, 2013).	31

Şekil 5.1. istCAD programında yeni proje açılışı ve proje verileri giriş ekranı.	33
Şekil 5.2. Konsol tipi istinat duvarı veri giriş ekranı.	34
Şekil 5.3. Duvarın geometrisini belirleyen verilerin giriş ekranı.	35
Şekil 5.4. Duvar arkasındaki zeminlere ait verilerin girişi.	36
Şekil 5.5. Duvarın aktif ve pasif bölgesine yapılacak kanal kesitlerinin belirlenmesi.	36
Şekil 5.6. Toptan göçme sekmesinin görüntüsü.	37
Şekil 5.7. Donatı sekmesinin ekran görüntüsü.	38
Şekil 5.8. Çizim sekmesinin ekran görüntüsü.	38
Şekil 5.9. Rapor alma sekmesinin görüntüsü.	39
Şekil 5.10. Yük diyagramlarının görüntüsü.	39
Şekil 5.11. İç kuvvetler diyagramlarının görüntüsü.	40
Şekil 5.12. Opsiyonlar sekmesinin görüntüsü.	40
Şekil 5.13. Opsiyonlarda “Donatılar” sekmesinin görüntüsü.	41
Şekil 5.14. “Barbakan ve Derz” sekmesinin görüntüsü.	41
Şekil 5.15. Çiroz ve sehpa sekmesinin görüntüsü.	42
Şekil 5.16. Plaxis 2D programında “Soil, Structures, Mesh, Flow Conditions, Staged Construction” sekmelerinin görüntüsü.	43
Şekil 5.17. Plaxis 2D programında “Output” (Çıktılar) ekranı.	44
Şekil 6.1. Konsol istinat duvarı boyutları.	45
Şekil 6.2. Zemin ve hesap parametreleri.	46
Şekil 6.3. Konsol istinat duvarının boyutları ve toprak itkileri.	49
Şekil 6.4. istCAD programında konsol istinat duvarının boyutlandırılması.	57
Şekil 6.5. istCAD’de duvarın stabilite kontrollerinin görüntüsü.	57
Şekil 6.6. “İç kuvvetler diyagramı” sekmesinden alınan (1-kv) durumunda I-I kesitine ait (a) statik, statik + dinamik kesme kuvveti ve (b) statik, statik + dinamik moment değeri.	58
Şekil 6.7. AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (tdth.afad.gov.tr).....	59
Şekil 6.8. Yer altı su seviyesi duvar yüksekliğinde.	60
Şekil 6.9. (a) ve (c) : Yer altı su seviyesi yok, (b) ve (d): Yer altı su seviyesi 6,50 metrede.	61
Şekil 6.10. Yer altı su seviyesinin istinat duvarındaki kesit tesirlerine etkisi, a) YASS yok iken kesme kuvveti ve moment değeri, b) YASS 6,50 m’de iken kesme kuvveti ve moment değeri.	62
Şekil 6.11. Duvar yüksekliğinin değişmesiyle artan duvar boyutları, a) 4,50 m, b) 5,50 m, c) 7,50 m, d) 8,50 m.	63
Şekil 6.12. Kil dolgu kullanıldığında göçen duvara ait kontrol sonuçlarının görüntüsü.	66
Şekil 6.13. Duvar gövdesi temel tabanının soluna dayalı (L tipi konsol istinat duvarı).	67
Şekil 6.14. Duvar “L” tipinde tasarlandığında kontrol sonuçlarının görüntüsü.	67
Şekil 6.15. Güvenli tasarım yapıldıktan sonra “L” tipi duvarın boyutları.	68
Şekil 6.16. Zemin eğimi 0° olması durumunda duvar boyutu.	69
Şekil 6.17. Konsol istinat duvarı kesit atalet momentleri şeması.	71
Şekil 6.18. H: 6,50 m, Dr: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS yok, α : 15° (istCAD ana modeli), a) Toplam deformasyon (u), b) Yatay deformasyon (u_x), c) Düşey deformasyon (u_y), d) I-I kesiti kesme kuvveti (V), e) I-I kesiti eğilme momenti (M).	77

Şekil 6.19. H: 6,50 m, D _r : 1,50 m, q: 10 kPa, YASS var (6,50 m), α : 15° (istCAD ana modeli), a) Konsol istinat duvarının model görüntüsü, b) x50 kat büyütülmüş deforme mesh, c) Toplam deformasyon (u), d) Yatay deformasyon (u_x), e) Düşey deformasyon (u_y), f) I-I kesitinde kesme kuvveti (V), g) I-I kesitinde eğilme momenti (M), h) Plastik noktalar.....	80
Şekil 6.20. Kullanılan proje materyalleri.....	84
Şekil 6.21. Model geometrisi.....	85
Şekil 6.22. Model geometrisinin detaylı görünümü.....	86
Şekil 6.23. Modelin sonlu eleman ağı görüntüsü.....	86
Şekil 6.24. Hesaplama aşamaları ve oturmadan kaynaklı 0,40g'de göçmenin gerçekleşmesi.....	87
Şekil 6.25. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için toplam deformasyon değerleri.....	88
Şekil 6.26. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için yatay deformasyon değerleri.....	90
Şekil 6.27. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için düşey deformasyon değerleri.....	92
Şekil 6.28. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvardaki kesme kuvveti değerleri.....	94
Şekil 6.29. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvarın gövdesindeki yatay deplasmanlar.....	96
Şekil 6.30. 0,40g ivmenin etkimesi sonucu göçmeye uğrayan modelde oluşan deforme sonlu eleman ağı.....	98
Şekil 6.31. istCAD programından alınan H: 6,50 m konsol istinat duvarı için metraj bilgileri.....	98
Şekil 6.32. H: 6,50 m konsol istinat duvarı için donatı planı.....	99



KONSOL İSTİNAT DUVARLARININ 2018 TBDY'YE GÖRE İRDELENMESİ

ÖZET

Türkiye’de sık gündeme gelen istinat duvarı yıkılma olayları bu tezin çıkış noktası olmuştur. Tez kapsamında öncelikle istinat yapıları hakkında genel bilgi verilip statik ve dinamik durumdaki hesaplama yöntemleri anlatılmıştır. Araştırma kapsamında yıkılan duvar örnekleri fotoğraflardan incelenip yıkılma nedenleri irdelenmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde değişen dinamik hesaplama bölümünün eski yönetmelikle (2018 ve 2007) karşılaştırılabilmesi için örnek problem üzerinde elle çözüm yapılmıştır. Bir Türk yazılımı olan istCAD ile duvar yüksekliğinin (H) 6,50 m, temel gömme derinliğinin (D_f) 1,50 m, zemin eğiminin (α) 15° , zemin arkası sürşarj yükünün (q) 10 kPa olduğu ve yer altı su seviyesinin mevcut olmadığı durumda modelleme yapılmıştır. Elle çözülen modelde elde edilen sonuçlar eski ve yeni yönetmelik sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. IstCAD programında ayrıca yer altı su seviyesinin, duvar yüksekliğinin, dolgu malzemesi özelliğinin, duvar gövdesinin konumunun ve zemin eğiminin etkisinin betonarme konsol istinat duvarının stabilitesine ve kesit tesirlerine etkisi statik ve dinamik durumlarda irdelenmiştir. Parametrelerin etkilerine göre stabilizeyi bozan durumlarda istinat yapısının boyutları güncellenmiş ve kesit tesirlerindeki değişim incelenmiştir. Bir diğer geoteknik yazılımı olan Plaxis 2D ile de ana modelin (H: 6,50 m, D_f : 1,50 m, α : 15° , q: 10 kPa, Y.A.S.S.: yok) statik ve dinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 6,50 m duvar yüksekliği için toplam 64 adet kombinasyona ait modellerde deformasyonlar ve kesit tesirleri hesaplanmıştır. Bu kombinasyonlara ait modellerde temel gömme derinliğinin, sürşarj yükünün, yer altı su seviyesinin ve duvar üstündeki zemin yüzey eğiminin etkisi irdelenmiştir. 4,50 metreden başlayarak 8,50 metre yüksekliğe kadar olan 5 adet betonarme konsol istinat yapısının metrajı istCAD programından elde edilerek Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı’nın 07/2022 tarihli birim fiyatlarıyla duvarların yaklaşık toplam maliyeti hesaplanmıştır.

Elde edilen verilere göre yeni yönetmelikle dinamik hesap sonucu duvar boyutlarının arttığı yapılan karşılaştırmalarla ortaya konulmuştur. IstCAD ile yapılan analizler sonucunda yer altı su seviyesinin yıkıcı etkisi ortaya konmuştur. Dolgu malzemesi olarak geçirimsizliği ve kayma direnci açısı düşük bir malzeme olan kilin kullanılması durumunda duvara etki eden yanıl basınçların artması ile duvarın gövdesindeki kesit tesirlerinin iki katından fazla arttığı gözlenmiştir. Ana model Plaxis 2D programında modellenmiş ve duvar üstündeki zemin eğiminin 0° ’den 15° ’ye artması ile toplam deformasyon ve yatay deformasyon oranlarının, kesit tesirlerinde ise ciddi şekilde artış olduğu gözlenmiştir. Plaxis 2D programında psödo statik analiz ile 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivmeleri ana modele etki ettirilmiş ve 0,40g ivmede model oturmalardan kaynaklı göçmeye uğramıştır.



EXAMINATION OF CONSOLE RETAINING WALLS ACCORDING TO 2018 TBER

SUMMARY

Within the scope of the thesis, first of all, general information about retaining structures is given, and calculation methods in static and dynamic situations are explained. Lateral earth pressures acting on the wall in static condition Rankine and Coulomb pressure theories and Mononobe-Okabe and Seed-Whitman methods, which are dynamic earth pressures acting in dynamic condition, are included in the thesis. Within the scope of the study, in which the news of the collapse of retaining walls in a static condition, which has recently come to the fore in various regions of Turkey, is investigated, the estimated causes of collapse were investigated by examining these walls from photographs. In the photographs, it was observed that the walls collapsed after a rain. It is estimated that the retaining walls collapsed as a result of the use of granular and impermeable fillings that do not have good drainage. The points to be considered in the construction of retaining walls are explained on the faults seen in the collapsed walls. In order to reveal the differences between the new earthquake code and the changing dynamic calculation method, a manual solution was made and the results were compared with the old earthquake code. Studies on cantilever retaining walls in the literature are included in the thesis. The interface presentation of the two software used in the study was supported by visuals. The walls were modeled in two different retaining wall modeling programs and the results were examined comparatively. With the Turkish-made istCAD software, wall height (H) 6.50 m, foundation burial depth (D_f) 1.50 m, ground slope (α) 15°, back-ground surcharge load (q) 10 kPa and groundwater level modeling were made. The results were compared with the old and new regulation results solved manually. In the IstCAD program, the effects of groundwater level, wall height, infill material, position of the wall body and ground slope on the cross-sectional effects of the reinforced concrete cantilever retaining wall were investigated in static and dynamic conditions. The dimensions of the retaining structure have been updated and the variation of the cross-section effects in cases where the stability has deteriorated due to the effects of the parameters has been examined. Static and dynamic analysis of the main model (H: 6.50 m, D_f: 1.50 m, α : 15°, q: 10 kPa, U.W.L: none) was done with Plaxis 2D, another geotechnical software. In Plaxis, a total of 64 combinations were created for the main model, and the variation of the deformation and cross-section effects on the wall was investigated. The effects of frost level (basic burial depth), surcharge load, groundwater level and ground surface slope on these combinations were investigated. The approximate total cost of the walls has been calculated with the unit prices of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate dated 07/2022, by taking the quantity data of 5 reinforced concrete cantilever retaining structures from 4.50 meters to 8.50 meters from the istCAD program.

It has been observed that the cost increases as the wall dimensions increase. According to the data obtained, it was revealed by the comparisons that the dynamic account values increased with the new arrangement. It is thought that this increase is due to the fact that the ground effects are included in the calculation with the new earthquake code and the S_{DS} (short period design acceleration spectral coefficient) is taken into account. As a result of the wall analyzes made with istCAD, it has been found that the destructive effect of the groundwater level, that the wall can collapse when an impermeable filling is used, and that the slope of the ground imposes excessive loads on the wall. It has been observed that the cross-sectional effects on the wall body increase more than twice as the lateral pressures acting on the wall increase when used in clay filling material with low shear strength angle, which is an undrained material. The main model was modeled in the Plaxis 2D program and by increasing the ground slope from 0° to 15° , the overall deformation, horizontal deformation rate decreased significantly, while the section effects increased significantly. It was observed that the deformation data decreased in all cases as the foundation depth increased in Plaxis. It has been observed that the surcharge load can collapse the retaining wall in cases where the foundation depth is insufficient. Since the heel of the retaining wall is modeled as 1 meter, the models collapsed in all cases where the groundwater level was at the height of the wall. With Plaxis 2D printing pseudostatic analysis, 0.25g, -0.25g, 0.40g and -0.40g accelerations were applied to the main model and at 0.40g acceleration, the model collapsed due to settlements.

1. GİRİŞ

Eğimli arazilerde zemini doğal şev açısından daha büyük açılarda dengede tutmak amacıyla inşa edilen ve kayma/göçme ihtimali olan zeminleri güvenli bir şekilde tutabilen, yanal toprak basınçlarına kendi ağırlığı ve gömme derinliği katkısıyla direnebilen mühendislik yapılarına istinat duvarı denmektedir. İnşa edildiği arazide hesaplanan hidrostatik basınç, statik ve dinamik kuvvet gibi dış etkilere direnen bu duvarlar kalıcı bir yapı olacak şekilde ağırlık, yarı ağırlık ve konsol istinat duvarı olarak inşa edilebilirler.

Statik durumda dayanma duvarına etki eden yanal toprak basınçları Rankine ve Coulomb teorileri yardımıyla kolayca hesaplanabilmektedir. Fakat dinamik şartlar altında duvarın üzerine etkiyen itkilerin saptanması statik duruma göre daha karmaşıktır. Mononobe-Okabe yöntemi olarak bilinen dinamik hesap yöntemi, Coulomb teorisinin kabullerini kapsayarak geliştirilmiş ve bu yöntem sonrasında çıkan diğer yarı-statik yöntemlere de öncü olmuştur. Yarı-statik yöntemlerde dikkat edilen en önemli husus deprem ivme katsayısının doğru bir şekilde seçilmesidir.

Dayanma duvarlarının güvenli olarak servis ömrünün tamamlanabilmesi için öncelikle önemli olan husus işin en başında zemin etüdünün yapılmasıdır. Sonrasında duvara gelen statik ve dinamik yükler doğru belirlenmeli ve yapılan ön boyutlandırmalar sonrasında sınır şartları dikkate alınarak duvarın kayma, devrilme ve taban basıncı kontrolleri yapılmalıdır.

Dayanma duvarlarının göçmesi son zamanlarda ülkemizde sık rastlanan bir durum haline gelmiştir. En ufak bir yağışta dahi statik durumda göçebilen bu dayanma duvarları incelendiğinde; tip projelerin ve uygun olmayan duvar tasarımlarının kullanıldığı, eksik drenaj sistemi veya su tutan, geçirimsiz özelliklere sahip dolgu tercihleri gibi kritik hataların yapıldığı görülmektedir. Bu kritik hataların önüne geçmek ve duvarın güvenli bir şekilde servis ömrünü tamamlayabilmesi için; dayanma duvarı yapılacak arazinin zemin etüdü uzmanlar tarafından yapılmalı, aktif kuvvetin azaltılması için duvar arkasında iri daneli dolgu kullanılmalı, duvara etki edecek statik-

dinamik itkiler hesaplanıp ortaya çıkan kesit tesirlerine göre duvarın ön boyutlandırması yapılmalıdır. Ayrıca istinat duvarının uygulanma arazisinde varsa yer altı suyu da dikkate alınarak geçirimli ve özellikle granüler bir dolgu malzemesi ile drenaj sistemi yapılmalı ve böylece duvar tasarımı tamamlanmalıdır. Duvar arkasında su birikmesine kesinlikle izin verilmemelidir. Araziye ve probleme uygun şekilde yapılmayan istinat duvarı projeleri araziye uygulandıktan sonra, yapılan bu hatalardan biri sebebiyle duvar göçmeye uğradığında ekonomik olarak olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

Tez içeriğinde; istinat duvarlarının türleri, özellikleri, istinat duvarına etkiyen yanal toprak basınçları, istinat duvarları hasarları, literatür çalışmaları araştırılıp ortaya konmuş, eski ve yeni yönetmelik hesap sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Türkiye’de istinat duvarlarının statik durumda kendi kendine neden göçtüğü araştırılmış ve bu nedenleri ortaya koymak için ISTCAD ve PLAXIS 2D modelleme programlarıyla modeller analiz edilmiş ve karşılaştırmalı olarak sonuçlar ortaya konmuştur. IstCAD’de konsol istinat duvarının hem statik hem de dinamik durumu için çeşitli parametrik analizler yapılmıştır. Plaxis 2D yazılımında ise gömme derinliği, zemin eğimi, sürşarj yükü gibi parametre etkileri ile ilgili 64 adet kombinasyon statik ve dinamik durumda modellenmiştir. Duvar yüksekliğine bağlı değişen konsol istinat duvarlarının analizi yapılarak maliyet farkları ortaya konulmuştur.

2. İSTİNAT DUVARLARI

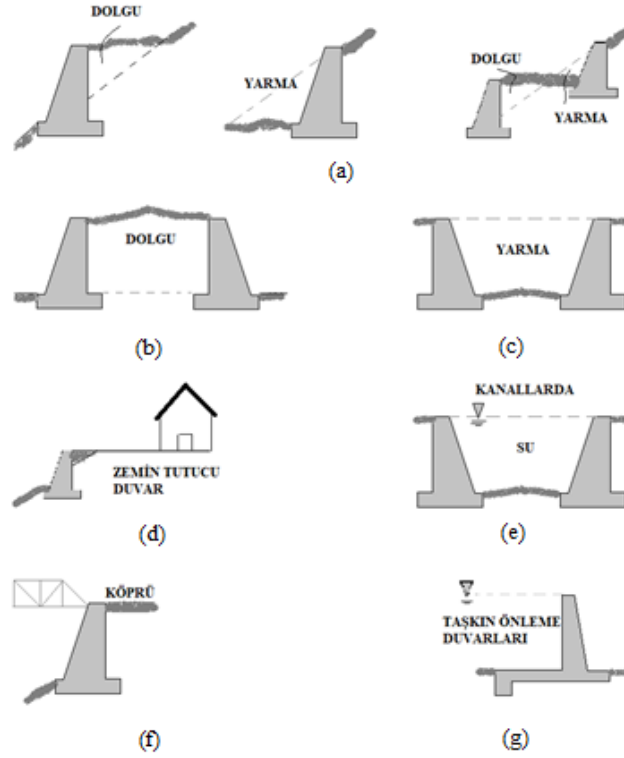
Göçme ihtimali olan problemlili uygulama alanındaki zemin yanal itkilerine, dinamik durumdaki deprem kuvvetlerine, sürşarj yükü vb. duvarı yıkıcı etki gösteren kuvvetlere kendi ağırlığı ile direnç gösteren yapılara istinat duvarı denir. Şev stabilitesinde ve kazılarda sıklıkla tercih edilen bu mühendislik yapıları kırma taş, beton veya betonarme malzemelerden inşa edilebilir. Bu bölümde istinat duvarları çeşitleri, istinat duvarlarında kullanılması gereken dolgu malzemesinin özellikleri, dolgu drenajının nasıl yapılması gerektiği ve istinat duvarlarında don etkisi hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. İstinat Duvarlarının Kullanım Alanları

İstinat duvarları genel olarak zeminin kayma, göçme ihtimalinin olduğu alanlarda kullanılan ve arkasındaki zeminden kaynaklı duvara gelen yanal itkileri dengede tutan yapılardır. Taş (ağırlık), payandalı, yarı betonarme, betonarme konsol istinat duvarı gibi türleri bulunan bu yapıların kullanım alanları da oldukça geniştir. İstinat duvarları Şekil 2.1’de görüldüğü üzere;

- Köprü yaklaşım ayaklarında,
- Rıhtımlarda,
- Demiryolu veya karayolu projelerindeki şevlerde,
- Taşkınların önlenmesinde,
- Göçme ihtimali olan zeminlerin stabilite güvenliğinin sağlanmasında,
- Derin inşaat kazılarında

kullanılırlar.



Şekil 2.1. İstinat duvarlarının kullanım alanları; a) Yamaç yolları, b) Dolgu gerektiren yollar, c) Yarma gerektiren yollar, d) Zemin tutan duvarlar, e) Su kanalları, f) Köprü yaklaşım ayakları, g) Taşkın önleyici duvarlar.

2.2. İstinat Duvarı Çeşitleri

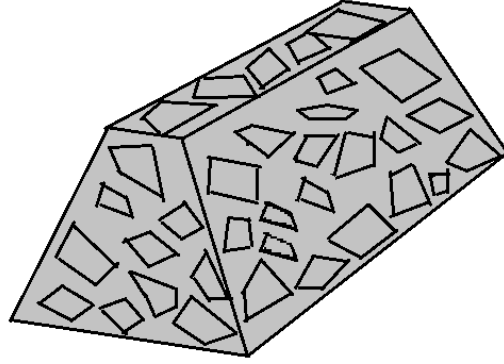
Arazide uygulanacak dayanma yapısının türü; istenen yükseklik, inşaat alanının özellikleri, elde bulunan yapı malzemeleri, yeraltı suyu durumu, dolguda kullanılacak tercihen kohezyonsuz malzemenin türü, yerel şartlara uygunluğu ve kullanma işlevine bağlı olarak belirlenir (TS-7994, 1990).

Dayanma yapıları TS-7994 (1990)'a göre; ağırlık tipi istinat duvarları (taş ağırlık ve beton ağırlık tipi), yarı ağırlık istinat duvarları, betonarme istinat duvarları (konsol ve payandalı) olarak sınıflandırılabilir.

2.2.1. Ağırlık tipi istinat duvarları

TS-7994 (1990)'da "Bu duvar türü harçlı ve harçsız taş örgü, tuğla, briket veya betondan yapılır. Yanal toprak itkilerini öz ağırlığı ile karşılar" ifadesi bulunmaktadır (s. 2). Bu duvar tipi artan zemin basıncına kalınlığı ile direnmektedir. Gülden (2014)'e göre, "Ağırlık istinat duvarları çok yüksek duvarlarda ekonomik olmamaktadır" (s. 7).

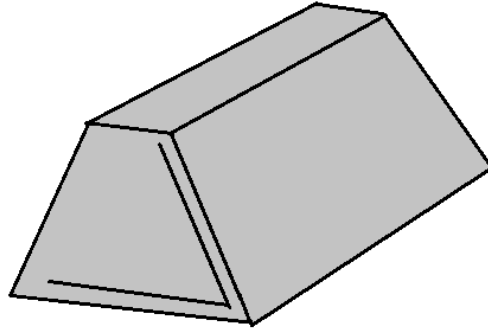
Bu nedenle ağırlık istinat duvarları genelde 4-5 m yüksekliğinde imal edilirler. Ağırlık tipi istinat duvarlarının artı yönü kendi ağırlığı sayesinde duvarda aşınma, paslanma ve kısmi kırılmalar gibi istenmeyen durumların diğer istinat türlerine göre daha az yaşanmasıdır. Şekil 2.2’de ağırlık tipi istinat yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2. Ağırlık tipi istinat yapısı.

2.2.2. Yarı ağırlık istinat duvarları

Yarı ağırlık istinat yapısı, duvar boyutlarının ekonomik olmadığı durumlarda malzemeden tasarruf edilmek için çelik donatı kullanılarak yapılan duvarlardır. Çelik donatılar sayesinde duvarda oluşan çekme gerilmeleri karşılanarak duvarın boyutunun küçültülmesi amaçlanır. Ekonomik aralıkta kalınması için genellikle 5 ila 6 metre yüksekliğinde inşa edilirler. Şekil 2.3’te yarı ağırlık istinat duvarı görülmektedir.



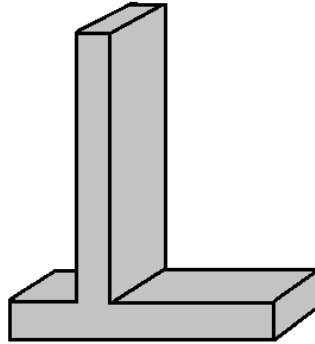
Şekil 2.3. Yarı ağırlık istinat yapısı.

2.2.3. Betonarme istinat duvarları

Çelik donatılar aracılığıyla duvara çekme dayanımı sağlayan rijit dayanma yapılarıdır. Beton içinde çelik donatı kullanılmasıyla yapı daha ekonomik ve güvenli hale geldiğinden diğer dayanma türlerine göre daha yüksek inşa edilebilirler. Betonarme bu duvarlar konsol ve payandalı dayanma türleri olarak uygulamada sıklıkla tercih edilirler.

2.2.3.1. Konsol istinat duvarları

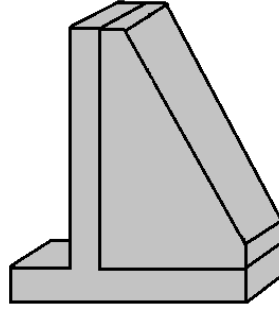
Betonarme olarak inşa edilen bu yapılar statik ve dinamik durumdaki yatay itkilere, arka ampatmanı üzerinde kalan dolgu zeminin ağırlığından faydalanarak direnç gösterirler. Betonun basınca, çeliğin çekmeye çalışması sayesinde ağırlık duvara kıyasla kalınlığı çok daha küçüktür. Duvarın ön ampatmanı devrilmeye karşı, arka ampatmanı ise kayma ve devrilmeye karşı direnç gösterir. Şekil 2.4'te konsol istinat yapısı verilmiştir.



Şekil 2.4. Konsol istinat yapısı.

2.2.3.2. Payandalı istinat duvarları

Payandalı istinat duvarları, konsol istinat yapılarının güvenli ve ekonomik olmadığı durumlarda tercih edilen betonarme istinat duvarı türüdür. Gövde ve temel kısmı konsol istinat duvarı ile aynıdır. Sadece daha fazla yük taşıması için gövde ve temel arasına kama şeklinde olan payanda denilen betonarme yapı elemanı eklenir. Payandalar duvara gelen moment etkilerine karşı direnç göstererek duvarın stabilitesini artırır. TS-7994'e göre, "Yüksekliği 8 m'den az olan duvarlarda payanda gerekmez" (s. 3). Şekil 2.5'te payandalı istinat yapısı görülmektedir.



Şekil 2.5. Payandalı istinat yapısı.

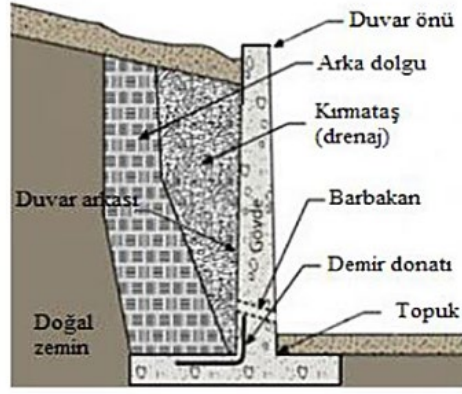
2.3. İstinat Duvarlarında Dolgu Malzemesi

İstinat duvarlarında geri dolgu seçilirken dolgunun; drenajlı, tercihen kohezyonsuz, yüksek kayma direnci açısına sahip ve dayanıklı olması gereklidir. Yenidoğan (2015)’a göre, “Dolgu aşırı derecede sıkıştırılmamalıdır. Duvarın arkasındaki itki duvar boyunca üniform kalmalı ve duvarın çok ufak bir hareketiyle aktif bir etki meydana gelebilmelidir” (s. 60). Geri dolgu; turba, kil, plastik, bitki vb. malzemeleri içermemelidir. Dolgu olarak granüler ve yüksek drenajlı malzemeler tercih edilmelidir. Ek olarak barbakan, dren borusu, geotekstil gibi drenaj önlemleri alınmalıdır.

2.4. İstinat Duvarı Geri Dolgusunda Drenajın Uygulanması

İstinat duvarlarında ortaya çıkan en önemli problemlerden biri geri dolgudaki drenajın sağlanamamasıdır. Geri dolguda zemine sızan yağmur suları ve var olan yeraltı sularının uzaklaştırılmaması durumunda biriken suların zemin boşluklarını doldurmasından dolayı duvara hidrostatik basınç etki etmekte ve bu da hesap aşamasında ek yük olarak ortaya çıkıp boyutları ve duvarın maliyetini oldukça arttırmaktadır.

Türkiye’de birçok istinat duvarı eksik veya yanlış drenaj sistemi yüzünden bir yağışa maruz kaldığında veya yer altı suları nedeniyle statik durumda yıkılmaktadır. Duvar arkasındaki suyun tahliyesini sağlamak için istinat duvarına Şekil 2.6’daki gibi drenaj boruları yerleştirilir ve drenaj delikleri açılır. İstinat duvarında drenaja en uygun dolgu zemini; granüllü ve kohezyonsuz zeminlerdir. Dolgu malzemesine göre en uygun drenaj sistemi seçilerek tasarım yapılmalıdır.



Şekil 2.6. Drenaj sisteminin yapısı (Insepedia, url-9).

Minimum çapı 0,1 m olan drenaj boruları sabit aralıklarla yerleştirilir. İstinat duvarının arkasındaki geri dolgunun çok az miktarda bile ince kum, silt veya kil içermesi durumunda drenaj borularının tıkanmaması için drenaj borularının çevresinde ve arkasında filtre malzemeleri kullanılmalıdır. Yenidoğan (2015)’a göre, “Geçirimli dolgu durumunda, 15 cm çapında ve yatayda 1.0-1.5 metre aralıklarla barbakan veya bir sıra dren borusu iyi bir drenaj sistemi için yeterli olmaktadır. Drenaj sistemi yapıldıktan sonra tıkanmaları önlemek amacıyla sistemin belli aralıklarla kontrol edilip temizlenmesi gerekmektedir” (s. 23).

2.5. İstinat Duvarında Don Etkisi

Özellikle kış aylarında, yer altı su seviyesinin yüksek olduğu durumlarda duvarın arka ve ön kısımlardaki suların donması sonucu buzlanma gerçekleşir. Isınan hava sonucu eriyen buzlar duvarda istenmeyen oturmalara sebep olabilir. Tasarım dışı gerçekleşen bu olay sebebiyle ekstra yük olarak hidrostatik basınç oluşur ve bu durum duvarın stabilitesini bozabilir. Bu nedenle zemindeki don etkisinden kurtulmak için istinat duvarının drenaj sistemi iyi yapılmalı ve temel gömme derinliği donma derinliğinin altına inecek şekilde tasarım yapılmalıdır.

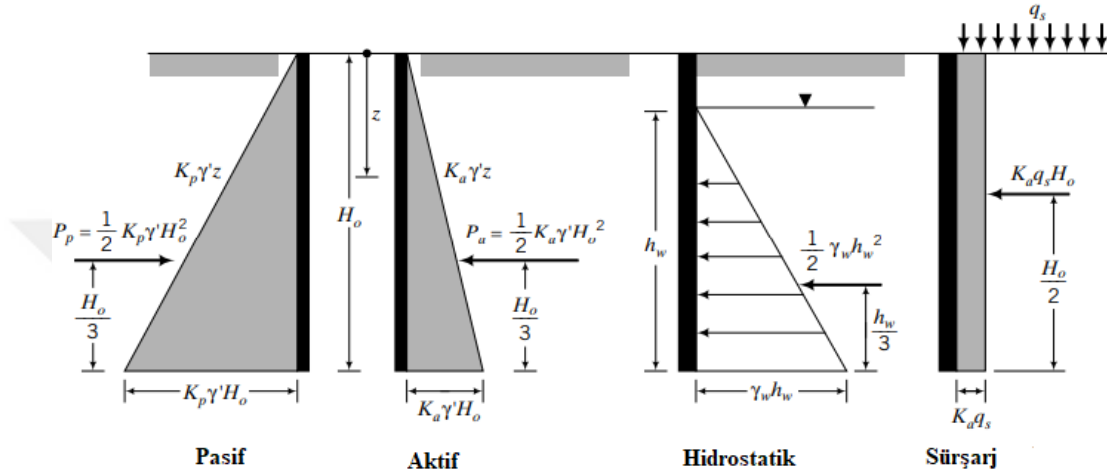
2.6. İstinat Duvarlarına Etkiyen Yanal Toprak Basınçları

İstinat duvarları tasarlanırken zeminden kaynaklı iki basınç durumu bulunmaktadır. Birincisi duvarın arka kısmındaki dolgudan kaynaklı duvara doğru olan aktif basınç; ikincisi ise ön tarafta gömme derinliği sayesinde oluşan pasif basınç durumudur. Bir diğer basınç türü olan hidrostatik basınç, yer altı suyunun veya duvar arkasında biriken

yağmur sularının duvarı devirici yönde etkimesi şeklinde görülür. Bunların yanında dolgu üstündeki sürşarj yüklerinin zemin derinliği ile oluşturduğu basınç da hesaplara katılır.

2.6.1. Aktif, pasif ve sükûnetteki toprak basınçları

Şekil 2.7’de H yüksekliğinde bir duvara etkiyen yanal basınç durumları görülmektedir (Zemin ile duvar arasında sürtünme olmadığı kabul edilmiştir.).



Şekil 2.7. Aktif, pasif yanal toprak basıncı, hidrostatik ve sürşarj etkisinin duvar derinliğiyle değişimi (Budhu, 2011).

Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı “ K_0 ”, belirli bir derinliği belirten “ z ” elemanı, σ'_v düşey efektif gerilme, K_a (aktif toprak basıncı katsayısı), K_p (pasif toprak basıncı katsayısı) ve σ'_h yatay efektif gerilme ile gösterilir. Birimsiz olan K sabiti:

$$K = K_0 = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \quad (2.1)$$

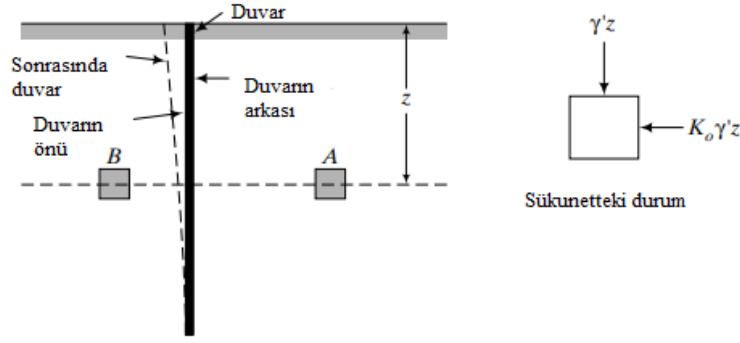
olarak ifade edilmektedir. Şekil 2.8’deki duvarın uzunluğu XY ve arkasındaki dolgunun birim hacim ağırlığı γ olursa K_0 şu şekilde tanımlanabilir:

z derinliğindeki düşey ve yatay efektif gerilmeler:

$$\sigma'_v = \gamma z \quad (2.2)$$

$$\sigma'_h = K_0 \gamma z \quad (2.3)$$

şeklinde olur.



Şekil 2.8. Sükunetteki zemin basıncı (Budhu, 2011).

Jaky (1944)'e göre, sükunetteki zemin basıncı katsayısı normal yüklenmiş ve aşırı konsolide durum için deneysel olarak da şöyle hesaplanabilir:

$$K_0 = 1 - \sin \varphi' \quad (2.4)$$

$$K_0 = (1 - \sin \varphi')(\text{OCR})^{\sin \varphi'} \quad (2.5)$$

Sükunetteki zemin basıncı:

$$P_0 = 0,5K_0\gamma H^2 \quad (2.6)$$

olarak hesap edilir. OCR (aşırı konsolidasyon oranı) ise şu şekilde hesap edilir:

$$\text{OCR} = \frac{\sigma'_c}{\sigma'_0} \quad (2.7)$$

2.6.2. Rankine zemin basınç teorisi

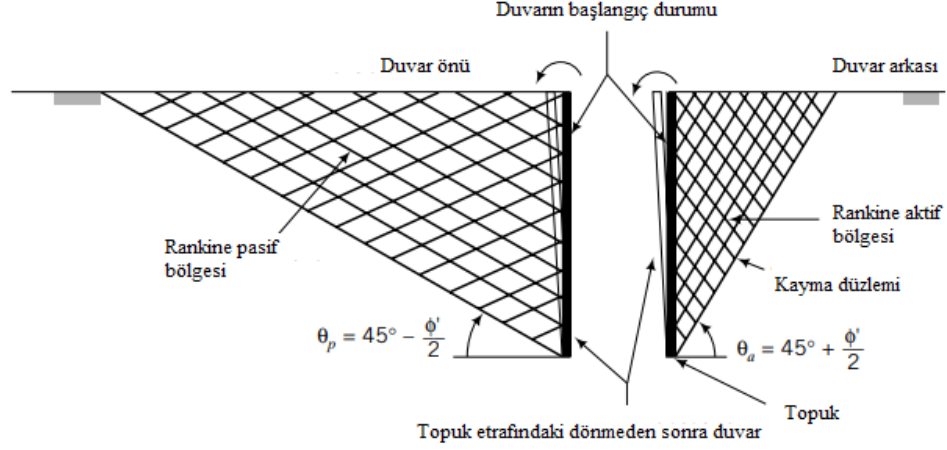
Rankine (1857), zeminin plastik denge haline ulaştığı andaki gerilmeleri dikkate alan ve duvarla zemin arasında sürtünme olmadığı kabulü yapan bir teoridir. Bu teoride;

- Duvarın sürtünmesiz ve rijit olduğu,
- Teorinin sadece düşey duvarlarda uygulanabildiği,
- Zemin yüzünün yatay olup düşey ve yatay doğrultularda kayma gerilmelerinin oluşmadığı

kabul edilmektedir.

2.6.2.1. Rankine aktif zemin basınç teorisi

Rankine, zemin arkasındaki dolgunun duvarı önüne doğru itirmesi halinde aktif basıncın oluştuğunu söylemektedir. Şekil 2.9'da aktif bölge ve kayma kamasının kayma açısı (θ_a) gösterilmektedir.



Şekil 2.9. Zemindeki kayma düzlemleri (Budhu, 2011).

Yatay efektif gerilme σ'_a , Rankine aktif zemin basıncıdır.

$$\sigma'_a = \sigma'_0 \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} - 2c' \frac{\cos \varphi'}{1 + \sin \varphi'} \quad (2.8)$$

$\sigma'_a = \gamma z$ (Yatay efektif gerilme) ise,

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right) - 2c' \tan \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.9)$$

Kohezyonsuz zeminler için yatay aktif basınç denklemi düzenlenirse:

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.10)$$

olur.

σ'_a ve σ'_0 oranı Rankine aktif basınç katsayısı (K_a) olarak isimlendirilir:

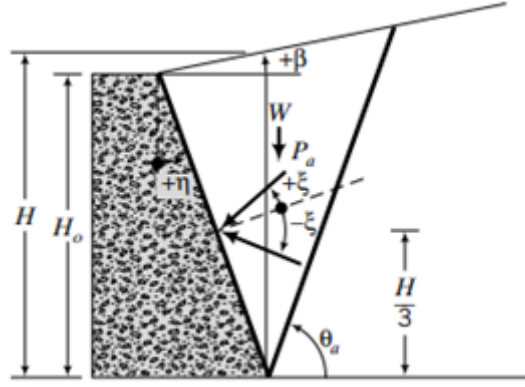
$$K_a = \frac{\sigma'_a}{\sigma'_0} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.11)$$

Duvar yüzeyine etkiyen aktif basınç (P_a) şu denklem ile hesaplanır:

$$P_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a \quad (2.12)$$

Bileşke kuvvet olan P_a 'nın etkiye yeri ve oluşan kayma kaması Şekil 2.10'da gösterilmiştir. Kırılma zarfı doğrultusunun yatayla yaptığı açı " η " olarak verilmiştir.

$$\eta = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi'} \right) \quad (2.13)$$



Şekil 2.10. P_a bileşke kuvvetinin etkiye yönü (Budhu, 2011).

2.6.2.2. Rankine pasif basınç teorisi

Sonsuz derinliğe ve sürtünmesiz yüzeye sahip bir istinat duvarının zemine doğru itilmesi veya zemine doğru bir miktar döndürülmesi durumunda oluşan yanal basıncın adı Rankine pasif basıncıdır (σ'_p).

$$\sigma'_p = \sigma'_0 \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.14)$$

$$\sigma'_p = \gamma z \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.15)$$

$$K_p = \frac{\sigma'_p}{\sigma'_0} = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi'}{2} \right) \quad (2.16)$$

Denklem 2.16 kullanılarak Rankine pasif basınç katsayısı (K_p) elde edilir. Kayma kamasının açısının $(45 - \frac{\varphi'}{2})$ derece olduğu bölgede zemin göçme düzlemi oluşmaktadır.

Duvar yüzeyine etkiyen pasif basınç (P_p):

$$P_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p \quad (2.17)$$

olarak hesaplanır.

2.6.3. Coulomb zemin basınç teorisi

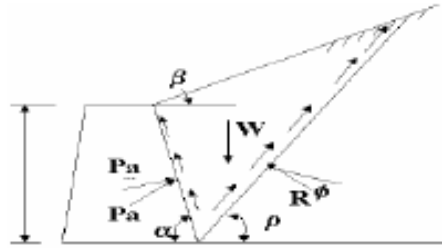
1776 yılında Coulomb tarafından sunulan bu teori, Rankine teorisinin tersine duvarın zeminle sürtünmesini dikkate alarak geri dolgu malzemesinde granüler zemin kullanılması şartıyla duvara gelen yanal zemin basınçlarını hesaplamaktadır.

Coulomb'un kabulleri şu şekildedir:

- Duvarın arkasındaki geri dolgu homojen ve izotropdur.
- Kayma kaması bir düzlem olarak kabul edilir.
- Duvar ve zemin arası üniform şekilde sürtünmeli olarak kabul edilir.
- Duvar arkasındaki kayan kütle, kohezyonsuz zeminlerde kama (üçgen) şeklinde kabul edilir.

2.6.3.1. Coulomb aktif zemin basınç teorisi

Coulomb aktif basınç teorisinde kohezyonsuz zemin aktif durumdayken duvarı öne doğru hareket ettirir. Duvar öne doğru ittirilirken zemin kaması aşağı yönde hareket eder (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Coulomb'a göre göçme durumu için P_a ve zemin kamasının yönü (Bowles, 1982).

Coulomb aktif basınç katsayısı:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta(\cos\delta' + \theta) \left[1 + \frac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)} \right]^2} \quad (2.18)$$

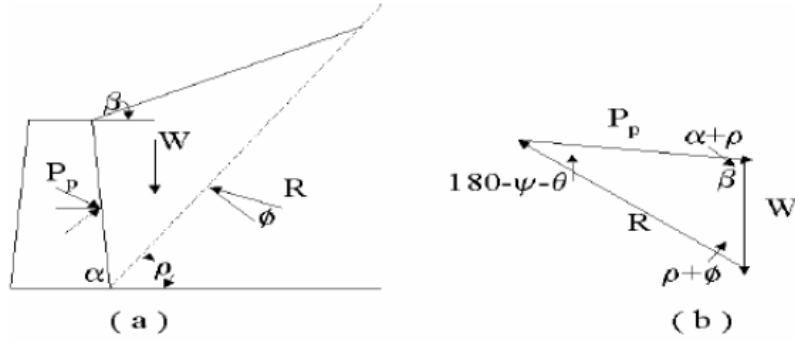
denklemleriyle bulunur. Coulomb aktif basıncı ise:

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 \quad (2.19)$$

şeklinde ifade edilir. Aktif basıncın etkiye noktası ise temel tabanından $H/3$ yüksekliğindedir.

2.6.3.2. Coulomb pasif zemin basınç teorisi

Coulomb pasif basıncına göre, pasif durumda duvar zemine doğru itildiğinden geri dolgu (kaması) sıkışıp yukarı yönde hareket eder. Şekil 2.12'de pasif durumda oluşan zemin kaması ve kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Coulomb pasif basıncı sırasında oluşan zemin kaması ve pasif kuvvetler, a) Pasif durumda oluşan kayma kaması ve kuvvetler, b) Pasif basıncı kuvvet poligonu (Bowles, 1982).

Coulomb pasif basınç katsayısı,

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi' + \theta)}{\cos^2\theta(\cos\delta' - \theta) \left[1 - \frac{\sin(\delta' + \phi')\sin(\phi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\theta - \alpha)} \right]^2} \quad (2.20)$$

olarak hesap edilir. Coulomb pasif basıncı aşağıdaki denklem ile hesap edilir.

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2 \quad (2.21)$$

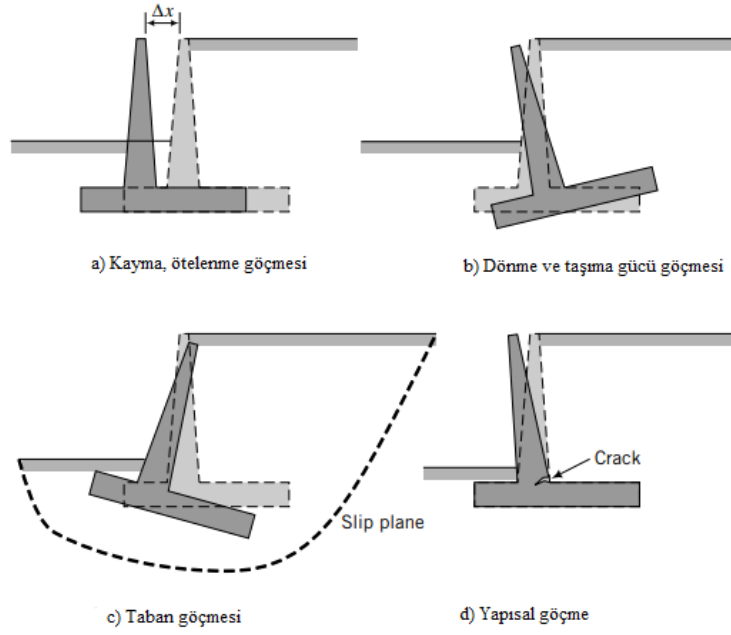
2.7. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarlarına etki edecek aktif basınç, kohezyon basıncı, statik, dinamik vb. etkiler tasarım aşamasında hesaplanarak ön boyutlandırma yapılır. Ön boyutlandırması yapılan istinat duvarının güvenliği için stabilite kontrolleri yapılır.

Stabilite kontrolleri Şekil 2.13’de de gözüktüğü gibi:

- Devrilme,
- Toptan göçme,
- Oturma,
- Yanal ötelenmeden kaynaklı duvar tabanında oluşabilecek göçme,
- Temel tabanındaki taşıma gücü kapasitesi

kontrolleri şeklinde yapılmalıdır.



Şekil 2.13. İstinat duvarlarında stabilite durumları, a) Kayma, b) Dönme ve taşıma gücü göçmesi, c) Taban göçmesi, d) Yapısal göçme (Budhu, 2011).

2.7.1. Devrilme kontrolü

İstinat duvarının arkasındaki aktif itki, diğer statik ve dinamik itkiler duvarı Şekil 2.14'deki "C" noktası (topuk) etrafında devirme eğilimindedir. Bu devrilmeye karşı direnen kuvvetler duvar ağırlığı ve duvar ampatmanı üstündeki zeminin kendi ağırlığı ile karşılanır. Duvarın "C" noktası etrafında dönmesine direnen kuvvetlerin momentinin, "C" noktası etrafında devirmeye çalışan kuvvetlerin momentine oranından elde edilen katsayı, Yeni TB DY 2018 yönetmeliğine göre 2,50 güvenlik katsayısından büyük olmalıdır. Das'a göre güvenlik katsayısı 1,50'dan fazla olmalıdır.

şartı sağlanmalıdır ($q_{\max}$: temelden zemine uygulanan maksimum basınç, q_u : izin verilen maksimum taşıma gücü).

$$q_{\max} = \frac{\Sigma V}{B} \left(1 + \frac{6e}{B} \right) \quad (2.33)$$

$$q_u = cN_c F_{cd} F_{ci} + qN_q F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma_2 B' N_\gamma F_{\gamma d} F_{\gamma i} \quad (2.34)$$

Duvar temelinin kuvvetlerden dolayı oluşan eksantrik yükü güvenle taşıyabilmesi için Meyerhof yöntemi veya azaltma katsayıları yöntemi gibi taşıma gücü yöntemleri kullanılarak temel tabanı basınç değerleri hesap edilir. Taşıma gücü hesaplarında yaygın olarak Terzaghi'nin taşıma gücü teorisi kullanılmaktadır.

$$B' = B - 2e \quad (2.35)$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_{\text{net}}}{\Sigma V} \quad (2.36)$$

$$F_{cd} = 1 + 0,4 \frac{D}{B'} \quad (2.37)$$

$$F_{qd} = 1 + 2 \tan \varphi_2 (1 - \sin \varphi_2)^2 \frac{D}{B'} \quad (2.38)$$

$$F_{\gamma d} = 1 \quad (2.39)$$

$$F_{ci} = F_{qi} = \left(1 - \frac{\psi^o}{90^o} \right)^2 \quad (2.40)$$

$$F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{\psi^o}{\varphi^o} \right)^2 \quad (2.41)$$

$$\psi^o = \tan^{-1} \left(\frac{P_a \cos \alpha}{\Sigma V} \right) \quad (2.42)$$

$$GS_{\text{taşıma}} = \frac{q_u}{q_{\max}} \quad (2.43)$$

İstinat duvarında eksantrisitenin (e), $B/6$ değerinden daha büyük olması durumunda “ $q_{\min}$ ” değeri negatif değer olacak ve dayanma yapısının topuk kısmında çekme gerilmesi oluşacaktır. Zeminin çekme gerilmesi çok düşük olduğundan $e > \frac{B}{6}$ olması halinde duvar boyutlandırması yeniden yapılarak başa dönmelidir. Taşıma gücü için güvenlik katsayısı 3 alınabilir (Das, 1984).

2.7.4. Toptan göçme kontrolü

Toptan göçme hali diğer göçme durumlarından daha ciddi hasarlara yol açabilmektedir. Yeraltı suyu, kazı ve deprem gibi etkiler dayanma yapısını kaydırarak duvarın ve zeminin toptan heyelan etmesine neden olabilir. Toptan göçmeye sebep olabilecek bazı durumlar;

- Zeminin bir kısmının veya tamamının deprem durumunda sıvılaşma riski taşıyan doygun gevşek kum ya da killi zeminden meydana gelmesi,
- Dayanma yapısının altında kalan zayıf zemin tabakasının kalınlığının dayanma duvarının taban genişliğinden (B) 1,00-1,50 kat fazla olması durumu,
- Dayanma duvarının oturtulduğu zeminin drenajsız yumuşak veya orta sertlikte kil olması durumu

olarak sıralanabilir. Toptan göçme tahkiki dilim metotları veya sonlu elemanlar kullanan (PLAXIS 2D, istCAD vb.) yazılımlar kullanılarak yapılabilmektedir.

2.8. Dinamik Toprak Basınçları

Bu bölümde istinat duvarlarının hesabında kullanılan dinamik toprak basıncı hesap yöntemleri anlatılmaktadır.

2.8.1. Mononobe - Okabe dinamik hesap yöntemi

Okabe (1926) ile Mononobe ve Matsuo (1929), depremden dolayı istinat duvarlarına etkiyecek zemin basınçlarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapan ilk araştırmacılar olarak bilinmektedir. Coulomb teorisindeki bütün kabuller bu hesap yönteminde de geçerlidir. Mononobe-Okabe yöntemi kuru ve kohezyonsuz zeminler için geliştirilmiştir ve hesap için aşağıdaki kabuller yapılmıştır:

- Duvardaki yer değiştirmeler, duvar arkasında minimum aktif zemin basıncının oluşması için yeterlidir.
- Minimum zemin basınçları oluştuğunda duvar arkasındaki zemin kırılma noktasına gelir ve kırılma yüzeyi boyunca maksimum kayma gerilmeleri oluşur.
- Kırılma yüzeyi istinat duvarının topuğundan başlayarak belli bir açıyla oluşur.

ile hesap edilmektedir. Buradaki toplam aktif basınç (P_{at}), statik (P_{as}) ve dinamik (P_{ad}) itki olarak ifade edilmektedir.

$$P_{at} = P_{as} + P_{ad} \quad (2.49)$$

Mononobe-Okabe yönteminde dinamik durumda pasif basınç katsayısı da benzer şekilde hesaplanabilmektedir. K_{pt} toplam pasif basınç katsayısı,

$$K_{pt} = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha + \lambda) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + i - \lambda)}{\cos(\delta - \alpha + \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (2.50)$$

olarak hesap edilmektedir.

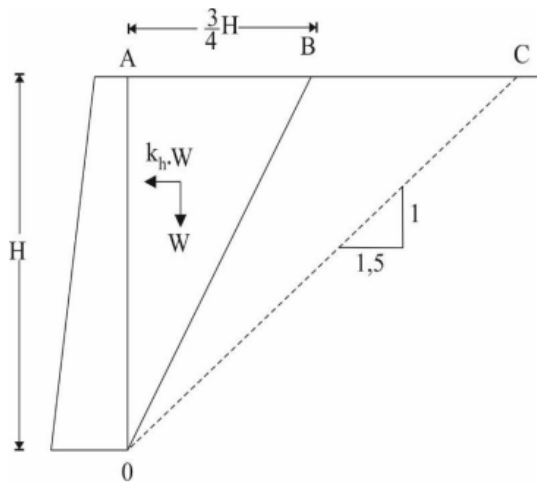
2.8.2. Seed - Whitman yöntemi

Seed ve Whitman (1970), Mononobe-Okabe yöntemindeki karmaşık formüllü dinamik davranışa alternatif ampirik bir ifade ile dinamik bir hesap yöntemi ortaya koymuşlardır. Aşağıdaki denklemlerde gösterilen ek statik itki, duvar arkasındaki zemin açısının yatay ve geri dolgunun daneli olması durumunda k_h katsayısının $3/4$ ' ünün alınması ile değişmiştir.

$$\Delta E_{AE} = \frac{3}{4} * \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * k_h \quad (2.51)$$

$$E_{AE} = \frac{1}{2} * K_A * \gamma * H^2 + \Delta E_{AE} \quad (2.52)$$

Dinamik aktif toprak basıncı, ek statik (ΔE_{AE}) ve dinamik toprak basıncının toplanmasıyla bulunur (Şekil 2.17).



Şekil 2.17. Seed-Whitman yöntemine göre zemin kaması (Yıldız, 2015).

Seed-Whitman yöntemi Mononobe-Okabe yöntemini referans aldığı için aynı eksiklikler bu yöntemde de mevcuttur. Toplam yükün dinamik bileşenin etkidiği nokta 0.6h, toplam yükün etkidiği nokta aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$h = \frac{P_{as} * \frac{H}{3} + \Delta P_{AE} * 0.6 * H}{P_{AE}} \quad (2.53)$$

3. İSTİNAT DUVARI HASARLARI

Ülkemiz tektonik açıdan Anadolu, Afrika, Arap ve Avrasya plakalarının üstünde, tektonik hareket sonucu oluşan yatay ve düşey fay atılımlarıyla gerçekleşen deprem hareketlerini içeren Akdeniz Deprem Kuşağında bulunmaktadır. Akkar (2008)'e göre, “Bu tektonik levha yapılanmasına bağlı olarak Türkiye’de meydana gelen sismik etkinlikler “Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)”, “Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)” ve “Batı Anadolu Gerilme Yapısı” olmak üzere üç temel oluşum tarafından kontrol edilmektedir” (s. 17-34). Bu nedenle topraklarının büyük çoğunluğu aktif deprem kuşaklarında bulunan ülkemizde, özel mühendislik yapılarından biri olan istinat yapılarının da depreme dayanıklı olarak tasarlanmaları gereği açıktır. Aydınöğlu (1997)'na göre, “Ayrıca bu yapıların bazı durumlarda çok değişik özelliklere sahip zeminler üzerine inşa edilmesi zorunluluğu, yapı ile zemin arasında dinamik karşılıklı etkileşim probleminin doğmasına neden olmakta ve zemin-yapı sisteminin dinamik özelliklerinin belirlenmesini gerekli kılmaktadır” (Aydınöğlu, 1997).

3.1. Türkiye’de Karşılaşılan İstinat Duvarı Hasarları

Ülkemizde sıklıkla gündeme gelen dayanma duvarı göçme nedenleri başlıca; drenaj eksikliği, yanlış dolgu malzemesi, tip proje uygulamaları ve imalat hataları gibi önemli hatalardan kaynaklanmaktadır. Genellikle duvar alanı bir yağış aldığında duvara etkiyen hidrostatik basınç dayanma duvarlarının statik durumda göçmesine neden olmaktadır. Tasarım aşamasında çoğunlukla maliyetten kaçılarak yapılan bu hatalar, duvar göçtüktan sonra daha büyük maliyetler ortaya çıkarabilmekte ve can kayıplarına yol açabilmektedir.

Aşağıdaki Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de Türkiye’de statik durumda göçen dayanma yapılarına dair örnekler fotoğrafları ile incelenip yıkılma sebepleri tahmin edilmiştir.

Tablo 3.1. Türkiye’de göçen istinat duvarları örnekleri (url-1, url-2, url-3, url-4).

İSTİNAT DUVARI	KONUM	TAHMİNİ YIKILMA NEDENİ
	İSTANBUL / SANCAKTEPE MEVLANA İLKOKULU (31.07.2018 / url-1)	Yıkılan duvar arkasındaki sisteme bakıldığında drenajın doğru yapılmadığı ve uygun dolgu malzemesinin tercih edilmediği görülmektedir. Fotoğrafta yerlerin nemli olduğu görülmekte, dolayısıyla yağmurun yağmasıyla drenaj eksikliğinden duvarın göçtüğü tahmin edilmektedir.
	İSTANBUL / ÜMRANİYE (31.07.2018 / url-2)	Yaklaşık 20 metre derinliğindeki istinat duvarı, inşaat alanında yaşanan elektrik kablolarındaki patlama nedeniyle tetiklenip yıkılmıştır. Uygun olmayan istinat duvarı seçimi yapılmış ve drenaj sistemi eksikliği gözlemlenmiştir.
	TRABZON (09.02.2022 / url-3)	Binanın katlarına bakıldığında yaklaşık 12 metre yüksekliğindeki taş ağırlık dayanma duvarı, arkasındaki dolgudan geçen su borusunun patlamasıyla göçmüştür. Bu örnekte de dolgu malzemesi yanlış seçilmiş ve drenaj sisteminin yeterli olmadığı söylenebilir.
	İZMİR / NARLIDERE (09.12.2021 / url-4)	Binanın 3. katına dayanan duvarın yaklaşık olarak 9 metre olduğu tahmin edilmektedir. Dolgunun geçirimsiz bir malzeme seçilmemesi, drenaj sisteminin iyi yapılmaması ve optimum duvar yüksekliğinin aşılması ile uygunsuz istinat türü seçilmiş ve yıkımı getirmiştir.

Tablo 3.2. Türkiye’de göçen istinat duvarları örnekleri (url-5, url-6, url-7, url-8).

İSTİNAT DUVARI	KONUM	TAHMİNİ YIKILMA NEDENİ
	İSTANBUL / ÜSKÜDAR (17.12.2021 / url-5)	Sağanak nedeniyle göçen duvarın aslında bir istinat duvarı niteliği bile taşımadığı gözlenmektedir. Tuğla ve harç ile oluşturulan ve drenaj sistemi bulunmayan bu duvar, sağanak nedeniyle arkasındaki hidrostatik basınca dayanamayıp yıkılmıştır.
	TRABZON (25.01.2018 / url-6)	Yaşanan sağanak nedeniyle drenaj sisteminin olmaması ve geçirimli dolgu malzemesinin kullanılmaması sonucu inşaat sahasına ait olan taş ağırlık dayanma duvarı göçmüştür. Fotoğrafa bakıldığında barbakankların olmadığı açıkça görülmektedir.
	KAYSERİ (02.12.2021 / url-7)	Bir istinat duvarı bile sayılamayacak olan tuğla ve harçsız kırma taştan imal edilen bu duvar kendi ağırlığına bile zor dayanırken iş makinasının getirdiği yüke dayanamayıp göçmüştür. Duvarda dolgu malzemesinin yanlış, drenaj sisteminin de eksik olduğu gözlenmiştir.
	KOCAELİ (23.03.2021 / url-8)	Yetersiz yükseklikteki duvar, eksik drenaj sistemi ve arka dolgunun şev verilmeden bırakılması nedeniyle sağanak esnasında heyelanın da etkisiyle ile aktif itkiye dayanamayıp yıkılmıştır.

Yukarıdaki istinat duvarları hasarları detaylı incelendiğinde duvarlarda meydana gelen hasarlar genel olarak;

- Yapılmamış veya hatalı drenaj sistemi (url-1, url-3, url-5, url-6, url-8),
- Yetersiz istinat duvarı temeli,
- Duvar perdesinde yapılan hatalar (url-8),
- Yanlış arka dolgu seçimi (url-1, url-2, url-3, url-4, url-5, url-6, url-7, url-8),
- Hatalı imalat (url-5 ve url-7)

olarak sıralanabilir.

3.2. İstinat Duvarı Yapımında Dikkat Edilecek Hususlar

İstinat duvarlarının zemin etüdünden dinamik tasarımına kadar her aşaması ayrı bir şekilde önemlidir. Hesap aşamasında, tasarım yapılırken dikkat edilmeyen bir parametre duvarın uygulama sonrası statik durumda bile yıkılmasına sebep olabilir. İstinat duvarı yapım aşamalarında dikkat edilecek hususlar aşağıda açıklanarak sıralanmıştır:

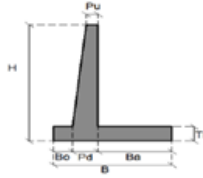
- İlk olarak istinat duvarının yapılacağı alan ve duvar arkasındaki zeminin etüdü yapılmalıdır.
- Duvara etkiyecek sürşarj yükü belirlenmelidir.
- Dayanma duvarının yapılacağı alandaki diğer yapılar, alt yapılar ve varsa yollar dikkate alınmalıdır.
- Zeminin yeraltı suyu durumu tespit edilmelidir.
- Zemin ve uygulama alanına göre en uygun ve ekonomik istinat duvarı türü seçilmelidir.
- Seçilen istinat duvarı türü için gerekli statik ve dinamik analizler yapılarak projelendirilmelidir.
- Duvar arkasındaki dolgu için iyi bir drenaj sistemi yapılmalıdır.
- Duvarın temeli kesinlikle don derinliğinin altına gömülmelidir.
- Duvarın boyutunun uzun olduğu durumlarda 7-10 m aralıklarla düşey derzler yapılmalıdır.

4. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Bu bölümde literatürde istinat duvarlarına yönelik yapılan teorik, deneysel çalışmaların yanı sıra, yönetmelik karşılaştırmaları ve çeşitli parametrelerle maliyet değişimini içeren çalışmalar bulunmaktadır.

Özberk ve Kahyaoğlu (2018), 2018 TBDY’de tasarım spektrumunun değiştirilip tasarımlarda kullanılan ivme katsayılarının arttırıldığını gözlemlemişlerdir. Eski deprem yönetmeliğinde hesaplara katılmayan zemin etkilerinin yeni deprem yönetmeliğinde daha ayrıntılı olarak ele alındığı ve hesaplamalarda bu etkilerin göz önünde bulundurulduğu araştırmacılar tarafından tespit edilmiş ve yeni deprem yönetmeliği (2018) ile daha kapsamlı tasarımlar yapılacağı görülmüştür. Şekil 4.1’deki özelliklere sahip konsol istinat duvarı parametreleriyle kesit tesirlerinin TBDY 2018 ve DBYBHY’ye göre karşılaştırmalı olarak analizini yapmışlardır.

İstinat Duvarının Geometrik Bilgileri



Açıklama	Simge	Değer(H=3)	Değer (H=4)	Değer(H=5)	Değer(H=6)
Duvar yüksekliği(m)	H	3	4	5	6
Taban Genişliği(m)	B	1.5	2.01	2.62	3.25
Ön Ampatman(m)	B ₀	0.4	0.5	0.75	1
Arka Ampatman(m)	B _k	0.85	1.25	1.57	1.9
Temel Kalınlığı(m)	T _k	0.33	0.4	0.5	0.6
Perde Dip Kalınlığı(m)	P _d	0.25	0.26	0.3	0.35
Perde Üst Kalınlığı(m)	P _u	0.2	0.2	0.2	0.2

Zemin Bilgileri

Açıklama	Simge	Değer
Zemin birim hacim ağırlığı	γ	18 kN/m ³
İçsel sürtünme açısı	φ	30
Kohezyon	c	0
Zemin ile duvar arasındaki sürtünme açısı	δ_d	0
Duvar arkasındaki zemin yüzeyinin yataya göre eğimi	β	0
Duvarın yataya göre (duvar önündeki yataydan duvar arkasına doğru) ölçülen açı	ψ	90
Taban zemini sürtünme açısı		0.6
İstinat duvarı malzemesi birim hacim ağırlığı		25 kN/m ³
Zemin emniyet gerilmesi		250 kN/m ²

Şekil 4.1. Özberk ve Kahyaoğlu (2018) çalışmasında istinat duvarı ve zemin bilgileri.

Araştırmacılar yeni yönetmelikle değişen dinamik hesap yöntemini şu şekilde yorumlamışlardır:

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nin (TBDY) en önemli değişikliklerden biri olan Türkiye deprem haritasının (<https://tdth.afad.gov.tr>) değişmesiyle birlikte dinamik hesaplarla ilgili bölümlerde esaslı değişiklikler gerçekleşmiştir. Örneğin dayanma yapıları ile ilgili bölümde yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayılarının hesabı yeni deprem haritasındaki “Kısa periyod tasarım spektral ivme katsayısına” (S_{DS}) göre yapılmaya başlanılmıştır. Ayrıca TBDY'nin EuroCode8 - Part5'le çok benzeştiği ve uyum içerisinde olduğu anlaşılmaktadır (Özberk ve Kahyaoglu, 2018).

Yazarlar bu çalışmayla konsol istinat duvar yükseklikleri 3, 4, 5, 6 metre, deprem yer hareketi düzeyi de DD-2 olan tasarımlar yapmış ve Türkiye'den önceki ifadeyle 1. derece deprem bölgesi olan iki nokta seçerek bu noktalar arasında çıkabilecek farkları ortaya koymak istemişlerdir. Değişen hesap yöntemiyle dinamik etkiler ile ilgili, “DBYBHY'e göre elde edilen dinamik etkiler hiç bir modelde statik etkiden daha büyük değer alamazken TBDY'e göre elde edilen dinamik etkiler statik etkiden daha büyük değerler alabilmektedir.” cümlesi kurulmuştur (Özberk ve Kahyaoglu, 2018).

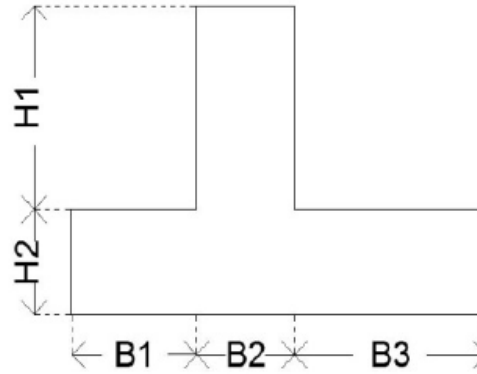
DBYBHY'e göre 1. derece deprem bölgesinde yapılacak 6 m yüksekliğindeki bir duvara gelen dinamik zemin etkisi 45.76 kN/m olarak hesaplanırken. DBYBHY'e göre yine 1. Bölge kabul edilen iki farklı noktada TBDY'e göre Ödemiş ve Karlıova'daki seçilen noktalarda yerel zemin sınıfına bağlı olarak dinamik zemin etkisi 41.41 kN/m ile 1034,37 kN/m arasında değerler alabilmektedir. Bu çalışmada TBDY ile gelen yeni ve daha gerçekçi harita anlayışı sayesinde TBDY ve DBYBHY'e göre elde edilen dinamik zemin etkisi sonuçlarında bazı noktalarda birbirine yakın değerler elde edilirken bazı noktalarda neredeyse 23 kata varan farklı sonuçlar elde edilmiştir (Özberk ve Kahyaoglu, 2018).

Yaman ve Selçuk (2018) çalışmalarında, uygulamaya giren yeni deprem yönetmeliği (TBDY 2018) sonrasında hesaptaki deprem ivmesi değerlerinin arttığını belirterek bu değişimin konsol dayanma duvarının boyutlarına ve oluşan maliyete etkisini incelemişlerdir. Yazarlar, çalışmalarında Mononobe–Okabe dinamik yöntemini kullanarak deprem özellikleri farklı olan dört bölgede konsol duvar yüksekliğine, dolgu ve temel malzemesinin mekanik özelliklerine bağlı olarak duvardaki maliyet değişimini irdelemişlerdir. Araştırmacılar duvar yüksekliklerini 3, 5 ve 7 m almışlar, zeminde sürşarj yükünün olmadığı, duvar arkasındaki zeminin düz olduğu, sisteme gelen suyun barbakanlarla tahliye edildiği, duvarın aktif basınç oluşturacak biçimde hareket ettiği ve duvarla geri dolgu malzemesinin arasında sürtünmenin olmadığı

kabullerini yapmışlardır. Şekil 4.3'deki boyutlarla çalışmada analizi yapılan duvarların 4 bölgedeki deprem ivme sayılarına Şekil 4.2'de yer verilmiştir.

BÖLGE	DBYBHY 2007		TBDY	
	Deprem bölgesi	Etkin yer ivme katsayısı (A_0)	Enlem/Boylam	Harita spektral ivme katsayısı (S_s)
1) Bakırköy	1.DDB	0,40	40.96/28.83	1,311
2) Fatih	2.DDB	0,30	41.00/28.92	1,012
3) Sarıyer	3.DDB	0,20	41.09/29.00	0,729
4) Çatalca	4.DDB	0,10	41.40/28.37	0,518

Şekil 4.2. Analiz yapılan bölgelerdeki deprem ivme katsayıları.



DBYBHY 2007						
Yükseklik(m)	İnceleme Yapılan Bölgeler		Boyutlar(m)			
		H1	H2	B1	B2	B3
3	1. Bölge	2,7	0,3	0,35	0,3	1
	2. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	1
	3. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	1,2
	4. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	1,5
5	1. Bölge	4,5	0,5	0,6	0,4	1,65
	2. Bölge	4,5	0,5	0,75	0,4	1,8
	3. Bölge	4,5	0,5	0,8	0,4	2,1
	4. Bölge	4,5	0,5	0,8	0,4	2,45
7	1. Bölge	6,3	0,7	0,65	0,5	2,6
	2. Bölge	6,3	0,7	1	0,5	2,6
	3. Bölge	6,3	0,7	1,1	0,6	2,9
	4. Bölge	6,3	0,7	1,1	0,6	3,45

TBDY						
Yükseklik(m)	İnceleme Yapılan Bölgeler		Boyutlar(m)			
		H1	H2	B1	B2	B3
3	1. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	1,25
	2. Bölge	2,7	0,3	0,65	0,3	1,4
	3. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	1,75
	4. Bölge	2,7	0,3	0,5	0,3	2,1
5	1. Bölge	4,5	0,5	0,9	0,4	2,1
	2. Bölge	4,5	0,5	0,9	0,4	2,4
	3. Bölge	4,5	0,5	0,8	0,5	2,9
	4. Bölge	4,5	0,5	0,7	0,5	3,4
7	1. Bölge	6,3	0,7	1,1	0,5	3
	2. Bölge	6,3	0,7	1,1	0,5	3,4
	3. Bölge	6,3	0,7	1	0,6	4,1
	4. Bölge	6,3	0,7	1	0,6	4,7

Şekil 4.3. DBYBHY 2007 ve TBDY 2018 için kullanılan duvar boyutları.

Yazarlar tarafından yapılan araştırmalar sonucunda yeni deprem yönetmeliğiyle birlikte daha kapsamlı tasarımlar yapılacağı görülmüştür (Yaman ve Selçuk, 2018).

İstinat duvarları maliyetleri, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2016 birim fiyatları referans alınarak donatı, beton ve kalıp işçiliği için hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonrasında, “Yeni deprem yönetmeliği ile birlikte değişen ivme değerleri istinat duvarlarına gelen dinamik yükleri arttırmış, kaymaya ve devrilmeye karşı güvenlik sayılarını azaltmıştır” sonucu ortaya çıkmıştır (Yaman ve Selçuk, 2018). Sonuç olarak araştırmacılar, DBYBHY'ye göre TBDY ile beraber temel genişliği boyutlarının (B₁, B₂, B₃) yaklaşık olarak %20-30 oranında arttığını, artan donatı miktarı ve boyutlar sonucu da toplam duvar maliyetinin yaklaşık %10 oranında arttığını göstermişlerdir.

Arslan ve diğ. (2018) çalışmalarında, şevi güvenli şekilde dengede tutabilen bir konsol istinat duvarı tasarlamış ve diğer etki parametrelerini (Şekil 4.4 ve Şekil 4.5) sabit tutarak sadece farklı kuvvette deprem yükleri altında DBYBHY'ye göre dayanma duvarının davranışını ve maliyetini incelemişlerdir.

Parametre Adı	Değer	Birim
Dolgu birim hacim ağırlığı	1,80	[t/m ³]
Dolgu içsel sürtünme açısı	30	[derece]
Dolgu yatay açısı	0	[derece]
Dolgu ile duvar arasındaki sürtünme açısı	0	[derece]
Aktif dolgu yüksekliği	6,0	[m]
Pasif dolgu yüksekliği	0,5	[m]
Kohezyon	0,90	[tf/m ²]
Zemin emniyet gerilmesi	25,00	[tf/m ²]
Zemin sürtünme katsayısı	0,65	-
Sürşarj yükü	1,2	[tf/m]

Şekil 4.4. Arslan ve diğ. (2018) çalışmasında duvara ait parametrelerin görüntüsü.

Adı	Simge	Değer	Birim
Beton sınıfı	C	25,00	-
Betonun tasarım basınç dayanımı	f _{cd}	1699,53	[tf/m ²]
Beton tasarım çekme dayanımı	f _{ctd}	118,97	[tf/m ²]
Donatı sınıfı	S	420	-
Donatının tasarım akma dayanımı	f _{yd}	37241,81	[tf/m ²]

Şekil 4.5. Arslan ve diğ. (2018) çalışmasında diğer parametreler.

Arslan ve diğ. (2018)'ne göre, “Deprem bölgelerinde inşa edilen istinat duvarlarına statik toprak basınçlarının yanı sıra dinamik toprak basınçları da önemli ölçüde etki etmektedir. Tasarımda yapıların daha emniyetli ve daha kullanışlı olmasının yanı sıra daha ekonomik olması da yadsınılmayacak bir öneme sahiptir” (s. 28-35). Tasarımlar sonucu birinci ve dördüncü deprem bölgesinde tasarlanan istinat duvarlarının arka ampatmanlarının boyları arasındaki farkın 0,95 metreyi bulduğu saptanmıştır. Ayrıca donatı çapının da 1 mm değiştiği tespit edilmiştir. Bu değişimlerin maliyete etki edeceği vurgulanmıştır. Arslan ve diğ. (2018) yaptıkları çalışma sonucunda, “...istinat duvarının yapılacağı yer görülmeden, zemin özellikleri ve deprem parametreleri göz

önünde bulundurulmadan en kritik değerlere göre tasarlanmış istinat duvarlarının tip proje olarak uygulatılması büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır” (s. 28-35) diyerek literatüre katkıda bulunmuşlardır.

Çakır ve Livaoğlu (2013)’na göre, “Betonarme konsol istinat duvarları çok farklı amaçlarla birçok inşaat mühendisliği uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yapıların zorunlu olarak aktif deprem bölgelerinde de inşa edilmelerinden dolayı deprem davranışlarının belirlenmesi son derece önemlidir” (s. 143-152). Bu çalışmanın amacı, konsol istinat duvarının temel zemini ve dolguyla etkileşiminin deprem davranışının incelenmesidir. İlk olarak dolgu-konsol ve istinat duvarı-temel/zemin sonlu elemanlar yöntemiyle modellenmiştir. Sistemdeki yayılmaya bağlı gerçekleşen sönüm ve yansıma etkilerini önlemek için modellemede viskoz sanal sınırlar kullanılmıştır. Araştırmada duvar yüksekliği 6 m, temel yüksekliği 0.6 m, ön ampatman 1 m, arka ampatman genişliği 1.6 m olan istinat duvarı tasarımı kullanılmıştır. Konsol istinat yapısı üstünde zeminin etkilerini incelemek için beş farklı temel zemini durumu tasarlanarak deprem durumunda incelenmiştir (Şekil 4.6).

Zemin sistemi	E (kN/m ²)	G (kN/m ²)	ν	γ (kg/m ³)	v_z (m/s)	v_p (m/s)
S1	2000000	769231	0.30	2000	620.17	1160.24
S2	500000	185185	0.35	1900	312.20	649.89
S3	150000	55556	0.35	1900	171.00	355.96
S4	75000	26786	0.40	1800	121.99	298.81
S5	35000	12500	0.40	1800	83.33	204.12

Şekil 4.6. İncelenen temel zemini özellikleri (Çakır ve Livaoğlu, 2013).

Çözümlemelerde integrasyon yöntemlerinden olan Newmark yaklaşımı kullanılmıştır. Deprem etkisinde gerçekleştirilen hesaplamalardan, duvarın yer değiştirme ve gerilme değerlerinin temel zemininin parametrelerinden fazlasıyla etkilenebileceği sonucuna ulaşılmıştır. Bu yüzden tip projeler baz alınarak inşa edilen istinat duvarlarının her bölge için uygun olmasının imkan dahilinde olmadığı saptanmıştır. Dolayısıyla duvarın inşa edildiği zeminin etüdünün yapılması ve uygun istinat türü seçilerek uygulamaya geçilmesinin daha gerçekçi ve doğru bir çözüm olduğu ortaya konulmuştur. Binici ve diğ. (2010; akt. Acarca, 2021), 2006 yılında Kahramanmaraş’ta herhangi bir belirti göstermeden aniden göçen istinat duvarını incelemişler ve duvarın olası göçme nedenlerini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda söz konusu istinat yapısının inşasının ve tasarımının TS-7994’e göre yapılmadığını, buna ek olarak

da standartların altında malzeme kullanımıyla kötü bir işçiliğe rastlandığını belirtmişlerdir.

Lahande (2016) yaptığı araştırmada, farklı zemin çeşitlerinin deprem etkisi altında betonarme konsol istinat duvarının yüksekliğine olan etkilerini incelemiştir. İstinat duvarlarının uç kısmındaki sapma miktarının zeminin sıklığı arttıkça azaldığını ve deprem etkisinin artmasıyla da arttığını ortaya koymuştur.



5. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YAZILIMLAR

Bu çalışmada konu olan istinat duvarları hasarlarını ve istinat duvarı yapımındaki hataları modellemelerle analiz edip değerlendirmek için istinat duvarı analiz, tasarım ve çizim yazılımı olan İstCAD ile global bir geoteknik sonlu elemanlar programı olan PLAXIS 2D kullanılmıştır.

5.1. İstCAD İstinat Duvarı Analiz, Tasarım ve Çizim Programı

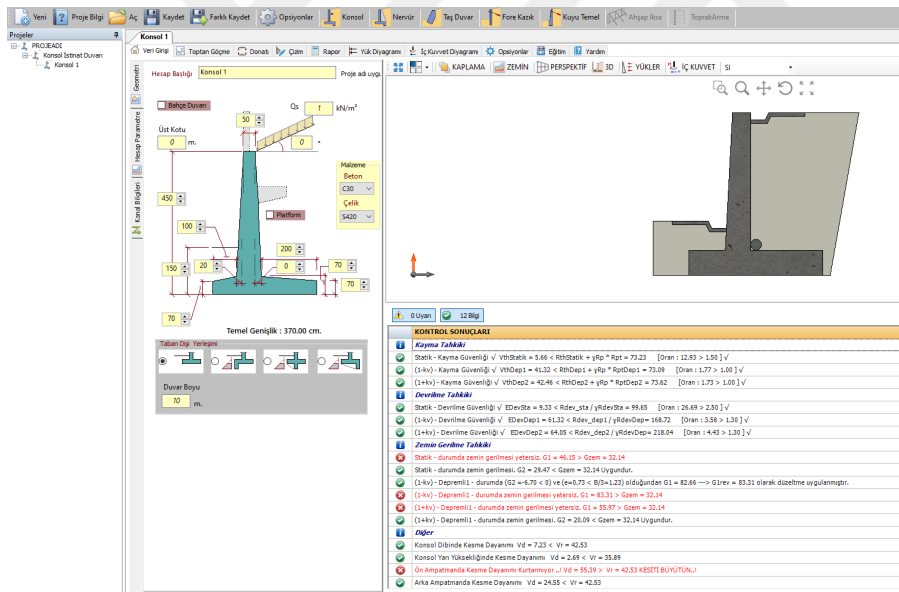
İnşaat Yüksek ve Bilgisayar Yüksek Mühendisi Ali Osman Kahveci tarafından geliştirilen istCAD yazılımında; ahşap iksa yapısı, konsol, payandalı, ağırlık (taş) istinat duvarı, fore kazıklı perde istinat duvarı, kuyu temel istinat duvarı ve donatılı zemin (toprakarme) gibi geoteknik mühendisliğindeki problemlere kritik çözümler sunan birçok dayanma yapısının çizimi, tasarımı ve detaylı analizi yapılabilmektedir. Oldukça basit kullanıma sahip bu yazılımda konsol bir istinat yapısının modellenme aşamaları programdan ekran görüntüleriyle aşağıda gösterilmiştir.

Şekil 5.1’de istCAD yazılımında yeni proje başlangıç ekranı görülmektedir. Bu ekranda, proje raporunda gösterilecek projeye ait olan çeşitli verilerin girişi yapılmaktadır.

The screenshot shows the 'Yeni Proje Başlık Bilgileri' (New Project Title Information) dialog box in the istCAD software. The dialog box is divided into two main sections: 'Arsa Bilgileri' (Land Information) and 'Proje Müellifi' (Project Author). The 'Arsa Bilgileri' section includes fields for 'İşin Adı' (Project Name), 'Mal Sahibi' (Owner), 'İli' (Province), 'İlçesi' (District), 'Mahalle' (Neighborhood), 'İdaresi' (Municipality), and 'Pafta/Ada/Parsel' (Plot/Block/Parcel). The 'Proje Müellifi' section includes fields for 'Adı Soyadı' (Full Name), 'Oda Sicil No' (Board Registration Number), 'İ.T.B No' (Professional Number), 'Firma Adı' (Company Name), 'Vergi Dairesi' (Tax Office), 'Vergi No' (Tax Number), 'Adres' (Address), and 'Telefon' (Phone). A 'Muellif Bilgi Sakla' (Save Author Information) button is located at the top right of the 'Proje Müellifi' section. At the bottom of the dialog box, there is a note: 'Proje Saklanacağı zaman bu isim kullanılacak.' (When the project is saved, this name will be used.) followed by a 'Proje Adı' (Project Name) field containing 'PROJEADI' and a 'Yeni Proje Oluştur' (Create New Project) button.

Şekil 5.1. istCAD programında yeni proje açılışı ve proje verileri giriş ekranı.

Şekil 5.1’de okla gösterilen “Konsol” ibaresine tıklandığında Şekil 5.2’deki görüntü ekrana gelmekte ve bu ekranda konsol istinat tipi duvar için geometri, zemine ait hesap parametreleri, varsa kanal verileri gibi duvara ve zemine ait ana hesap verileri girilmektedir. Şekil 5.2’de sağdaki 3D görüntünün altında kalan bölümde istinat duvarının stabilitesinin sağlanıp sağlanmadığı görülmektedir. Burada kırmızı ile yazılan kısımlar duvar stabilite tahkiklerinde güvenlik sayısının istenen değerin altında kalıp duvarın stabilitesinin güvensiz olduğunu belirtmektedir. Başında yeşil onay ile belirtilmiş yazılarda ise boyutların ilgili güvenlik kontrolünde geçerli olmak üzere yeterli olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.3’de sol tarafta görülen üç sekmeden biri olan geometri sekmesinde; duvarın ön boyutlandırılması, kullanılacak betonarme malzemelerin seçimi, duvar sürşarj yükü, dış yerleşimi gibi duvarın geometrik özelliklerine ait veriler girilmekte ve duvarın ön boyutlandırması bu aşamada tamamlanmaktadır. Boyutların değişimi ve 3D önden, arkadan, üstten, yandan ayrıntılı görünümü Şekil 5.2’de sağ taraftaki bölümden görülebilmektedir.



Şekil 5.2. Konsol tipi istinat duvarı veri giriş ekranı.

Veri Girişi Toptan Göçme Donatı Çizim Rapor Yük Diy

Hesap Başlığı **Konsol 1** Proje adı uyg

☐ Bahçe Duvarı

Üst Kotu 0 m.

450

100

150

20

70

200

0

70

70

Temel Genişlik : 370.00 cm.

Malzeme

Beton C30

Çelik S420

☐ Platform

Taban Dışı Yerleşimi

Duvar Boyu 10 m.

Şekil 5.3. Duvarın geometrisini belirleyen verilerin giriş ekranı.

Şekil 5.4'te görülen ekranda duvar arkasındaki dolgunun ve pasif toprağın zemin parametreleri sisteme girilmektedir. Varsa yer altı su seviyesi eklenip AFAD haritasından ve TBDY 2018'deki tablolardan alınan dinamik durum ile ilgili parametreler ve sürtünme katsayıları gibi veriler de hesap için “zemin ve harita bilgisi” kısmına yazılmaktadır.

Veri Girişi | Toplan Göçme | Donatı | Çizim | Rapor | Yük Diy

Geometri

Geri Dolgu
Zemin B.H.A. / Suya Doygun B.H.A.
 γ_n 1.8 γ_d 2.0 kN/m³

Dolgu Tipi

Geri Dolguya Ait Değerler
 ϕ° 35 δ° 10 c(KN/m²) 0

Pasif Toprak Değerleri
İçsel Sürtünme Açısı ϕ 35 c (KN/m²) 0
Zemin B.H.A. / Suya Doygun B.H.A. γ_n 1.8 γ_d 2.0 kN/m³

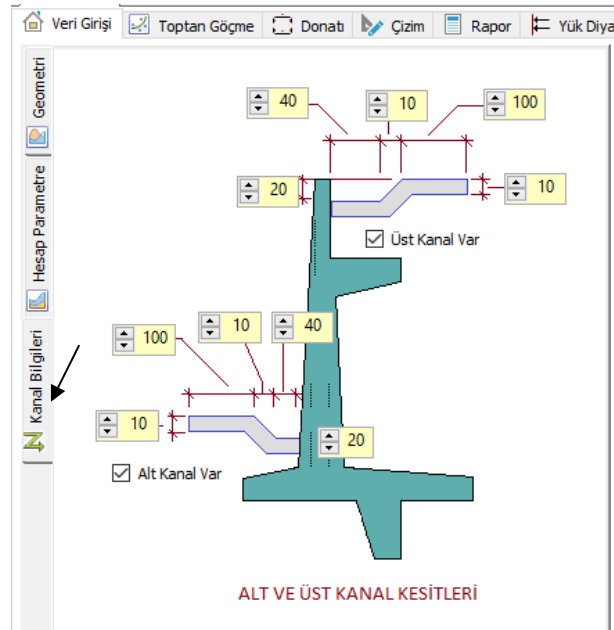
Su Bilgisi
☐ (YASS) Üstten Mes. 300 cm

Zemin ve Harita Bilgisi
Zemin Karakteristik Dayanımı σ_k 45 KN/m² 32.14
Harita Spektiral İvme Katsayısı S_s 0.825
Dayanma Yapısı Tip Katsayısı r 1.5
Zemin Sürtünme Katsayısı μ_u 0.55
Temel Zemin Kohezyonu c 0.5 KN/m²

Tasarım Dayanımı
Y.Zemin Sınıfı ZC
Mu ve C için Emniyetli Azaltılmış Değerleri Girin

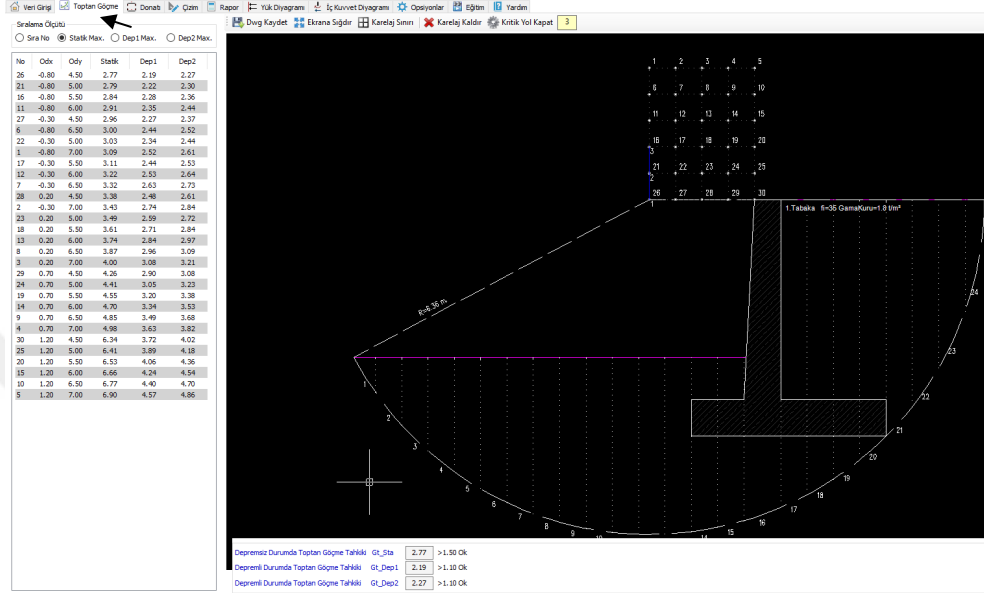
Şekil 5.4. Duvar arkasındaki zeminlere ait verilerin girişi.

Şekil 5.5'te duvarın aktif ve pasif bölgelerine su kanalı tasarlanabildiği görülebilmektedir.



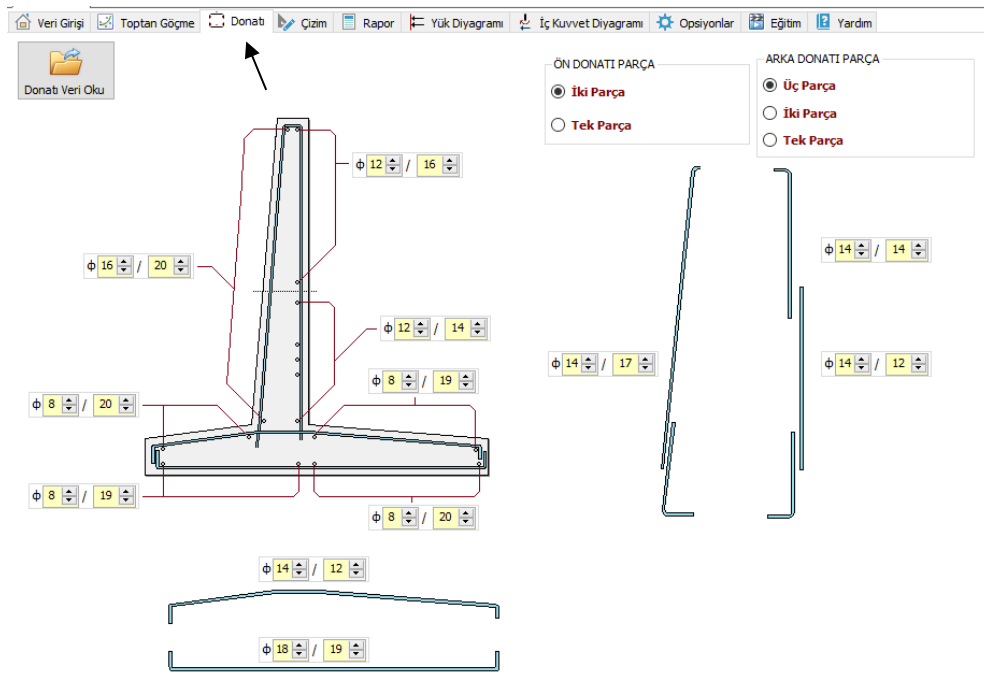
Şekil 5.5. Duvarın aktif ve pasif bölgesine yapılacak kanal kesitlerinin belirlenmesi.

Şekil 5.6’da üstteki sekmelerden ikincisi olan “Toptan Göçme” sekmesinde dilimlerin genişliği, karelej adedi ayarlanarak duvarın toptan göçme tahkiki gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.6’da soldaki tablodan statik, deprem1, deprem2 durumlarında noktasal bazlı olarak güvenlik sayıları okunabilmekte ve istenilirse çizimler “.dwg” olarak ayrıca kayıt edilebilmektedir.

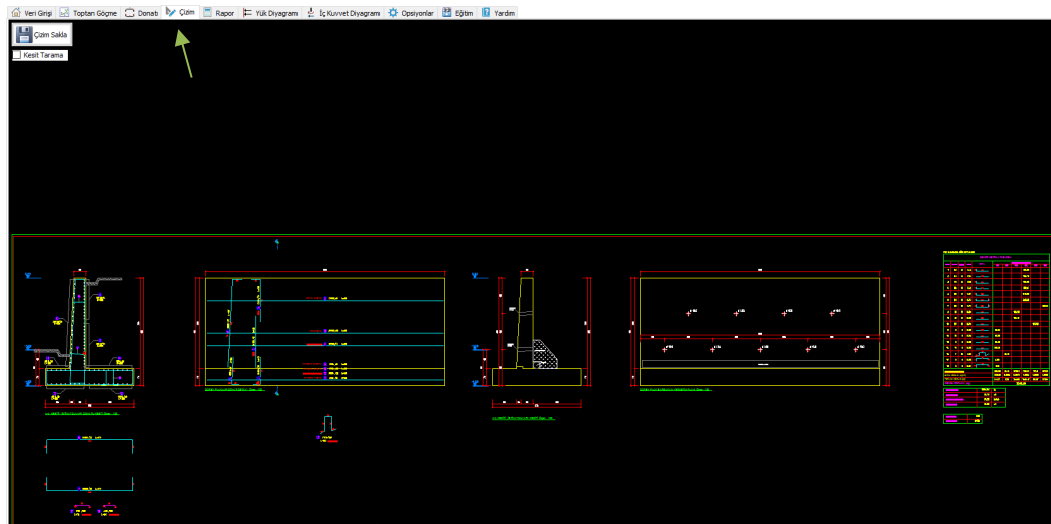


Şekil 5.6. Toptan göçme sekmesinin görüntüsü.

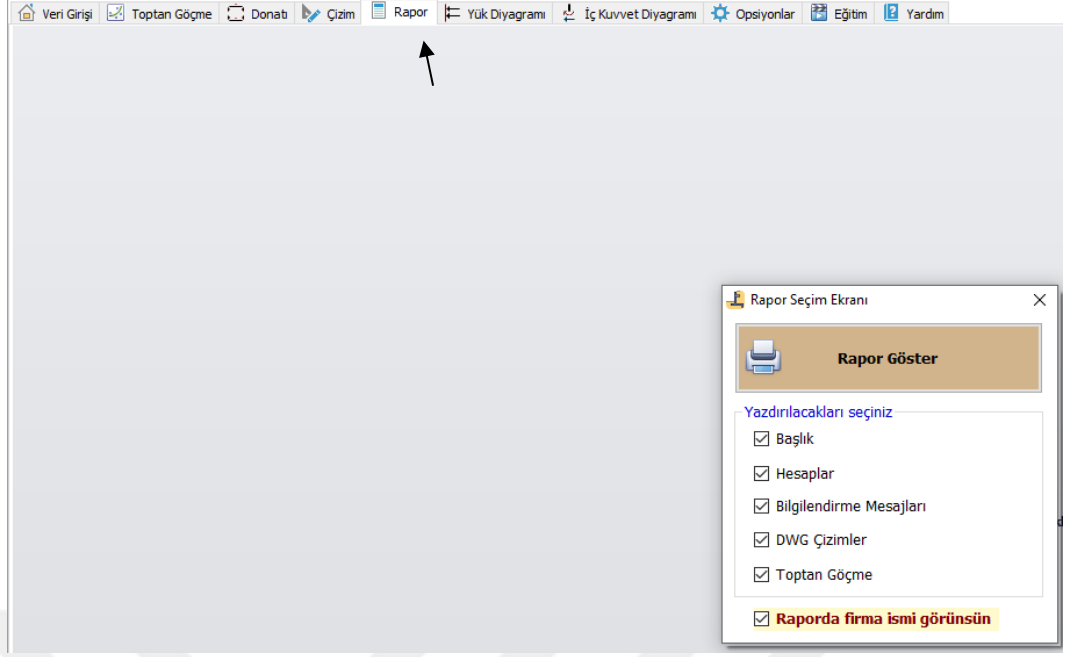
Şekil 5.7’de üst sekmelerden üçüncüsü olan “Donatı” sekmesinde, duvarın gövde ve tabanında kullanılacak olan donatıların seçimi, donatı parçalarının kombinasyonu gibi olanaklar mevcuttur.



Şekil 5.8’deki görüntüde okla gösterilen “Çizim” sekmesinde, duvarın donatılarına ait çizimleri, yerleşimleri, duvarın kesiti, barbakanların yerleşimi ve son olarak donatıyla beton metrajı tablo olarak yer almaktadır. Bu çizimler de “.dwg” olarak ayrıca kayıt edilebilmektedir.

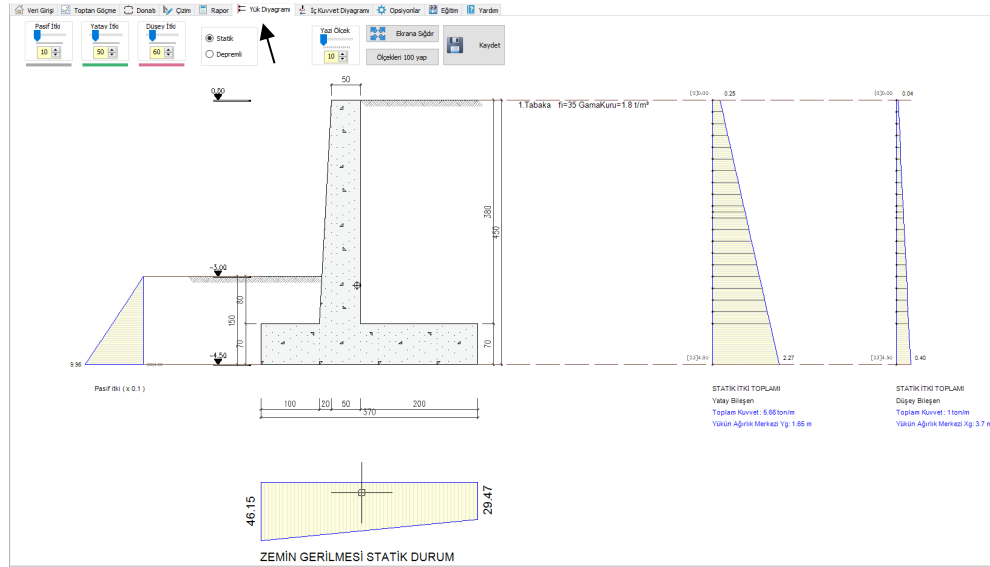


Şekil 5.9’da “Rapor” sekmesinin ekran görüntüsü bulunmaktadır. Bu sekme ile bu aşamaya kadar yapılan tetkiklerin, çizimlerin, hesapların, toptan göçme ve diğer hesap verilerinin rapor şeklinde çıktı alınması sağlanmaktadır.



Şekil 5.9. Rapor alma sekmesinin görüntüsü.

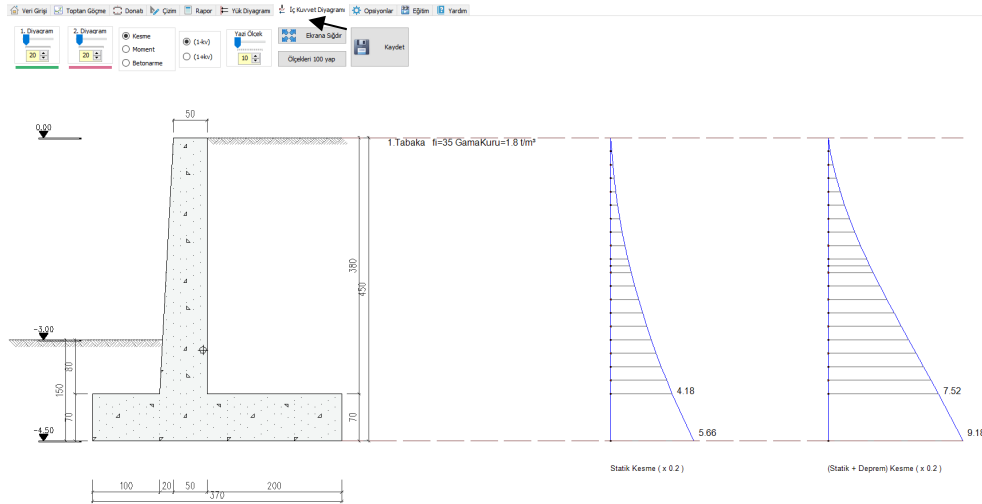
Şekil 5.10’da yazılımdaki üstten altıncı sekme olan “Yük Diyagramı”nın ekranı bulunmaktadır. Bu ekranda duvara etki eden statik ve dinamik durumdaki aktif-pasif toprak itkilerinin diyagramla görüntüsü, duvarın boyutlarının kesit halinde görünümü ve duvarın altındaki zemin gerilmesinin diyagramı bulunmaktadır.



Şekil 5.10. Yük diyagramlarının görüntüsü.

Şekil 5.11’de üstten yedinci sekme olan “İç kuvvetler diyagramı” görülmektedir. Bu sekmede duvarın statik-dinamik durumlardaki kesme kuvveti, moment ve betonarme

diyagramları bulunmaktadır. Dinamik durumda $(1-k_v)$, $(1+k_v)$ olarak duvarın kesme kuvveti, moment ve betonarme değerleri ayrı ayrı incelenebilmektedir.

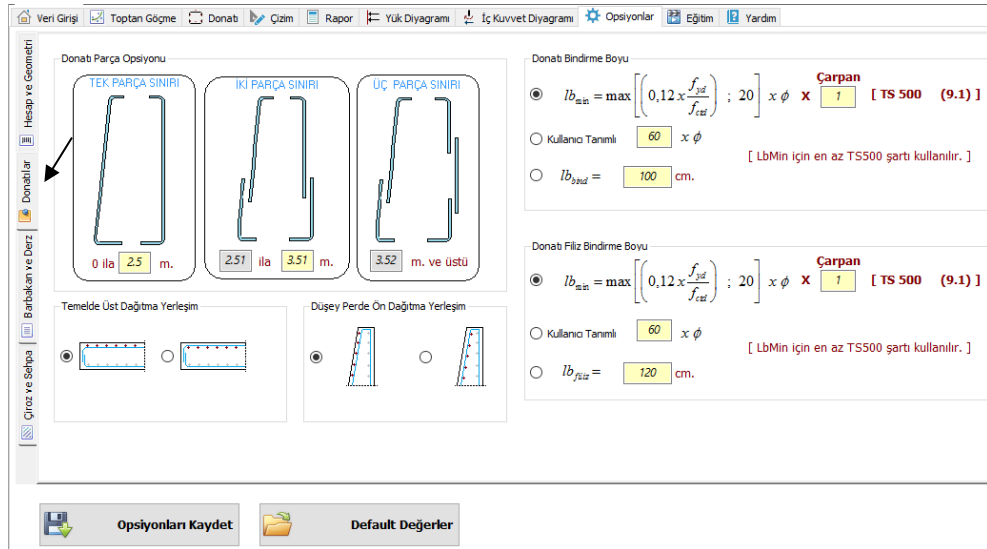


Şekil 5.11. İç kuvvetler diyagramlarının görüntüsü.

Şekil 5.12’de yazılımda hesaplarda kullanılan donatı paspayları, beton ve suyun birim hacim ağırlıkları, pasif yük azaltma katsayısı gibi hesap ve geometri verileri tercihe göre değiştirilebilmektedir.

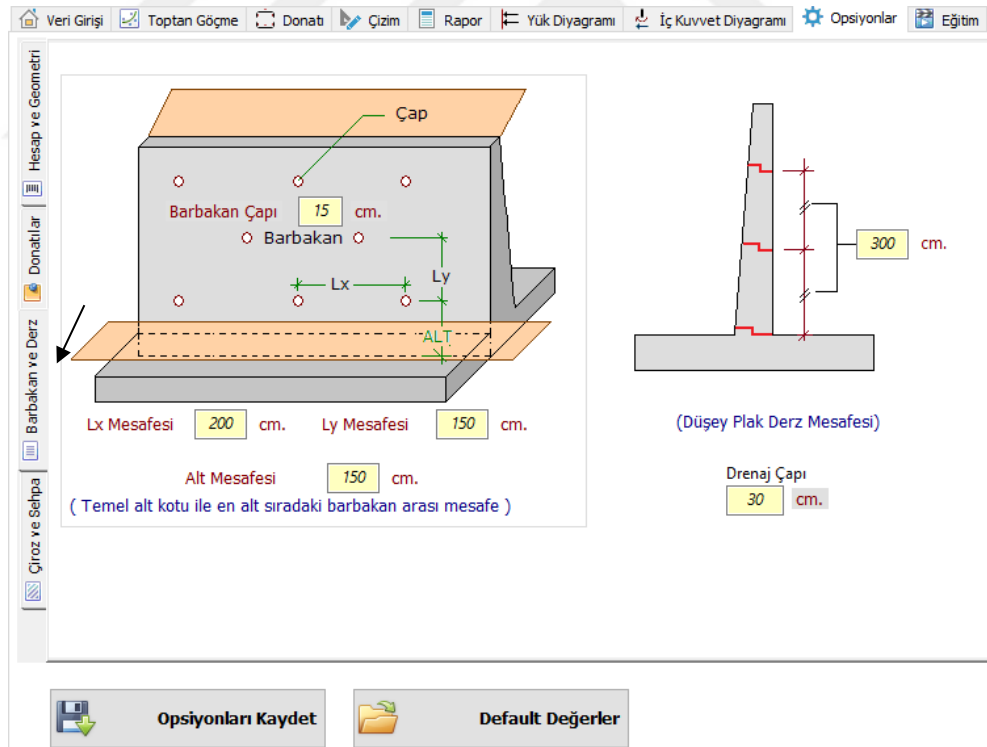
Şekil 5.12. Opsiyonlar sekmesinin görüntüsü.

Şekil 5.13’deki opsiyonlar sekmesinin donatılar kısmında, donatıların bindirme boylarının hesap yöntemi, temel ve gövdedeki donatı yerleşim yerleri gibi tercihe göre hesapta değişiklik gerçekleştirilebilmektedir.



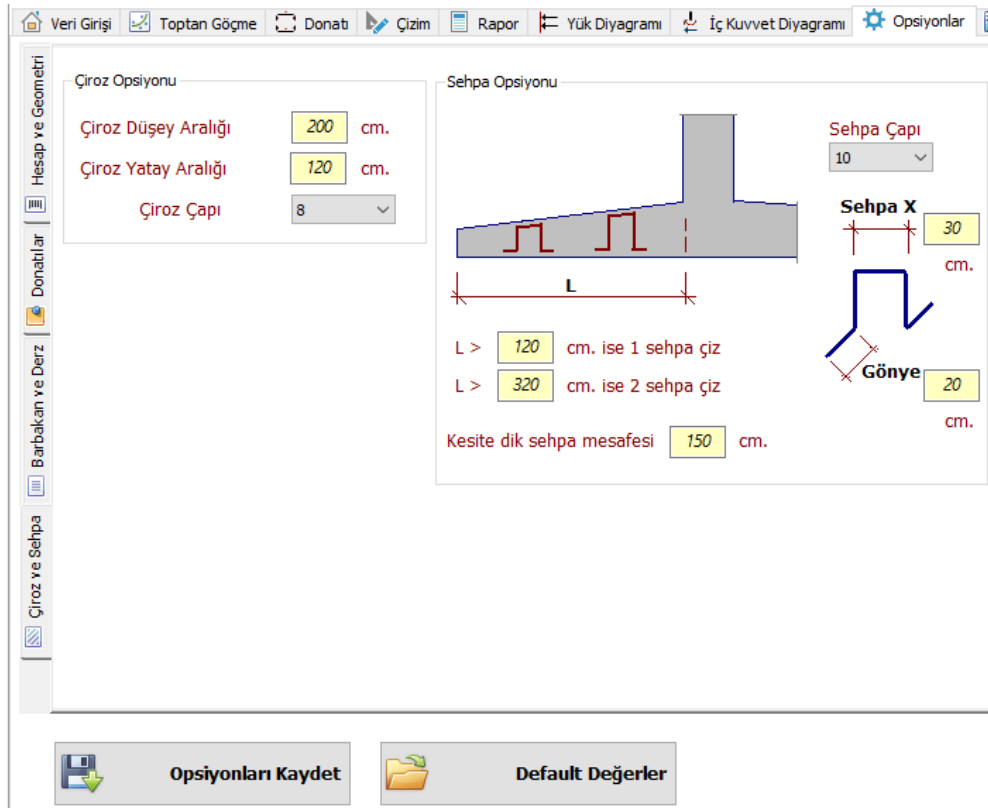
Şekil 5.13. Opsiyonlarda “Donatılar” sekmesinin görüntüsü.

Şekil 5.14’deki ekranda duvarın arkasındaki suyun drenajı için gerekli olan barbakanların yerleşimi, drenaj çapı ve duvar yüksekliğine göre düşey derz aralıkları belirlenebilmektedir.



Şekil 5.14. “Barbakan ve Derz” sekmesinin görüntüsü.

Şekil 5.15’de “Çiroz ve Sehpa” sekmesi görülmektedir. Bu sekme içinde çirozların düşey-yatay aralıkları ve çapları, sehpaların boyutları ve çapları hesap aşamasında dikkate alınmak üzere kullanıcı tarafından ayarlanabilmektedir.



Şekil 5.15. Çiroz ve sehpa sekmesinin görüntüsü.

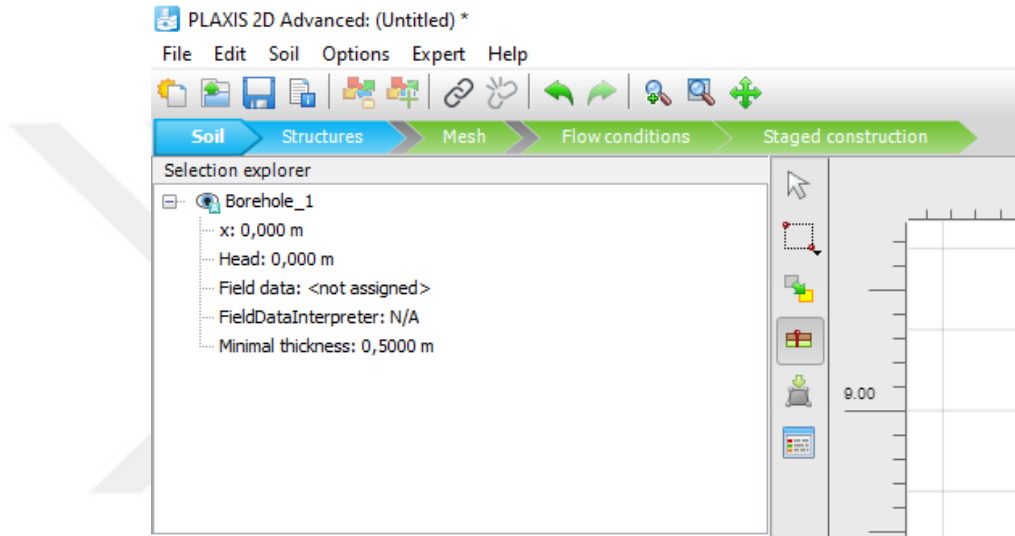
5.2. Plaxis 2D Programı

Plaxis, 1987’de Hollanda’daki Delft Teknoloji Üniversitesi tarafından geoteknikteki deformasyonlar, dayanım yapılarının statik ve dinamik stabilite analizleri için geliştirilen sonlu eleman programıdır. Töremiş (2003)’e göre, “Bu program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan deformasyon ve stabilite analizleri, zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme çeşitliliği olan durumlarda kullanılmakta ve gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir” (s. 38). Plaxis’in basit arayüzünün olması, sonuçları grafik, sayısal ve görsel olarak sunabilmesi programın kullanıcılar tarafından sıklıkla tercih edilmesini sağlamaktadır.

Programda tasarım yaparken oluşturulan geometrik sınırlar “mesh” olarak adlandırılan sonlu elemanlar ağıyla üçgen elemanlara bölünmekte, bu üçgen elemanlar düğüm noktalarından (köşe noktalarından) birbirine bağlanmaktadır. Programda üçgen elemanlardaki düğüm noktası sayısı 6 veya 15 olarak seçilebilmekte, düğüm noktasının sayısı ne kadar fazla ise hesap sonuçları da bir o kadar detaylı olmaktadır. Oluşturulan her bir üçgen elemanda 6 düğüm noktası olması halinde 3 adet, 15 düğüm

noktası olması halinde ise 12 adet gerilme noktası oluşmaktadır. Programda yer değiştirmeler sistemin düğüm noktalarında, gerilmeler ise gerilme noktalarında hesaplanmaktadır.

Plaxis 2D programında zemin katmanlarının tanımlandığı “Soil”, zemine yapısal elemanların eklendiği “Structures”, üçgen elemanlardan sonlu elemanlar ağının oluşturulduğu “Mesh”, yeraltı su seviyesinin belirlendiği “Flow conditions” ve hesap aşamaları ile aşamaların detaylı ayarlarının tanımlandığı “Staged construction” olmak üzere beş sekme bulunmaktadır (Şekil 5.16).

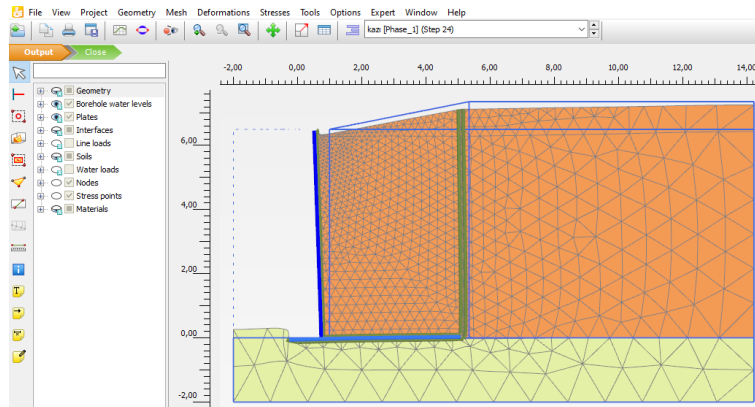


Şekil 5.16. Plaxis 2D programında “Soil, Structures, Mesh, Flow Conditions, Staged Construction” sekmelerinin görüntüsü.

Plaxis 2D programında yapılan tasarımın analizi için izlenmesi gereken yol şu şekildedir:

- İlk olarak tasarımın modellemesi yapılarak veriler programa girilir. Modelleme işlemine proje özellikleri başlığının altında tasarımın dış hat sınırlarının belirlenmesiyle başlanmaktadır. Dış hat sınırları belirlendikten sonra “Materials” sekmesi açılarak tasarımda bulunacak bütün malzemeler (Zemin, ara yüzler, kaplamalar, geogridler, ankrajlar vs.) programa tanıtılır.
- Zemin malzemeleri tanımlanırken en önemli kısım malzeme modelinin doğru belirlenmesidir. Programda çoğunlukla tercih edilen modeller; Mohr-Coulomb, Linear Elastic, Hardening Soil (Pekleşen zemin), Soft Soil (Yumuşak zemin) ve Hoek-Brown modelleridir. Model seçildikten sonra modelde bulunan gerekli zemin parametreleri programa girilir.

- Tasarımın sınır ölçüleri ve malzeme özellikleri belirlendikten sonra “Soil” sekmesinde analizi yapılacak alanın katman bilgileri tanımlanır.
- Zemin geometrisi oluşturulduktan sonra tasarımda hesap yapılması istenilen yapısal elemanlar “Structures” sekmesinde tanımlanır. Zemindeki yapısal elemanların geometrisi ve tipleri bu aşamada tasarıma eklenir. Bu sekmede ayrıca mesnetler, noktasal, yayılı yükler veya deplasmanlar gibi veriler de analiz için tasarıma eklenebilir. Sekmeden çıkmadan önce, oluşturulan her bir elemana ait malzeme parametresinin ilgili yapı elemanına atanması gerekir ve hesap sekmesine geçilir.
- Geometrinin modelleme işlemleri bittikten sonra “Mesh” sekmesinde tasarımın sonlu elemanlar ağı oluşturulur ve bu üçgen ağın sıklığı istenilen oranda ayarlanır. Tasarımda “Mesh” oluşturulduktan sonra “Flow Conditions” sekmesine geçilir. Burada yer altı su seviyesi belirlenerek bir sonraki sekme olan “Staged Construction”a geçilir.
- Bütün aşamalar sırayla tamamlandıktan sonra son adım olan “Staged Construction” sekmesinde hesaba katılacak bütün adımlar sırayla tanımlanır. Hesaptan önce son bir kontrol yapılır ve “Calculate” butonuna basılarak analiz başlatılır. Analiz işlemi bittikten sonra Şekil 5.17’de görülen “Output” (hesap çıktıları) penceresinden istenen hesap sonuçlarına ve grafiklerine ulaşılabilir.



Şekil 5.17. Plaxis 2D programında “Output” (Çıktılar) ekranı.

Zemin modellerinden biri olan Mohr Coulomb modeli, yapısal mühendislikte beton ve benzeri kırılğan malzemelerin modellenmesi için kullanılır. Bu modelde normal gerilmelerin yanında kayma gerilmeleri de hesaba katılarak çözüm yapılır. Hardening Soil modelinde ise model zeminde derinlik arttıkça artan elastisite modülü sayesinde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmesini sağlayan zemin modelidir.

Şekil 6.1. Konsol istinat duvarı boyutları.

Geri Dolgu Zemin B.H.A. / Suya Doygun B.H.A. γ_n 18 γ_d 20 kN/m ³		Dolgu Tipi 	
Geri Dolguya Ait Değerler ϕ° 35 δ° 0 c(KN/m ²) 1			
Pasif Toprak Değerleri İçsel Sürtünme Açısı ϕ 35 c (KN/m ²) 1 Zemin B.H.A. / Suya Doygun B.H.A. γ_n 18 γ_d 20 kN/m ³			
Su Bilgisi ☐ (YASS) Üstten Mes. 0 cm			
Zemin ve Harita Bilgisi Zemin Karakteristik Dayanımı σ_k 800 KN/m ² 571.43 Harita Spektiral İvme Katsayısı S_s 1.39 Dayanma Yapısı Tip Katsayısı r 2 Zemin Sürtünme Katsayısı μ_u 0.6 Temel Zemini Kohezyonu c 1 KN/m ² Tasarım Dayanımı 571.43 Y.Zemin Sınıfı ZA Mu ve C İçin Emniyetli Azaltılmış Değerleri Girin			

Şekil 6.2. Zemin ve hesap parametreleri.

Yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları TBDY 2018'deki 16.22 numaralı denklem ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$k_h = 0,4 * \frac{S_{DS}}{r} \quad (6.1)$$

$$k_h = 0,4 * \frac{1,11}{2} = 0,222 \quad (6.2)$$

$$k_v = 0,5 * k_h \quad (6.3)$$

$$k_v = 0,5 * 0,222 = 0,111 \quad (6.4)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v} \right) \quad (6.5)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,222}{1-0,111} \right) = 14,02^\circ \quad (6.6)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{0,222}{1+0,111} \right) = 11,3^\circ \quad (6.7)$$

$\beta \leq \varphi_d - \theta$ olması durumunda toplam aktif basınç denklemi:

$$K_a = \frac{\sin^2(\Psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \Psi \sin(\Psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi_d + \delta_d) \sin(\varphi_d - \beta - \theta)}{\sin(\Psi - \theta - \delta_d) \sin(\Psi + \beta)}} \right]^2} \quad (6.8)$$

olacaktır.

$\beta > \varphi_d - \theta$ olması durumunda toplam aktif basınç denklemi:

$$K_a = \frac{\sin^2(\Psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \Psi \sin(\Psi - \theta - \delta_d)} \quad (6.9)$$

olacaktır.

Toplam aktif basınç katsayıları TBDY 2018'deki 16.24a ve 16.24b denklemleri ile aşağıda hesap edilmiştir.

$$\beta = 15^\circ ; \varphi_d = 35^\circ$$

$$(1 + k_v) \text{ için } \theta = 14,02^\circ$$

$$(1 - k_v) \text{ için } \theta = 11,3^\circ$$

$k_v = 0,111$ olması durumunda statik + dinamik zemin itkisi için toplam aktif basınç katsayısı:

$$\theta = 14^\circ, \varphi_d = 35^\circ, \Psi = 90^\circ, \delta = 31^\circ, \delta_d = 0^\circ, \beta = 15^\circ$$

$$\beta \leq \varphi_d - \theta$$

$15 \leq 35 - 14$ olduğundan hesapta denklem 6.8 kullanılarak $K_a = 0,5904$ olarak hesap edilmiştir.

$k_v = -0,111$ olması durumunda statik + dinamik zemin itkisi için toplam aktif basınç katsayısı:

$$\theta = 11,3^\circ, \varphi_d = 35^\circ, \Psi = 90^\circ, \delta = 31^\circ, \delta_d = 0^\circ, \beta = 15^\circ$$

$$\beta \leq \varphi_d - \theta$$

$15 \leq 35 - 11,3$ olduğundan hesapta denklem 6.8 kullanılarak $K_a = 0,5138$ olarak hesap edilmiştir.

Statik zemin itkisi için toplam aktif basınç katsayısı:

$$\theta = 0^\circ, \varphi_d = 35^\circ, \Psi = 90^\circ, \delta = 31^\circ, \delta_d = 0^\circ, \beta = 15^\circ$$

$$\beta \leq \varphi_d - \theta$$

$15 \leq 35$ olduğundan hesapta denklem 6.8 kullanılarak statik durum için $K_a = 0,3189$ bulunmuştur.

Duvar + zemin + sürşarj ağırlığının hesabı:

$$W = A \cdot \gamma \quad (6.10)$$

$$W_1 = 0,65 * 5,95 * 24 = 92,80 \text{ kN} \quad (6.11)$$

$$W_2 = 0,5 * \frac{5,95}{2} * 24 = 35,70 \text{ kN} \quad (6.12)$$

$$W_3 = 5,35 * 0,55 * 24 = 70,60 \text{ kN} \quad (6.13)$$

$$W_4 = 3,20 * 5,95 * 18 = 342 \text{ kN} \quad (6.14)$$

$$W_5 = 3,20 * \frac{0,86}{2} * 18 = 27,77 \text{ kN} \quad (6.15)$$

$$W_6 = 10 * 3,31 = 33,10 \text{ kN} \quad (6.16)$$

$$W_t = 602 \text{ kN} \quad (6.17)$$

Statik etkiler altında devrilme stabilitesinin tahkiki:

$$F_1 = 0,5\gamma H^2 K_a = 0,5 * 18 * 7,36^2 * 0,3189 \quad (6.18)$$

$$F_1 = 155,47 \text{ kN (aktif toprak itkisi)} \quad (6.19)$$

$$F_{1h} = F_1 \cos \beta = 155,47 * \cos 15 \quad (6.20)$$

$$F_{1h} = 150,17 \text{ kN (akt. top. itkisinin yatay bileşeni)} \quad (6.21)$$

$$F_{1v} = F_1 \sin \beta = 155,47 * \sin 15 \quad (6.22)$$

$$F_{1v} = 40,23 \text{ kN (akt. top. itkisinin düşey bileşeni)} \quad (6.23)$$

$$F_2 = qHK_a = 10 * 7,36 * 0,3189 \quad (6.24)$$

$$F_2 = 23,47 \text{ kN (aktif sürşarj itkisi)} \quad (6.25)$$

$$F_{2h} = F_2 \cos \beta = 23,47 * \cos 15 \text{ (akt. sürşarj itkisinin yatay bileşeni)} \quad (6.26)$$

$$F_{2h} = 22,70 \text{ kN} \quad (6.27)$$

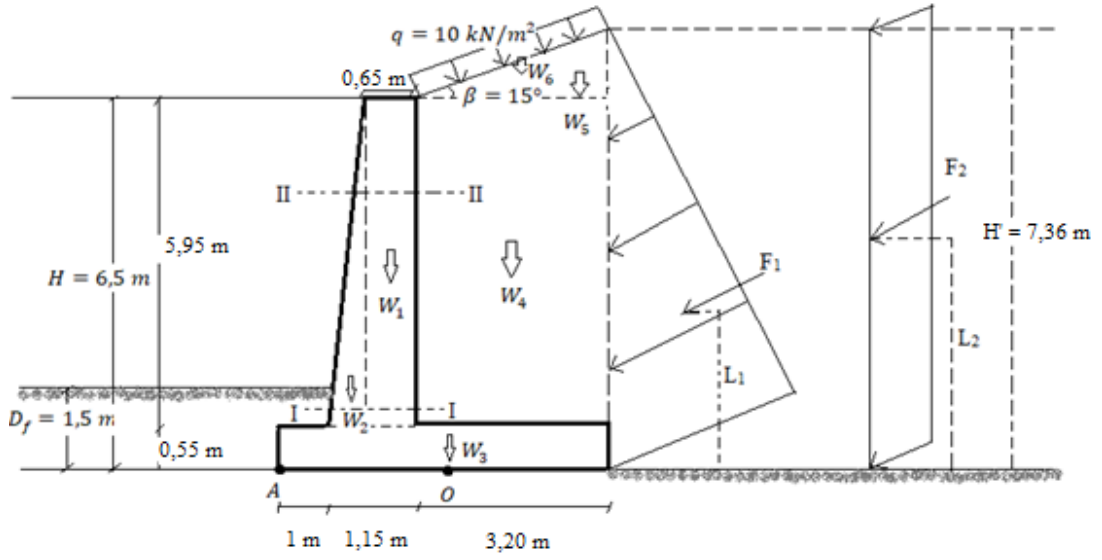
$$F_{2v} = F_2 \sin \beta = 23,47 * \sin 15 \text{ (akt. sürşarj itkisinin düşey bileşeni)} \quad (6.28)$$

$$F_{2v} = 6,07 \text{ kN} \quad (6.29)$$

$$L_1 = \frac{H'}{3} = \frac{7,36}{3} = 2,45 \text{ m} \quad (6.30)$$

$$L_2 = \frac{H'}{2} = \frac{7,36}{2} = 3,68 \text{ m} \quad (6.31)$$

Şekil 6.3'te gösterilen A noktasına göre ağırlıkların yatay ve düşey uzaklıkları hesaplanır.



Şekil 6.3. Konsol istinat duvarının boyutları ve toprak itkileri.

Ağırlıkların A noktasına yatay uzaklıkları:

$$y_1 = 1 + 0,50 + \frac{0,65}{2} = 1,83 \text{ m} \quad (6.32)$$

$$y_2 = 1 + 0,5 - \frac{0,5}{3} = 1,33 \text{ m} \quad (6.33)$$

$$y_3 = \frac{5,35}{2} = 2,68 \text{ m} \quad (6.34)$$

$$y_4 = 1 + 1,15 + \frac{3,20}{2} = 3,75 \text{ m} \quad (6.35)$$

$$y_5 = 5,35 - \frac{3,20}{3} = 4,28 \text{ m} \quad (6.36)$$

$$y_6 = 5,35 - \frac{3,20}{2} = 3,75 \text{ m} \quad (6.37)$$

Ağırlıkların A noktasına düşey uzaklıkları:

$$d_1 = 0,55 + \frac{5,95}{2} = 3,525 \text{ m} \quad (6.38)$$

$$d_2 = 0,55 + \frac{5,95}{3} = 2,53 \text{ m} \quad (6.39)$$

$$d_3 = \frac{0,55}{2} = 0,275 \text{ m} \quad (6.40)$$

$$d_4 = 0,55 + \frac{5,95}{2} = 3,525 \text{ m} \quad (6.41)$$

$$d_5 = 0,55 + 5,95 + \frac{0,86}{3} = 6,79 \text{ m} \quad (6.42)$$

$$d_6 = 0,55 + 5,95 + \frac{0,86}{2} = 6,93 \text{ m} \quad (6.43)$$

Şekil 6.3'teki "A" noktasına göre duvara etkiyen itkilerin momentleri alınır.

$$M_r = W * y + F_v * d \quad (6.44)$$

$$M_r = 1969 \text{ kNm} \quad (6.45)$$

$$M_o = F_h * y \quad (6.46)$$

$$M_o = 431 \text{ kNm} \quad (6.47)$$

$$F_{sdev} = \frac{M_r}{M_o} = \frac{1969}{431} = 4,56 > 1,3 \quad (6.48)$$

olduğundan duvar statik durumda devrilmeye karşı güvenlidir. Statik etkiler altında duvarın kaymaya karşı güvenlik tahkiki:

$$K_p = \frac{\sin^2(\Psi + \varphi_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \Psi \sin(\Psi + \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi_d) \sin(\varphi_d + \beta - \theta)}{\sin(\Psi + \theta) \sin(\Psi + \beta)}} \right]^2} \quad (6.49)$$

$$K_p = 3,17 \quad (6.50)$$

$$P_p = 0,5 * K_p * \gamma * D_f^2 \quad (6.51)$$

$$P_p = 0,5 * 3,17 * 18 * 1,5^2 = 64,19 \text{ kN} \quad (6.52)$$

$$F_{skayma} = \frac{(V \tan(k_1 * \varphi_2) + B * k_2 * c + P_p)}{P_h} \quad (6.53)$$

Denklem 6.53'ü kullanmak için V'nin (duvar tabanına etkiyen kuvvetlerin toplamı) bulunması gereklidir.

$$V = W + F_v = 645,30 \text{ kN} \quad (6.54)$$

$$k_1 = 0,50 ; k_2 = 0,67$$

$$F_{skayma} = 1,57 > 1,1 \quad (6.55)$$

Denklem 6.55'de bulunan statik durumdaki kayma güvenliği 1,1'den büyük olduğundan duvar statik durumda kaymaya karşı güvenlidir. Statik etkiler altında taban basıncı tahkiki ($\gamma_{Rv} = 1,4$):

Şekil 6.3'deki "O" noktasına göre duvara etkiyen itkilerin momentleri alınır.

$$M_o = 431 \text{ kNm} \quad (6.56)$$

$$x = \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{1969 - 431}{645} = 2,38 \text{ m} \quad (6.57)$$

$$e = \frac{B}{2} - x = \frac{5,35}{2} - 2,28 = 0,29 < \frac{B}{6} \quad (6.58)$$

$$q_{\max, \min} = \frac{\Sigma V}{B} (1 \pm \frac{6e}{B}) \quad (6.59)$$

$$q_{\max} = 160,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < q_t = \frac{800}{1,4} = 571 \text{ kN/m}^2 \quad (6.60)$$

$$q_{\min} = 81,73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > 0 \quad (6.61)$$

Denklem 6.60 ile 6.61’de bulunan $q_{\max}$ ve $q_{\min}$ değerleri taban basıncı güvenliği açısından uygundur. Düşey deprem yükünün yukarı yönlü etkidiği ($k_v = +0,111$) durumda oluşan dinamik itkiler:

$$F_t = K_a * (1 - k_v) * (0,5 * \gamma * H'^2 + q * H') \quad (6.62)$$

$$F_t = 280,29 \text{ kN} \quad (6.63)$$

$$\Delta F_{ae} = F_t - F_a \quad (6.64)$$

$$\Delta F_{ae} = F_{\text{dinamik}} = 280,29 - 315 = -34,71 \text{ kN} \quad (6.65)$$

$$\Delta F_{aeh} = \Delta F_{ae} * \cos \beta = -33,53 \text{ kN} \quad (6.66)$$

$$\Delta F_{aev} = \Delta F_{ae} * \sin \beta = -8,98 \text{ kN} \quad (6.67)$$

Düşey deprem yükünün aşağı doğru etkidiği ($k_v = -0,111$) durumda oluşan dinamik itkiler:

$$F_t = 350,28 \text{ kN} \quad (6.68)$$

$$\Delta F_{ae} = 48,31 \text{ kN} \quad (6.69)$$

$$\Delta F_{aeh} = 46,66 \text{ kN} \quad (6.70)$$

$$\Delta F_{aev} = 12,50 \text{ kN} \quad (6.71)$$

olarak hesap edilir. Dinamik durumda duvarın devrilmeye karşı güvenlik tahkiki için devrilmeye direnen momentlerin toplamı:

$$R_{\text{dev}} = (W_1 y_1 + W_2 y_2 + W_3 y_3 + W_4 y_4 + W_5 y_5 + W_6 y_6)(1 - k_v) + F_v y_7 + \Delta F_{aev} y_8 \quad (6.72)$$

$$R_{\text{dev}} = 1756 \text{ kNm} \quad (6.73)$$

Devrilmeye zorlayan momentlerin toplamı:

$$E_{dev} = (W_1d_1 + W_2d_2 + W_3d_3 + W_4d_4 + W_5d_5 + W_6d_6)k_h + F_h \frac{H'}{3} + \Delta F_{aeh} \frac{H'}{2} \quad (6.74)$$

$$E_{dev} = 1001 \text{ kNm} \quad (6.75)$$

Devrilme güvenliğinin sağlanması için $E_{dev} \leq \frac{R_{dev}}{\gamma R_{dev}}$ olmalıdır.

$$1001 \leq \frac{1756}{1,3} = 1350,77 \text{ kNm} \quad (6.76)$$

Denklem 6.76'a bakıldığında duvar dinamik durumda devrilmeye karşı güvenlidir.

Dinamik durumda duvarın kaymaya karşı güvenlik tahkiki:

$\gamma R_h = 1,1$ olarak TBDY 2018 tablo 16.2'den alınmıştır.

$$R_{th} = \frac{P_{tv} \tan \delta}{\gamma R_h} \quad (6.77)$$

$$P_{tv} = P_{ad} \sin(\delta_d + 90 - \Psi) + P_{zs} \sin(\delta_d + 90 - \Psi) + W_T(1 - k_v) + q1,7 \quad (6.78)$$

Duvar önündeki karakteristik pasif direnç olan R_{pk} 'nin hesabı için denklem 6.50' de hesaplanan $K_p = 3,17$ değeri alınmıştır.

$$P_{tv} = 993,80 \text{ kN/m} \quad (6.79)$$

$$R_{th} = \frac{993,80 \cdot 0,6}{1,1} = 542 \text{ kN/m} \quad (6.80)$$

$$R_{pk} = K_p(1 - k_v)0,5\gamma D_f^2 \quad (6.81)$$

$$R_{pk} = 57,07 \text{ kN/m} \quad (6.82)$$

$\gamma R_p = 1,4$ olarak TBDY 2018 tablo 16.2'den alınmıştır.

$$R_{pt} = \frac{R_{pk}}{\gamma R_p} = \frac{57,07}{1,4} = 40,76 \text{ kN/m} \quad (6.83)$$

$$R_{th} + 0,3R_{pt} = 554,23 \text{ kN/m} \quad (6.84)$$

$$V_{th} = P_{ad} \cos(\delta_d + 90 - \Psi) + P_q + P_{zs} \cos(\delta_d + 90 - \Psi) + W_T * k_h \quad (6.85)$$

$$V_{th} = 483,93 \text{ kN/m} \quad (6.86)$$

Duvarın depremlili durumda kaymaya karşı güvenli olabilmesi için $V_{th} < R_{th} + 0,3R_{pt}$ eşitliğinin sağlanması gereklidir.

$$483,93 \text{ kN/m} < 554,23 \text{ kN/m} \quad (6.87)$$

Denklem 6.87 sağlandığından duvar depremli durumda kaymaya karşı güvenlidir. Deprem etkisi altında taban basıncı güvenliği tahkiki:

$$N = w * (1 - k_v) + F_v + \Delta F_{aev} \quad (6.88)$$

Denklem 6.88 ile duvar tabanına etkiyen kuvvetler hesap edilir.

$$N = 724 \text{ kN} \quad (6.89)$$

Şekil 6.3'teki duvar tabanı ortası olan "O" noktasına göre moment alınır.

$$M_0 = 1001 \text{ kNm} \quad (6.90)$$

$$x = \frac{\sum M_R - \sum M_0}{\sum V} = \frac{1756 - 1001}{724} = 1,04 \text{ m} \quad (6.91)$$

$$e = \frac{B}{2} - x = \frac{5,35}{2} - 1,04 = 1,64 \text{ m} < \frac{B}{6} \quad (6.92)$$

$$q_{\max} = 384,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < q_t = 800 \text{ kN/m}^2 \quad (6.93)$$

$$q_{\min} = 113 \text{ kN/m}^2 > 0 \quad (6.94)$$

Denklem 6.93 ve denklem 6.94'deki taban basınçları duvarın depremli durumda taban basıncının güvenli olduğunu göstermektedir. Statik durumdaki (G + Q + H) kesit tesirleri:

Şekil 6.3'teki duvarın gövdesiyle temelin birleştiği I-I kesiti için kesit tesirleri,

$$q = K_a \gamma h \quad (6.95)$$

$$q_1 = 0,3189 * 18 * 0,86 = 4,94 \text{ kN/m}^2 \quad (6.96)$$

$$q_2 = K_a * \gamma * (H + h) = 0,319 * 18 * (5,65 + 0,86) = 37,38 \text{ kN/m}^2 \quad (6.97)$$

$$q_3 = K_a * q = 0,319 * 10 = 3,19 \text{ kN/m}^2 \quad (6.98)$$

$$N_d = 124 \text{ kN} \quad (6.99)$$

$$V_d = \left(\frac{4,94 + 37,38}{2} \right) * 5,65 * \cos 15 + 3,19 * 5,65 * \cos 15 \quad (6.100)$$

$$V_d = 132 \text{ kN} \quad (6.101)$$

$$M_d = \left(\frac{4,94 + 37,38}{2} \right) 5,65 \cos 15 * \left(\frac{2 * 4,94 + 37,38}{4,94 + 37,38} \right) \frac{5,65}{3} + 3,19 * 5,65 \cos 15 \frac{5,65}{2} \quad (6.102)$$

$$M_d = 292 \text{ kNm} \quad (6.103)$$

olarak hesaplanır.

Deprem durumunda (G + Q + H + E) kesit tesirleri:

Şekil 6.3'teki duvarın gövdesiyle temelin birleştiği I-I kesiti için kesit tesirleri,

$$K_{ae} = K_{a(s+d)} - K_{a(s)} \quad (6.104)$$

$$K_{ae} = 0,59 - 0,3189 = 0,271 \quad (6.105)$$

$$q_{1e} = K_{ae}qh = 0,271 * 10 * 0,86 = 4,20 \text{ kN/m}^2 \quad (6.106)$$

$$q_{2e} = K_{ae}H\gamma = 0,271 * (5,65 + 0,86) * 18 = 31,76 \text{ kN/m}^2 \quad (6.107)$$

$$q_{3e} = K_{ae}q = 0,271 * 10 = 2,71 \text{ kN/m}^2 \quad (6.108)$$

$$N_d = 143 \text{ kN} \quad (6.109)$$

$$V_d = 219 \text{ kN} \quad (6.110)$$

$$M_d = 520 \text{ kNm} \quad (6.111)$$

6.1.2. 2007 DBYBHY'ye göre elle çözüm

Statik durumdaki tahkikler ve hesaplar TBDY 2018 ile aynı iken dinamik hesap 2007 DBYBHY yönetmeliğinde Mononobe - Okabe dinamik yöntemiyle yapılmaktadır.

$$K_{at} = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta + \alpha + \lambda) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi - i - \lambda)}{\cos(\delta + \alpha + \lambda) \cos(i + \alpha)}} \right]^2} \quad (6.112)$$

$$K_{pt} = \frac{\cos^2(\varphi + \alpha - \lambda)}{\cos \lambda \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos(\delta - \alpha + \lambda) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi) \cdot \sin(\varphi + i - \lambda)}{\cos(\delta - \alpha + \lambda) \cos(i - \alpha)}} \right]^2} \quad (6.113)$$

Birinci deprem bölgesinde yer alan istinat duvarının bina önem katsayısı I'dir. Etkin yer ivmesi katsayısı ise $A_0 = 0,4$ ' tür.

$$k_h = 0,2(1 + I)A_0 \quad (6.114)$$

$$k_v = \frac{2}{3}k_v \quad (6.115)$$

$k_h = 0,16$; $k_v = 0,107$ olarak denklem 6.114 ve 6.115 ile hesaplanmıştır.

Statik aktif basınç katsayısı $K_{as} = 0,3189$ olarak önceki çözümünden alınmıştır. $(1 - k_v)$ için $K_{at} = 0,447$ (toplam aktif basınç), $(1 + k_v)$ için $K_{at} = 0,539$ olarak denklem 6.112 ile hesaplanmıştır. Toplam pasif basınçlar ise denklem 6.113 ile $(1 + k_v)$ için $K_{pt} = 6,57$, $(1 - k_v)$ durumu için $K_{pt} = 5,30$ olarak hesap edilmiştir.

$$\Psi = \tan^{-1} \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right) \quad (6.116)$$

$$\Psi = 8,22^\circ \quad (6.117)$$

Deprem etkisi altında devrilme stabilitesinin tahkiki:

($k_v = +0,107$) için,

$$P_{at} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K_{at} + (1 - k_v)K_{at}(qH') \quad (6.118)$$

$$P_{at} = 303 \text{ kN/m} \quad (6.119)$$

$$\Delta P_{ae} = 303 - 150,14 - 22,70 = 130,16 \text{ kN/m} \quad (6.120)$$

$$\Delta P_{aeh} = 125,73 \text{ kN/m} \quad (6.121)$$

$$\Delta P_{aev} = 33,69 \text{ kN/m} \quad (6.122)$$

($k_v = -0,107$) için,

$$P_{at} = 250,82 \text{ kN/m} \quad (6.123)$$

$$\Delta P_{ae} = 250,82 - 150,14 - 22,7 = 77,98 \text{ kN/m} \quad (6.124)$$

$$\Delta P_{aeh} = 75,33 \text{ kN/m} \quad (6.125)$$

$$\Delta P_{aev} = 20,18 \text{ kN/m} \quad (6.126)$$

Devrilmeye direnen momentlerin toplamı,

$$R_{dev} = 1969 \text{ kNm} \quad (6.127)$$

Devrilmeye zorlayan momentlerin toplamı,

$$E_{dev} = 809,10 \text{ kNm} \quad (6.128)$$

$$\frac{R_{dev}}{E_{dev}} \geq 1,2 \quad (6.129)$$

$$\frac{1969}{809,10} = 2,43 > 1,2 \quad (6.130)$$

Denklem 6.130'daki eşitliğe göre duvar devrilmeye karşı güvenlidir. Deprem etkisi altında taban basıncı tahkiki:

$$N = W(1 - k_v) + F_v + \Delta F_{aev} \quad (6.131)$$

$$N = 733 \text{ kN} \quad (6.132)$$

Şekil 6.3'teki temel taban ortası olan "O" noktasına göre moment,

$$M_o = 857 \text{ kNm} \quad (6.133)$$

$$x = \frac{\sum M_R - \sum M_0}{\sum V} = \frac{1969 - 857}{733} = 1,52 \text{ m} \quad (6.134)$$

$$e = \frac{B}{2} - x = \frac{5,35}{2} - 1,52 = 1,15 > \frac{B}{6} \quad (6.135)$$

$$q_{\max, \min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) \quad (6.136)$$

$$q_{\max} = 370,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < q_t = 800 \text{ kN/m}^2 \quad (6.137)$$

$$q_{\min} = 92 \text{ kN/m}^2 > 0 \quad (6.138)$$

Deprem durumunda kesit tesirleri (G + Q + H + E) :

Şekil 6.3'teki I-I kesiti için dinamik kesit tesirleri,

$$K_{ae} = 0,447 - 0,3189 = 0,128 \quad (6.139)$$

$$q_{1e} = K_{ae} \gamma h = 1,98 \text{ kN/m}^2 \quad (6.140)$$

$$q_{2e} = K_{ae} \gamma H = 15 \text{ kN/m}^2 \quad (6.141)$$

$$q_{3e} = K_{ae} q = 1,28 \text{ kN/m}^2 \quad (6.142)$$

$$N_d = 129 \text{ kN} \quad (6.143)$$

$$V_d = 143 \text{ kN} \quad (6.144)$$

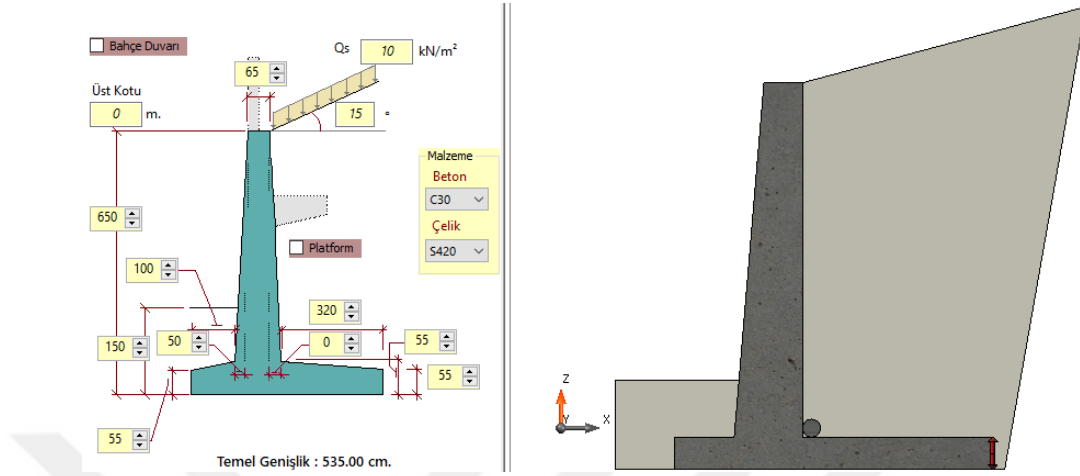
$$M_d = 392 \text{ kNm} \quad (6.145)$$

6.2. İstCAD Yazılımıyla Modelleme

TBDY 2018 ve 2007 DBYBHY uyarınca hesapları elle yapılmış örnek istinat duvarı bu bölümde istCAD programında modellenmiştir. Bu iki yönetmeliğin farkının ortaya konmasının yanı sıra iki yönetmelikle elde edilen konsol istinat duvarının hesap sonuçlarının istCAD programının sonuçlarıyla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Türkiye’de son zamanlarda gündeme gelen ve oldukça sık karşımıza çıkmaya başlayan yıkılan istinat duvarlarının ortalama boyutları esas alınarak farklı durumlar ve etkiler altında incelenmeye tabii tutulmak amacıyla istCAD yazılımında bu duvarlar modellenmiştir. Modellemelerde yamaç eğiminin, yeraltı su seviyesinin, dolgu malzemesinin türünün, temel gömme derinliğinin, duvar gövdesinin konumunun etkisi gibi etmenler ayrı ayrı incelenmiş ve sonuçları paylaşılmıştır.

Şekil 6.4'deki duvarın dolgu, yer altı su seviyesi, zemin ve harita bilgisi gibi hesap parametreleri programa girilmiştir. Şekil 6.5'de güvenlik tahkiklerinin sağlandığı ve duvar boyutlarının uygun olduğu görülmektedir.

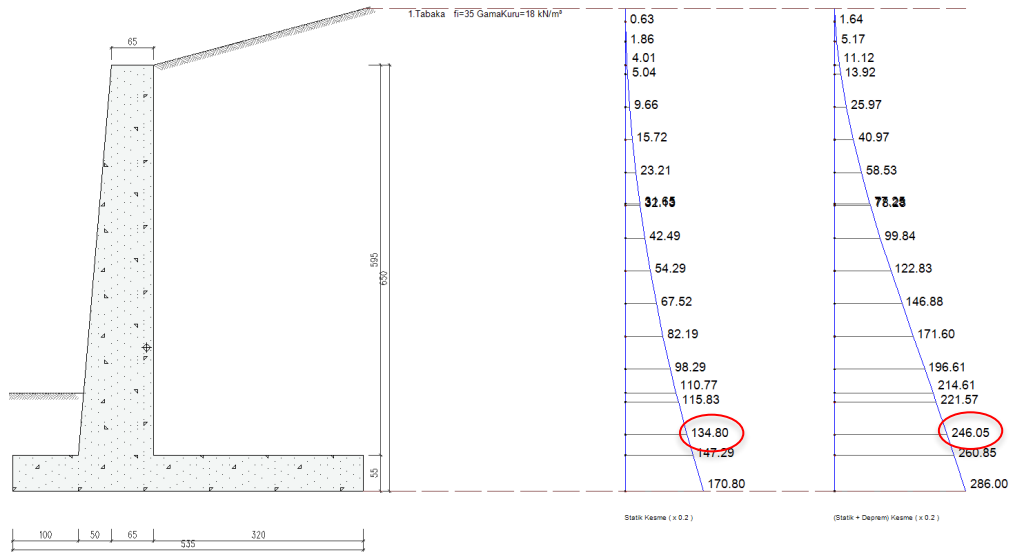


Şekil 6.4. istCAD programında konsol istinat duvarının boyutlandırılması.

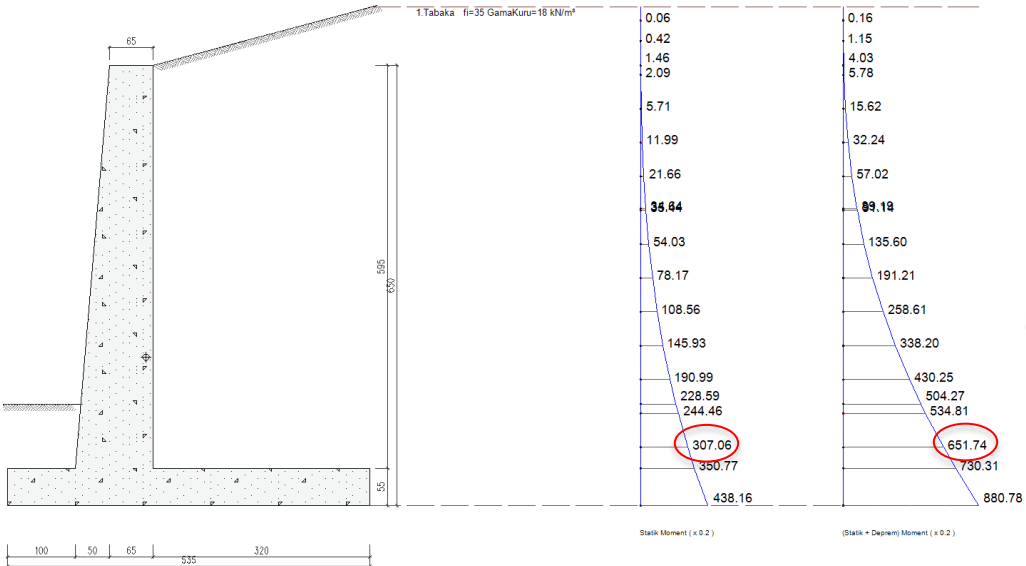
0 Uyarı	16 Bilgi
KONTROL SONUÇLARI	
Kayma Tahkiki	
Statik - Kayma Güvenliği ✓	$V_{thStatik} = 170.80 < R_{thStatik} + \gamma_{Rp} * R_{pt} = 362.86$ [Oran : 2.12 > 1.50] ✓
(1-kv) - Kayma Güvenliği ✓	$V_{thDep1} = 332.05 < R_{thDep1} + \gamma_{Rp} * R_{ptDep1} = 359.02$ [Oran : 1.08 > 1.00] ✓
(1+kv) - Kayma Güvenliği ✓	$V_{thDep2} = 357.77 < R_{thDep2} + \gamma_{Rp} * R_{ptDep2} = 362.62$ [Oran : 1.01 > 1.00] ✓
Devrilme Tahkiki	
Statik - Devrilme Güvenliği ✓	$E_{DevSta} = 438.16 < R_{dev_sta} / \gamma_{RdevSta} = 789.99$ [Oran : 4.51 > 2.50] ✓
(1-kv) - Devrilme Güvenliği ✓	$E_{DevDep1} = 981.85 < R_{dev_dep1} / \gamma_{RdevDep} = 1358.39$ [Oran : 1.80 > 1.30] ✓
(1+kv) - Devrilme Güvenliği ✓	$E_{DevDep2} = 1080.68 < R_{dev_dep2} / \gamma_{RdevDep} = 1674.71$ [Oran : 2.01 > 1.30] ✓
Zemin Gerilme Tahkiki	
Statik - durumda zemin gerilmesi. G1 = 144.92 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
Statik - durumda zemin gerilmesi. G2 = 88.62 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
(1-kv) - Depremlil - durumda (G2 = -69.18 < 0) ve (e=1.42 < B/3=1.78) olduğundan G1 = 302.72 ---> G1rev = 331.83 olarak düzeltme uygulanmıştır.	
(1-kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. G1 = 331.83 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
(1+kv) - Depremlil - durumda (G2 = -3.69 < 0) ve (e=0.92 < B/3=1.78) olduğundan G1 = 237.23 ---> G1rev = 237.29 olarak düzeltme uygulanmıştır.	
(1+kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. G1 = 237.29 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
Diğer	
Konsol Dibinde Kesme Dayanımı Vd = 239.90 < Vr = 731.02	
Konsol Yarı Yüksekliğinde Kesme Dayanımı Vd = 68.84 < Vr = 564.88	
Ön Ampatmanda Kesme Dayanımı Vd = 255.73 < Vr = 332.28	
Arka Ampatmanda Kesme Dayanımı Vd = 270.33 < Vr = 332.28	

Şekil 6.5. istCAD'de duvarın stabilite kontrollerinin görüntüsü.

Şekil 6.6'da (1-kv) deprem durumu için, Şekil 6.4'deki temel üstünden yaklaşık 0,30 m yukarıda olan I-I kesitine etkiyen statik kesme kuvveti, statik moment, statik ve dinamik durumdaki kesme-moment değerleri okunabilmektedir. Şekil 6.5'deki değerler depremin (1-kv) yönünde etkidiği duruma aittir. Bundan dolayı çözümler sadece depremin (1-kv) yönünde etkidiği duruma göre yapılmıştır.



(a)



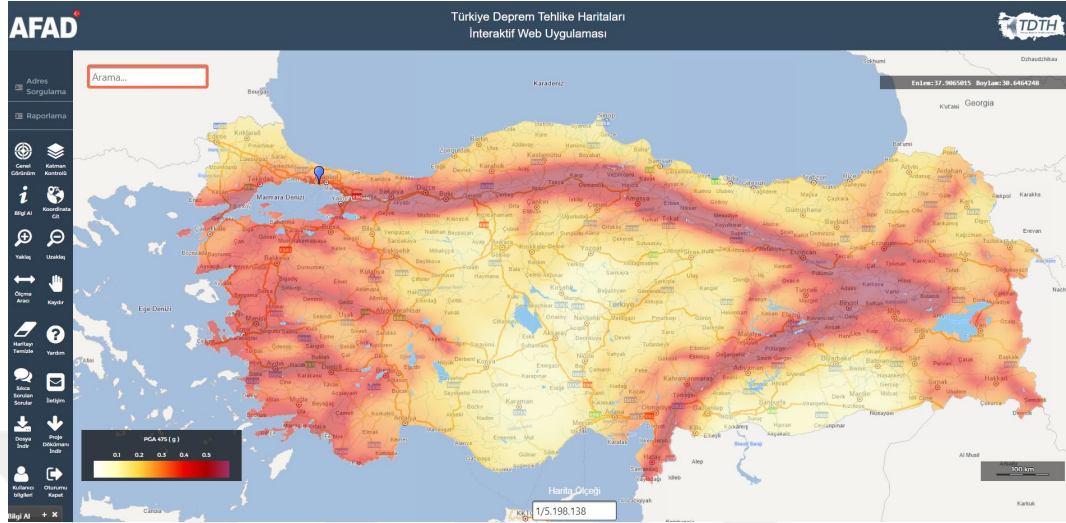
(b)

Şekil 6.6. “İç kuvvetler diyagramı” sekmesinden alınan (1-kv) durumunda I-I kesitine ait (a) statik, statik + dinamik kesme kuvveti ve (b) statik, statik + dinamik moment değeri.

6.2.1. IstCAD, TBDY 2018 ve 2007 DBYBHY’nin sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 6.1’deki dinamik kesme ve moment değerlerine bakıldığında, 2007 DBYBHY ile TBDY 2018 yönetmeliği arasındaki fark açık şekilde görülmektedir. 2007 DBYBHY’de yarı-statik dinamik hesap yöntemi olan Mononobe–Okabe yöntemi kullanılmaktadır. TBDY 2018 ile 2007 DBYBHY’de dikkate alınmayan zemin etkileri hesaplara katılarak daha kapsamlı tasarımlar yapılmaya başlanmıştır. TBDY 2018 ile yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayılarının hesabı Şekil 6.7’de gösterilen

uygulamadan deprem yer hareketi düzeyi, zemin sınıfı ve haritadan bir nokta seçilerek alınan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı olan “ S_{Ds} ”ye göre hesaplanmaya geçilmiştir.



Şekil 6.7. AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması (tdth.afad.gov.tr).

Tablo 6.1’de TBDY 2018 ile elde edilen statik+dinamik moment ve kesme değerlerinin 2007 DBYBHY’den fazla olması nedeniyle konsol istinat duvarının boyutları ve ekonomik maliyeti artmaktadır. Tablo 6.1’deki 2007 DBYBHY ile TBDY 2018 hesap sonuçları 6.1 bölümünden alınmıştır.

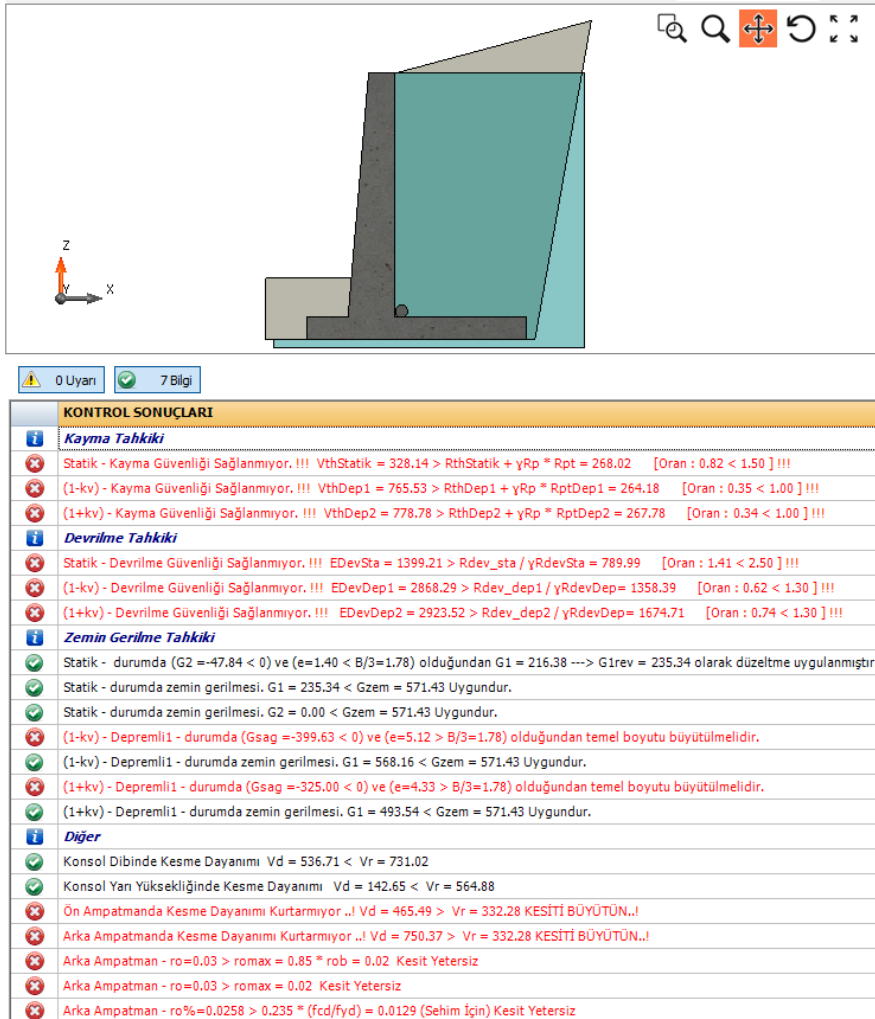
Tablo 6.1. Yönetmeliklerin ve istCAD programının sonuçlarının karşılaştırılması.

Kesit Tesirleri (I-I)	2007 DBYBHY	TBDY 2018	istCAD Yazılımı
Statik, V_d	132 kN	132 kN	135 kN
Statik, M_d	292 kNm	292 kNm	307 kNm
Statik + Dinamik, V_d	168 kN	219 kN	216 kN
Statik + Dinamik, M_d	392 kNm	520 kNm	537 kNm

6.2.2. Yer altı su seviyesinin etkisi

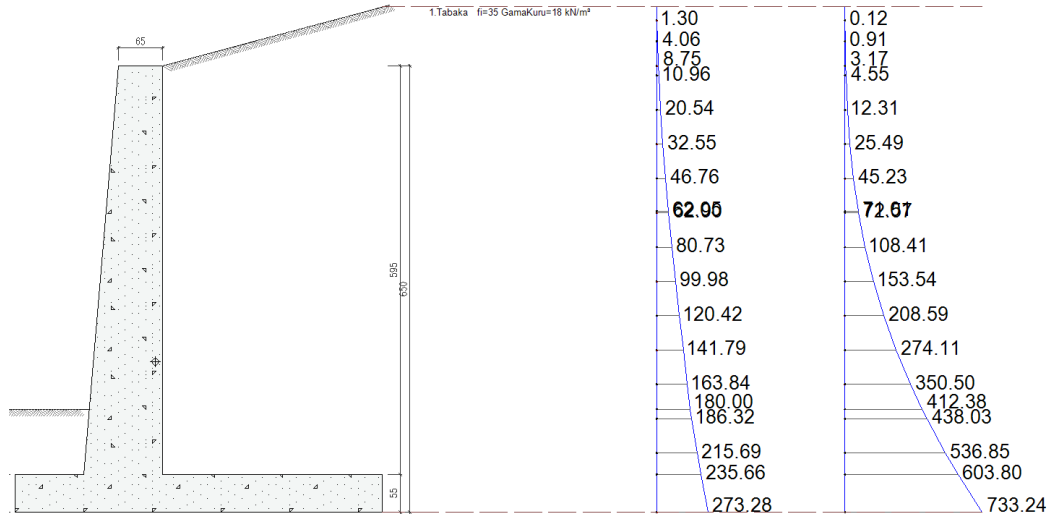
İstinat duvarlarında yapılması gereken en temel analizler duvarın devrilme, kayma ve taşıma gücü kontrolleridir. Yer altı su seviyesi duvarın stabilitesini bozmakta oldukça etkili bir parametredir. Konsol istinat duvarının topuk kısmının uzun olarak boyutlandırılması sistemin genel olarak stabilitesinin artmasını sağlamaktadır.

Şekil 6.4'deki konsol istinat duvarının statik-dinamik zemin itkilerinin ve boyutlarının yer altı su seviyesinin değişiminden nasıl etkilendiğini göstermek için yer altı su seviyesi duvarın yüksekliğine oranla değiştirilmiştir. Yer altı su seviyesi duvar yüksekliği olan 6,50 metreye çıkarıldığında duvar statik ve depremli durumda devrilmeye karşı güvensiz olmakta ve zemin gerilme tahkikinde temel boyutu yetersiz gelmekte ve duvar göçmektedir (Şekil 6.8).

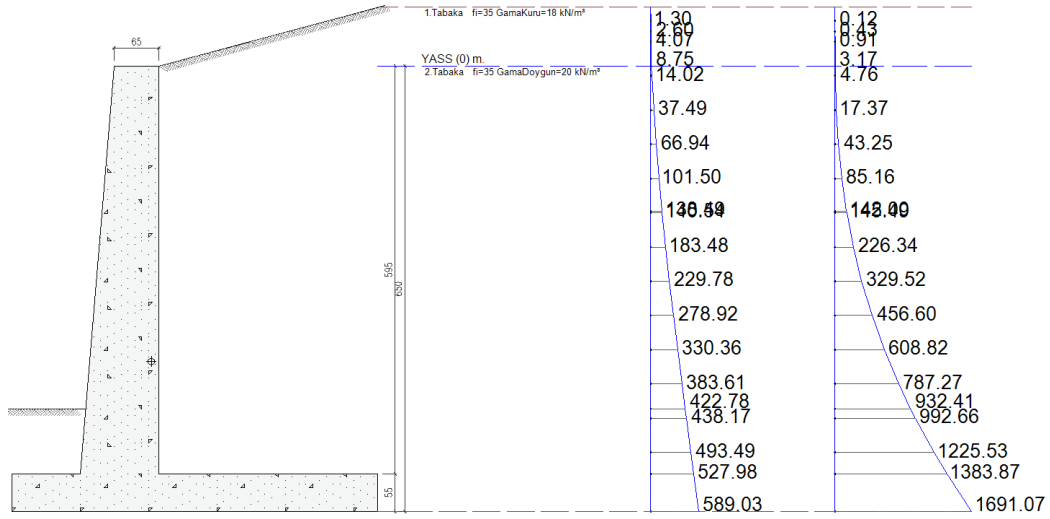


Şekil 6.8. Yer altı su seviyesi duvar yüksekliğinde.

Şekil 6.10'da YASS'nin duvar yüksekliğinde (H: 6,50 m) olması durumunda kesit tesirlerindeki artışın YASS'nin olmadığı duruma göre 2 kattan fazla olduğu gözlenmiştir. Duvar arkasında istenmeyen bu hidrostatik basıncın yıkıcı etkisinden kurtulmak için konsol istinat duvarının boyutlarını arttırmak ekonomik olmayacaktır. Ayrıca istinat duvarı uygulanacak alanlar her zaman bu boyutları karşılayabilecek kadar geniş olmamaktadır. Bundan dolayı yer altı su seviyesi sistemden uzaklaştırılarak sorunun çözülmesi hem daha ekonomik hem de uzun vadede dayanma duvarı için daha sağlıklı sonuçlar doğuracaktır.



(a)



(b)

Şekil 6.10. Yer altı su seviyesinin istinat duvarındaki kesit tesirlerine etkisi, a) YASS yok iken kesme kuvveti ve moment değeri, b) YASS 6,50 m’de iken kesme kuvveti ve moment değeri.

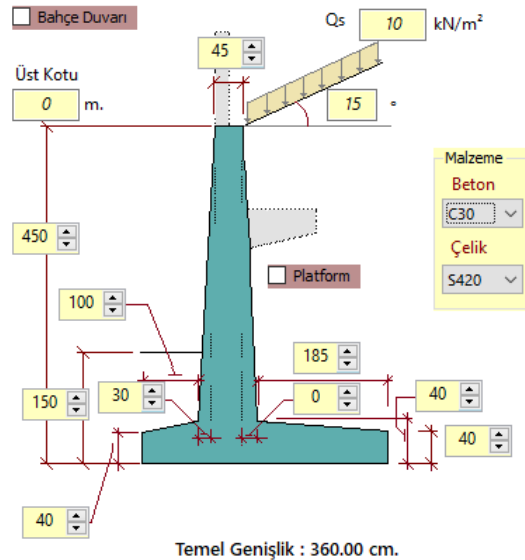
6.2.3. Duvar yüksekliğinin etkisi

Duvar yüksekliği 8,50 metreden itibaren birer metre azaltılarak istCAD’deki modeller incelendiğinde Tablo 6.2’deki sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda duvar yüksekliği arttıkça istinat duvarının boyutları da artmıştır. Duvar yüksekliği 8,50 m iken sonuçlara bakıldığında duvarın gövdesiyle temel tabanının birleştiği I-I kesitindeki kesme kuvveti 360 kN, moment değeri 1158 kNm olarak hesap edilmiştir. Duvar yüksekliği 7,50 m iken I-I kesitindeki kesme kuvveti 283 kN, moment ise 808 kNm olarak hesaplanmış ve kesme kuvveti yaklaşık %27, moment

değeri ise %43 azalmıştır. Duvar yüksekliğinin 4,50 metreden 8,50 metreye çıkarılmasıyla I-I kesitindeki kesme kuvveti 98 kN'dan 360 kN'a, moment değeri ise 166 kNm'den 1158 kNm'ye artmıştır (Tablo 6.2). Duvar boyutunun neredeyse 2 kat artmasıyla kesme kuvveti değeri 4 kat, moment değerinin ise 7 kat arttığı tespit edilmiştir. Kesit tesirlerindeki bu değişimlerin sebebinin duvar yüksekliğiyle birlikte artan duvar boyutları, dolgu yüksekliği ve dolayısıyla da artan aktif toprak basıncı, yanal toprak itkileri olduğu söylenebilir. Duvar yüksekliğinin değişimiyle güncellenen konsol istinat duvarının boyutları Şekil 6.11'de verilmiştir. Duvar yüksekliğinin 8,50 metre olması ile duvar depremlili durumda kaymaya karşı güvensiz olduğundan ön ampatman 10 cm uzatılmak zorunda kalınmıştır (Şekil 6.11 (d)).

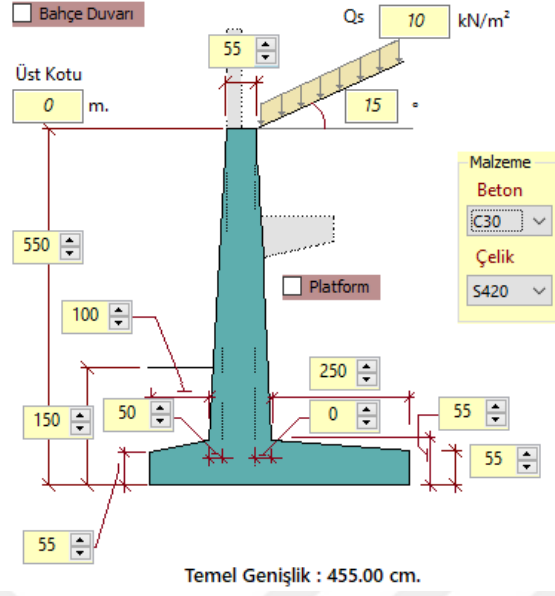
Tablo 6.2. Duvar yüksekliğinin yanal itki, betonarme kesme kuvveti ve momentlere etkisi.

Duvar Yüksekliği	Statik İtki (kN/m)		Statik+Dinamik İtki (kN/m)		I-I Kesitinde Vd (kN)	I-I Kesitinde Md (kNm)
	Zemin yüzeyinde	Temel altında	Zemin yüzeyinde	Temel altında		
8,50 m	3,19	58,08	7,31	58,08	360	1158
7,50 m	3,19	50,98	7,31	50,98	283	808
6,50 m	3,19	44,82	7,31	44,82	215	536
5,50 m	3,19	37,49	7,31	37,49	144	298
4,50 m	3,19	30,77	7,31	30,77	98	166

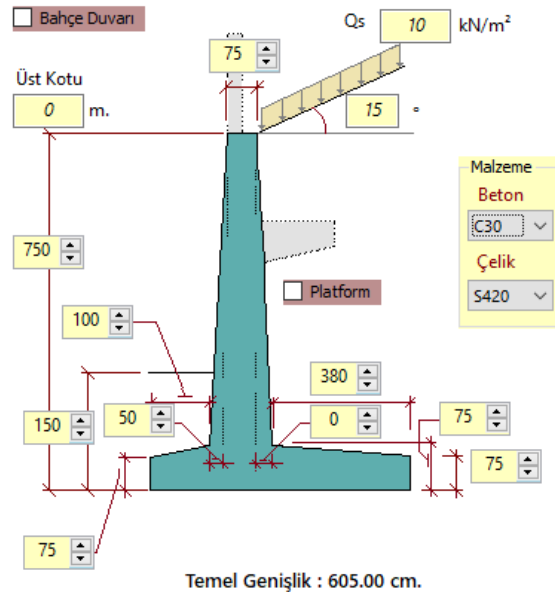


(a)

Şekil 6.11. Duvar yüksekliğinin değişmesiyle artan duvar boyutları, a) 4,50 m, b) 5,50 m, c) 7,50 m, d) 8,50 m.



(b)



(c)

Şekil 6.11. (Devamı): Duvar yüksekliğinin değişmesiyle artan duvar boyutları, a) 4,50 m, b) 5,50 m, c) 7,50 m, d) 8,50 m.

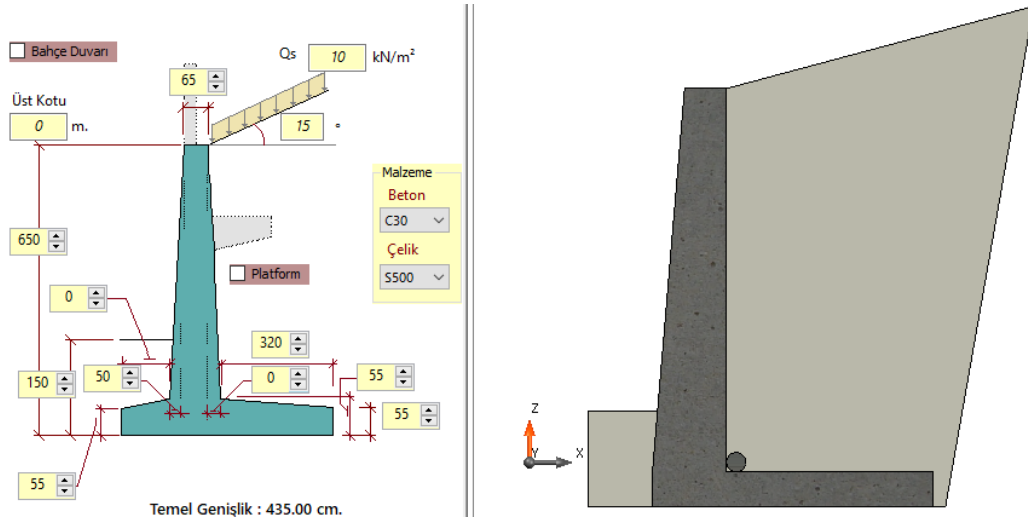
Konsol istinat duvarının dolgusunda Tablo 6.3'deki gibi birim hacim ağırlığı 21 kN/m³ ve kayma direnci açısı 15° olan kil bir dolgu kullanıldığında konsol istinat duvarı statik durumda bile göçmektedir. Duvarın kayma güvenliği ve devrilme güvenliği sağlanamamaktadır (Şekil 6.12). Duvarın devrilme güvenliğini arttırmak için ön ampatman, kayma güvenliğini arttırmak için temele dış yapıp gövde boyutları büyütülebilir. Boyutlardaki artış duvarın maliyetini çok arttıracığından geri dolguyu drenajlı ve granüler kaliteli bir dolgu ile değiştirmek gereklidir.

0 Uyarı	11 Bilgi
KONTROL SONUÇLARI	
Kayma Tahkiki	
Statik - Kayma Güvenliği Sağlanmıyor. !!! VthStatik = 466.68 > RthStatik + yRp * Rpt = 441.39 [Oran : 0.95 < 1.50] !!!	
(1-kv) - Kayma Güvenliği Sağlanmıyor. !!! VthDep1 = 519.77 > RthDep1 + yRp * RptDep1 = 437.02 [Oran : 0.84 < 1.00] !!!	
(1+kv) - Kayma Güvenliği Sağlanmıyor. !!! VthDep2 = 652.26 > RthDep2 + yRp * RptDep2 = 439.65 [Oran : 0.67 < 1.00] !!!	
Devrilme Tahkiki	
Statik - Devrilme Güvenliği Sağlanmıyor. !!! EDevSta = 1098.34 > Rdev_sta / yRdevSta = 885.66 [Oran : 2.02 < 2.50] !!!	
(1-kv) - Devrilme Güvenliği Sağlanıyor. ✓ EDevDep1 = 1226.30 < Rdev_dep1 / yRdevDep = 1520.98 [Oran : 1.61 > 1.30] ✓	
(1+kv) - Devrilme Güvenliği Sağlanıyor. ✓ EDevDep2 = 1732.55 < Rdev_dep2 / yRdevDep = 1876.22 [Oran : 1.41 > 1.30] ✓	
Zemin Gerilme Tahkiki	
Statik - durumda (G2 = -23.64 < 0) ve (e=1.06 < B/3=1.78) olduğundan G1 = 281.18 ----> G1rev = 283.57 olarak düzeltme uygulanmıştır.	
Statik - durumda zemin gerilmesi. G1 = 283.57 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
Statik - durumda zemin gerilmesi. G2 = 0.00 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
(1-kv) - Depremlil - durumda (G2 = -100.12 < 0) ve (e=1.58 < B/3=1.78) olduğundan G1 = 357.66 ----> G1rev = 421.34 olarak düzeltme uygulanmıştır.	
(1-kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. G1 = 421.34 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
(1+kv) - Depremlil - durumda (G2 = -109.44 < 0) ve (e=1.65 < B/3=1.78) olduğundan G1 = 366.98 ----> G1rev = 447.85 olarak düzeltme uygulanmıştır.	
(1+kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. G1 = 447.85 < Gzem = 571.43 Uygundur.	
Diğer	
Konsol Dibinde Kesme Dayanımı Vd = 633.32 < Vr = 731.02	
Konsol Yanı Yüksekliğinde Kesme Dayanımı Vd = 106.42 < Vr = 564.88	
Ön Ampatmanda Kesme Dayanımı Kurtarmıyor ..! Vd = 366.94 > Vr = 332.28 KESİTİ BÜYÜTÜN..!	
Arka Ampatmanda Kesme Dayanımı Kurtarmıyor ..! Vd = 455.95 > Vr = 332.28 KESİTİ BÜYÜTÜN..!	

Şekil 6.12. Kil dolgu kullanıldığında göçen duvara ait kontrol sonuçlarının görüntüsü.

6.2.5. Duvar gövdesinin konumunun etkisi

Konsol istinat duvarının gövdesinin konumu, duvarın devrilmeye ve kaymaya karşı direncini belirlemektedir. Duvarın topuk kısmının (ön ampatman) uzunluğu istinat duvarının devrilmeye karşı direncini artırır. Duvar ters “T” konumunda yani gövde ortadayken modellendiğinde, bu boyutlarda tasarım güvenli olmaktadır. Duvarın gövdesi temel tabanının soluna konumlandırıldığında (Şekil 6.13), bu boyutlarda duvar göçmeye uğramaktadır (Şekil 6.14).

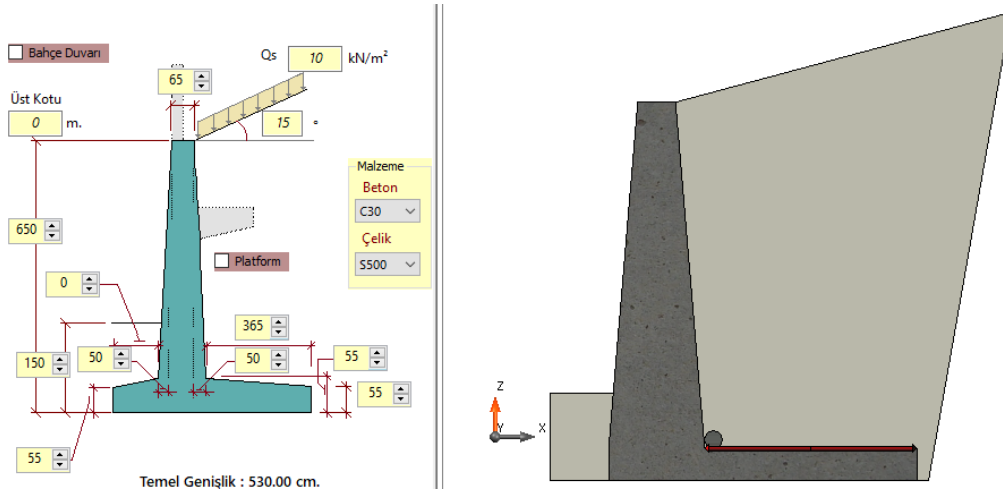


Şekil 6.13. Duvar gövdesi temel tabanının soluna dayalı (L tipi konsol istinat duvarı).

0 Uyarı	12 Bilgi
KONTROL SONUÇLARI	
Kayma Tahkiki	
Statik - Kayma Güvenliği ✓ $V_{thStatik} = 170.80 < R_{thStatik} + \gamma_{Rp} * R_{pt} = 345.12$ [Oran : 2.02 > 1.50] ✓	
(1-kv) - Kayma Güvenliği ✓ $V_{thDep1} = 328.99 < R_{thDep1} + \gamma_{Rp} * R_{ptDep1} = 341.28$ [Oran : 1.04 > 1.00] ✓	
(1+kv) - Kayma Güvenliği Sağlanmıyor. !!! $V_{thDep2} = 354.72 > R_{thDep2} + \gamma_{Rp} * R_{ptDep2} = 344.89$ [Oran : 0.97 < 1.00] !!!	
Devrilme Tahkiki	
Statik - Devrilme Güvenliği ✓ $E_{DevSta} = 438.16 < R_{dev_sta} / \gamma_{RdevSta} = 546.33$ [Oran : 3.12 > 2.50] ✓	
(1-kv) - Devrilme Güvenliği Sağlanmıyor. !!! $E_{DevDep1} = 981.01 > R_{dev_dep1} / \gamma_{RdevDep} = 939.09$ [Oran : 1.24 < 1.30] !!!	
(1+kv) - Devrilme Güvenliği ✓ $E_{DevDep2} = 1079.84 < R_{dev_dep2} / \gamma_{RdevDep} = 1156.85$ [Oran : 1.39 > 1.30] ✓	
Zemin Gerilme Tahkiki	
Statik - durumda zemin gerilmesi. $G1 = 251.93 < G_{zem} = 571.43$ Uygundur.	
Statik - durumda zemin gerilmesi. $G2 = 21.11 < G_{zem} = 571.43$ Uygundur.	
(1-kv) - Depremlil - durumda ($G_{sag} = -197.00 < 0$) ve ($e=1.77 > B/3=1.45$) olduğundan temel boyutu büyütülmelidir.	
(1-kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. $G1 = 470.04 < G_{zem} = 571.43$ Uygundur.	
(1+kv) - Depremlil - durumda ($G_{sag} = -138.57 < 0$) ve ($e=1.46 > B/3=1.45$) olduğundan temel boyutu büyütülmelidir.	
(1+kv) - Depremlil - durumda zemin gerilmesi. $G1 = 411.61 < G_{zem} = 571.43$ Uygundur.	
Diğer	
Konsol Dibinde Kesme Dayanımı $V_d = 239.90 < V_r = 731.02$	
Konsol Yan Yükseğinde Kesme Dayanımı $V_d = 68.84 < V_r = 564.88$	
Ön Ampatmanda Kesme Dayanımı $V_d = 0.00 < V_r = 332.28$	
Arka Ampatmanda Kesme Dayanımı $V_d = 284.94 < V_r = 332.28$	

Şekil 6.14. Duvar “L” tipinde tasarlandığında kontrol sonuçlarının görüntüsü.

Duvarın göçmeye uğramadan üzerine etkiyen tüm yükleri güvenli bir şekilde taşıması için boyutlar Şekil 6.15’deki gibi arttırılmıştır. Arka ampatman 145 cm, duvar alt gövdesi 50 cm büyütülerek kayma ve devrilme güvenliği sağlanmıştır.

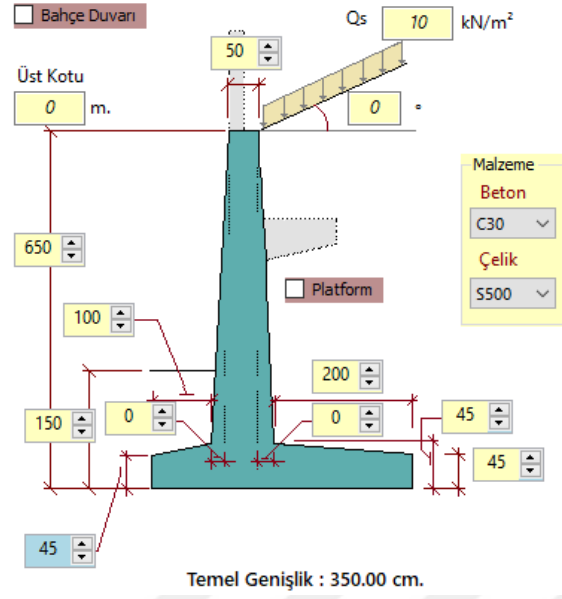


Şekil 6.15. Güvenli tasarım yapıldıktan sonra “L” tipi duvarın boyutları.

L tipi konsol istinat duvarı Şekil 6.15’deki gibi tasarlandığında duvara etkiyen yanal itkiler; statik halde zemin yüzeyinde yanal itki 3,60 kN/m, temel tabanında 51,31 kN/m, dinamik halde zemin yüzeyinde yanal itki 7,86 kN/m, temel tabanında 51,71 kN/m’dir. Kesit tesirleri ise; betonarme hesapta kullanılacak kesme kuvveti 263 kN, moment değeri ise 653 kNm olarak tespit edilmiştir. İstinat duvarı aynı yükseklikteyken gövdenin konumunun değişmesi ters “T” tipine göre kesme kuvveti ve moment değerinde %22’lik bir artışa neden olmuştur. Konsol istinat yapısının alt gövdesinin ve arka ampatmanının boyutları artmıştır. Buradan duvarın ters “T” şeklinde imal edilemeyeceği dar uygulama alanlarında “L” duvar tipi kullanılabileceği sonucuna ulaşılabilmektedir.

6.2.6. Zemin eğiminin etkisi

Betonarme konsol istinat duvarında stabiliteyi etkileyen önemli unsurlardan biri olan zemin eğiminin etkisi incelendiğinde, zemin eğimi 0°’ye düşürüldüğünde duvarın arka ampatmanı 120 cm, gövdesi 15 cm, alt gövdesi 50 cm ve temel kalınlığı 10 cm küçültülerek oluşan güncel boyutları Şekil 6.16’da görülmektedir. İstinat duvarının güncel boyutlarıyla kendi stabilitesini koruyabildiği ve zeminin aktif basıncına da güvenli şekilde direnç göstermekte olduğu gözlenmiştir. Duvar boyutları sabit iken zemin eğiminin 0°’ye indirilmesiyle istinat duvarının I-I kesitindeki kesit tesirlerinin olarak azaldığı Tablo 6.4’de açıkça görülmektedir.



Şekil 6.16. Zemin eğimi 0° olması durumunda duvar boyutu.

Tablo 6.4. Zemin eğiminin değişmesi ile gövdedeki I-I kesitindeki kesit tesirleri.

(1-kv)	Zemin eğimi 0°	Zemin eğimi 15°
Statik Kesme Kuv.	90 kN	135 kN
Sta.+ dep. Kesme Kuv.	144 kN	215 kN
Statik Moment	181 kNm	307 kNm
Sta.+ dep. Moment	290 kNm	537 kNm

6.3. Plaxis 2D Yazılımıyla Modelleme

IstCAD programında modelleme yapıldıktan sonra aynı boyutlar ile geoteknik mühendisliğinde gerçeğe yakın sonuçlar veren Plaxis 2D programı ile konsol istinat duvarının hem statik hem de dinamik modellemeleri yapılmıştır. Daha doğru sonuçlar elde edilebilmesi için zemin ve duvar yüzeyleri arasına ara yüzey elemanı olan “Interface”ler konularak analizler yapılmıştır. Duvara ait sabit ve değişken parametreler Tablo 6.5’de verildiği gibi, zemine ait malzeme özellikleri ise Tablo 6.6’da verildiği gibi Plaxis 2D programına girilerek 64 adet kombinasyonun modellemeleri yapılmıştır. Tablo 6.6’daki kumun elastisite modülü (E) “Plaxis Bulletin issue 14 / September 2003”ten referans alınmıştır. Tablo 6.7’de görüldüğü gibi konsol istinat duvarının ön ampattmanı (B_1) 1 m olarak sabit tutulmuştur. Şekil 6.17’de konsol istinat duvarına ait kesit atalet momentlerinin şeması görülmektedir.

Tablo 6.5. Konsol istinat duvarına etkiyecek sabit ve değişken parametreler.

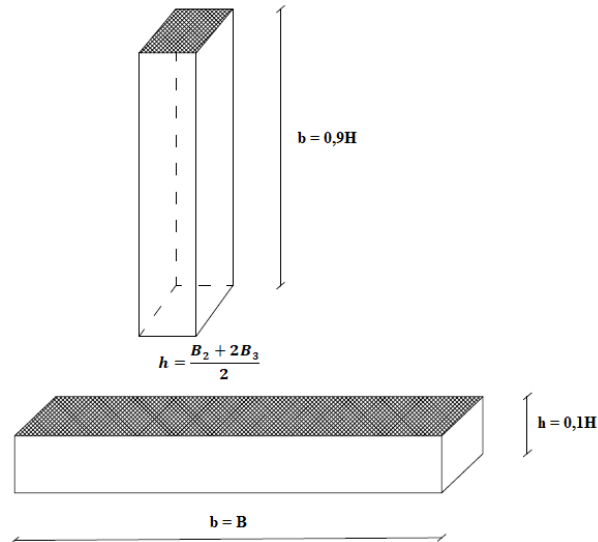
Değişken Parametreler				
	Birim	Sembol	Değer Aralığı	Kullanılacak Değerler
Sürşarj Yüğü	kN/m^2	q	0,00 - 15,00	0,00 - 5,00 - 10,00 - 15,00
Temel Derinliği	m	D	0,00 - 1,50	0,00 - 0,50 - 1,00 - 1,50
Yüzey Eğimi	°	α	0° – 15°	0° ve 15°
Su Seviyesi	m	-	Yok - var	Yok - var
Yükseklik	m	H	6,50	6,50
Sabit Parametreler				
Granüler Dolgu				
Kohezyon	kN/m^2	c	1	1
İçsel Sürtünme Açısı	°	ϕ	35	35
Birim Hacim Ağırlık	kN/m^2	γ	18	18
Temel Altı Zemin				
Kohezyon	kN/m^2	c	1	1
İçsel Sürtünme Açısı	°	ϕ	35	35
Birim Hacim Ağırlık	kN/m^2	γ	18	18

Tablo 6.6. Konsol istinat duvarına etki edecek zemin özellikleri.

Zemin Özellikleri	Granüler Dolgu	Temel Altı Zemin
Tanımı	Orta sıkı kum	
Doğal Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m^3)	18	18
Poisson Oranı (μ)	0,30	0,30
Elastisite Modülü (E) (kN/m^2)	45000	45000
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) ($^\circ$)	35	35
Kohezyon (c) (kN/m^2)	1	1

Tablo 6.7. Betonarme konsol istinat duvarının boyutları.

Yükseklik H (m)	α	B ₁ (m)	B ₂ (m)	B ₃ (m)	B ₄ (m)	B (m)	H _{temel} (m)	H _{gövde} (m)	H' (m)
6,50	0°	1,00	0,00	0,50	2,00	3,50	0,45	5,95	-
6,50	15°	1,00	0,50	0,65	3,20	5,35	0,55	5,95	0,86

**Şekil 6.17.** Konsol istinat duvarı kesit atalet momentleri şeması.

Betonarme konsol istinat duvarları Plaxis 2D programında 2 adet “plate” (kiriş) eleman olarak modellenmiştir. Tablo 6.8’den TS-500’e göre C30 beton sınıfı için elastisite modülü 32000 MPa olarak alınmıştır. Betonun poisson oranı ise 0,20 olarak hesaba katılmıştır (TS-500). YASS’nin olmadığı ve YASS’nin duvar seviyesinde olduğu durumlarda modellemeler yapılmıştır.

Duvar yüksekliği H: 6,50 m ve zemin eğimi 0° için atalet momentleri ve kesit alanının hesaplanması:

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (6.146)$$

$$A = b * h \quad (6.147)$$

Duvarın üst kısmı (gövde) için hesap:

$$I = \frac{5,95*0,50^3}{12} = 0,062 \text{ m}^4 \quad (6.148)$$

$$A = 5,95 * 0,50 = 2,98 \text{ m}^2 \quad (6.149)$$

Duvarın alt kısmı (temel) için hesap:

$$I = \frac{3,50*0,45^3}{12} = 0,027 \text{ m}^4 \quad (6.150)$$

$$A = 3,50 * 0,45 = 1,58 \text{ m}^2 \quad (6.151)$$

Tablo 6.8. Beton sınıfları ve betonun basınç dayanımları (TS 500, 2000).

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı (Mpa)	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı (Mpa)	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı (Mpa)	28 Günlük Elastisite Modülü (E _c , Mpa)
C16	16	20	1,4	27000
C18	18	22	1,5	27500
C20	20	25	1,6	28000
C25	25	30	1,8	30000
C30	30	37	1,9	32000
C35	35	45	2,1	33000
C40	40	50	2,2	34000
C45	45	55	2,3	36000
C50	50	60	2,5	37000

Tablo 6.9. Zemin eğiminin 0° ve 15° olduğu durumlarda Plaxis 2D programında kullanılan elastisite modülleri ve atalet momentleri.

Yükseklik H (m)	α	Duvar Elemanları	Kesit Alanı A (m ²)	Atalet Momenti I (m ⁴)	E (MPa)	EA (kN/m)	EI (kN/m ²)
6,50	0°	Üst gövde	2,98	0,062	32.000.000	95.360.000	1.984.000
		Temel	1,58	0,027	32.000.000	50.560.000	864.000
6,50	15°	Üst gövde	4,46	0,209	32.000.000	142.720.000	6.688.000
		Temel	2,94	0,074	32.000.000	94.160.000	2.368.000

6.3.1. Modelleme sonuçları

Plaxis 2D yazılımıyla 64 farklı betonarme konsol istinat duvarının statik durumda modellemesi yapılmış ve temel gömme derinliği, sürşarj yükü, su seviyesi, zemin eğiminin istinat duvarındaki kesit tesirlerine etkisi incelenmiştir. Modellemelerde kesit tesirlerine bakılırken alınan kesit bölgesi 6.2. bölümündeki istCAD yazılımında seçilen ile aynı nokta olan temel üstünden 30 cm yukarıdan seçilmiştir.

6.3.1.1. Temel gömme derinliğinin etkisi

Duvarın kaymaya ve devrilmeye karşı direncini sağlayan gömme derinliğinin konsol istinat duvarına etkisi incelendiğinde, gömme derinliği 0 metreden 1,50 metreye çıkarıldığında kesme kuvveti ve moment değerlerinin azaldığı Tablo 6.10'da görülmektedir. Örneğin Tablo 6.10'da gömme derinliği 0 m, YASS'nin olmadığı ve sürşarj yükünün 0 kPa ve zemin eğiminin 0° olduğu kombinasyonda kesme kuvveti 107 kN, eğilme momenti 184 kNm'dir. Diğer parametreler sabitken sadece gömme derinliği 1,50 m olarak değiştirildiğinde, kesme kuvvetinin 66 kN'a, eğilme momentinin de 174 kNm'ye azaldığı görülmektedir. Temel gömme derinliği 0 metreden 1,50 metreye çıkarıldığında kesme kuvvetinin %38 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Moment değişiminde ise ciddi bir azalmaya rastlanmamıştır. İstinat duvarında temel derinliği arttıkça toplam, yatay ve düşey deformasyon değerlerinin tüm durumlarda azaldığı Tablo 6.10'da görülmektedir.

6.3.1.2. Sürşarj yükünün etkisi

Konsol istinat duvarında sürşarj yükünün etkisi incelendiğinde, diğer parametreler sabitken sürşarj yükünün artmasıyla kesme kuvveti, moment değeri ve deformasyon değerlerinin arttığı Tablo 6.10'da görülmektedir. Örneğin Tablo 6.10'da gömme derinliği 0 m, YASS'ın olmadığı, zemin eğimi de 0° olduğu durum incelenmiştir. Bu durumda kesme kuvveti 107 kN, moment değeri 184 kNm olarak hesaplanmıştır.

Sürşarj yükü 5 kPa iken kesme kuvveti 113 kN, moment değeri 205 kNm'dir. Sürşarj yükü zemin eğimi 0° iken arttırıldığında toplam ve yatay deformasyon verilerinde artış gözlenirken, düşey deformasyon verilerinde önemli bir artış gerçekleşmemiştir. Zemin eğimi 15° iken sürşarj yükü arttırıldığında deformasyon verilerindeki artışın çok daha az olduğu analiz sonucunda ortaya çıkmıştır. Zemin eğiminin artması ile duvarın stabilitesi güçlenmiş ve deformasyonları azaltmıştır. Sürşarj yükü 10 ve 15 kPa olarak modelleme yapıldığında istinat duvarında göçme gerçekleştiği görülmüştür. Burada yetersiz temel gömme derinliğine bağlı olarak sürşarj yükünün getirdiği ekstra yüklerden kaynaklı olarak yapının göçtüğü analizlerde görülmüştür.

6.3.1.3. Yer altı su seviyesinin etkisi

İstinat yapılarında suyun varlığı her zaman en büyük risklerden biri olmuştur. Suyun getirdiği ekstra yüklerden dolayı duvar stabilitesi bozulmakta ve duvarın aktif basıncının artmasıyla duvarların göçmesine neden olmaktadır. Yapılan çalışmada konsol istinat duvarının ön boyutlandırması yapılırken ön ampatman uzunluğu 1,00 metrede sabit tutulmuştur. Bunun başlıca neden ise uygulamada ön ampatmanın 1,00 metreden geniş yapılmasının pek mümkün olmamasından kaynaklanmaktadır. Ön ampatmanın kısa oluşu duvarın devrilme stabilitesini önemli ve birincil derecede olumsuz etkilemektedir.

Yapılan analizler sonucunda su seviyesinin konsol istinat duvarı yüksekliğinde (maksimum) olduğu bütün durumlardaki modeller göçmeye uğramıştır (Tablo 6.10). Bunun başlıca nedeni duvarın devrilme stabilitesinde başrol oynayan topuk kısmının 1 metre olarak kısa modellenmesinden kaynaklanmaktadır. Duvar yüksekliğindeki YASS'nin oluşturduğu aktif basınca karşı koyabilen boyutlarda duvar inşa etmek oldukça maliyetli olacağından YASS sistemden uzaklaştırılmalıdır.

6.3.1.4. Zemin yüzey eğiminin etkisi

Bu kısımda yapılan modellemeler sonucu zemin eğiminin konsol istinat duvarına etkisi incelenmiştir. Zemin eğimi 0°'den 15°'ye çıkarıldığında sürşarj yükü 0 kPa, gömme derinliği 0 m, YASS'nin olmadığı durumda eksenel kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinin arttığı Tablo 6.10'da gözlenmiştir. Kesme kuvveti 107 kN'dan 145 kN'a, moment değeri ise 184 kNm'den 271 kNm'ye çıkmıştır. Eğimin 15° olması ile I-I kesitindeki kesme kuvveti %36 artış gösterirken, eğilme momenti değeri %47 artış göstermiştir. Analiz sonuçlarında zemin eğiminin 0°'den 15°'ye

artmasının deformasyon değerlerini oldukça önemli şekilde azalttığı saptanmıştır. Örneğin 6,50 m duvar yüksekliği, sürşarj yükü ve YASS'nin bulunmadığı durumda toplam deformasyon 15,21 mm, yatay deformasyon -5,46, düşey deformasyon -0,94 mm olarak hesaplanmıştır. Aynı durumda zemin eğimi 15°'ye çıkarıldığında, toplam deformasyon 4,94 mm, yatay deformasyon -2,68 mm, düşey deformasyon değeri de -0,39 mm hesaplanmıştır. Analiz sonuçlarına bakıldığında zemin eğiminin olması duvarın devrilme ve kayma stabilitesini arttırarak deformasyon değerlerini düşürdüğü söylenebilir. Analizlerde yüzey eğiminden kaynaklı bir göçme durumu gerçekleşmemiştir. Oturmaların az olması isteniyorsa zemin eğimli şekilde uygulama tercihi yapılabilir.

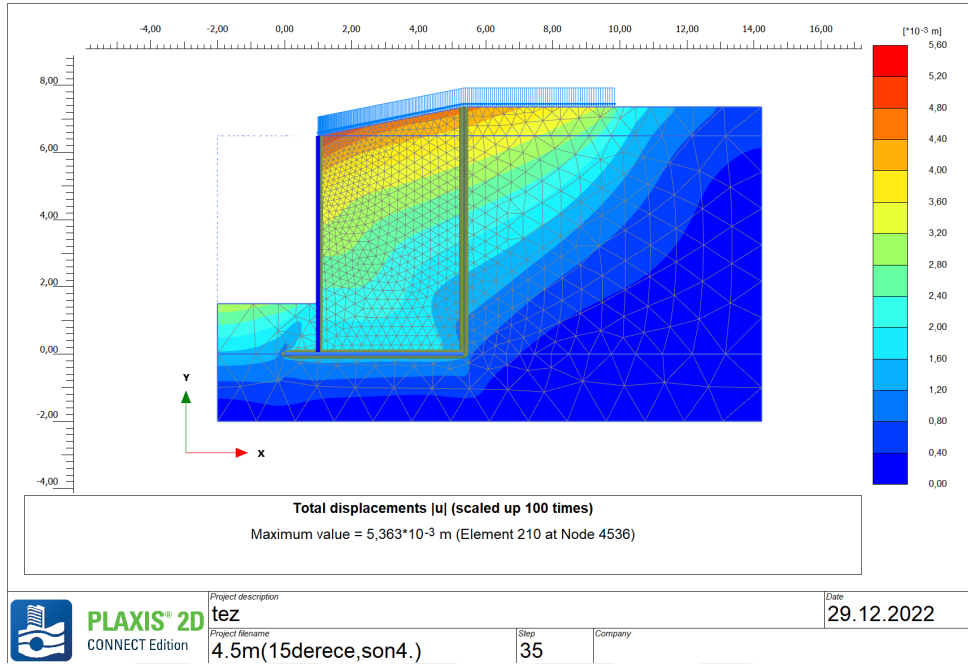
6.3.2. Statik analiz sonuçları

Plaxis 2D yazılımıyla betonarme konsol istinat duvarı için gömme derinliği, sürşarj yükü, zemin eğimi, YASS, duvar yüksekliği parametreleri ile 64 adet kombinasyon için yapılan statik duvar analiz sonuçları aşağıdaki Tablo 6.10'da verilmiştir. İstinat duvar modellemelerinde su seviyesinin maksimum (duvar yüksekliği seviyesinde) olduğu durumların hepsinde göçme meydana gelmiştir. Şekil 6.18'de istCAD'deki 6,50 metrelik ana modelin Plaxis 2D'deki analiz sonuçları paylaşılmıştır. Şekil 6.19'da ise aynı duvar boyutlarına sahip modelde diğer parametreler sabit tutularak yer altı su seviyesi duvar boyutunda (H: 6,50 m) etki ettirilmiştir. Analiz yapılırken duvar yer altı suyundan kaynaklanan hidrostatik etkilere direnç gösteremeyerek göçmüştür.

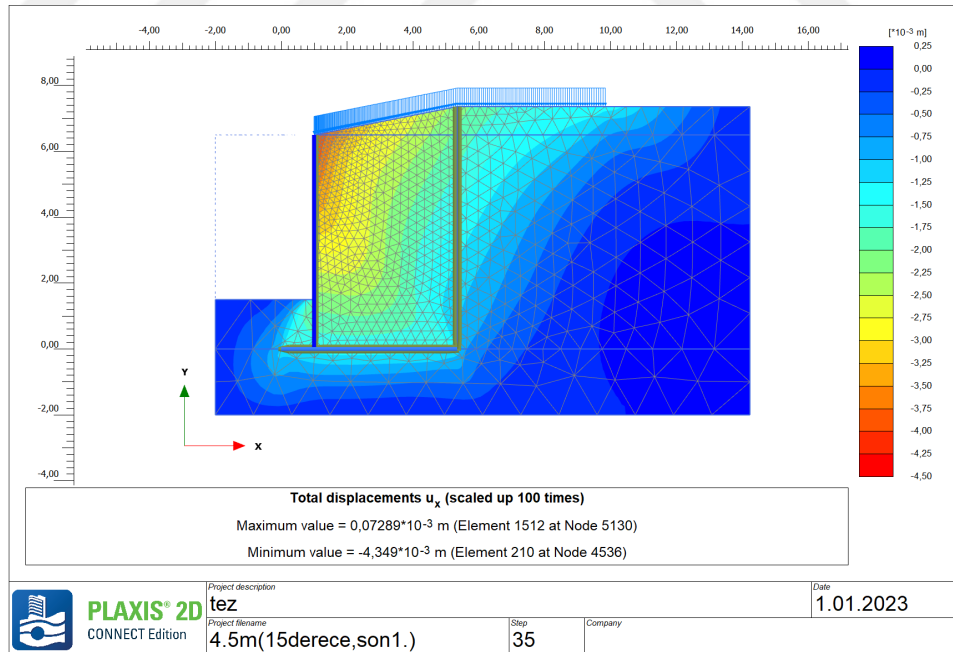
Tablo 6.10. H: 6,50 m için gömme derinliği, sürşarj yükü, yer altı su seviyesi ve zemin eğiminin konsol istinat duvarındaki kesit tesirlerine olan etkisi (Ana modelin sonuçları turuncu renk ile işaretlenmiştir).

Duvar Yüksekliği (m)	Gömme Derinliği (m)	Sürşarj Yüğü (kPa)	Su Seviyesi	Zemin Eğimi (derece)	Toplam Def. (mm)	Yatay Def. (mm)	Düşey Def. (mm)	Eksenel Kuv. (kN)	Kesme Kuv. (kN)	Moment (kNm)
6,50	0	0	min	0	15,21	-5,46	-0,94	-25,78	106,97	183,75
	0,50	0			8,88	-2,75	-0,19	-22,16	107,80	191,12
	1,00	0			7,33	-1,97	-0,05	-9,91	89,29	187,74
	1,50	0			5,63	-1,41	0,08	4,46	65,65	173,99
6,50	0	5	min	0	21,71	-7,00	-1,53	-31,93	112,76	204,54
	0,50	5			12,71	-3,27	-0,47	-29,10	114,23	211,78
	1,00	5			10,08	-2,21	-0,25	-16,47	95,22	207,24
	1,50	5			7,91	-1,56	-0,08	-1,85	70,18	192,49
6,50	0	10	min	0	GÖÇME GERÇEKLEŞTİ					
	0,50	10			17,29	-3,93	-0,81	-35,93	120,70	232,40
	1,00	10			13,81	-2,55	-0,50	-22,89	102,21	231,66
	1,50	10			10,8	-1,76	-0,29	-8,45	75,53	213,57
6,50	0	15	min	0	GÖÇME GERÇEKLEŞTİ					
	0,50	15			21,97	-4,79	-1,21	-42,54	127,20	255,15
	1,00	15			16,92	-2,90	-0,73	-30,23	108,37	251,08
	1,50	15			13,61	-1,98	-0,52	-14,92	81,02	234,67
6,50	0	0-15	max	0	TÜM DURUMLARDA GÖÇME GERÇEKLEŞTİ					
	0,50									
	1,00									
	1,50									
6,50	0	0	min	15	4,94	-2,68	-0,39	-18,27	144,46	270,85
	0,50	0			4,01	-2,05	-0,17	-18,52	143,58	279,62
	1,00	0			3,60	-1,69	-1,23	-6,14	125,38	276,00
	1,50	0			3,1	-1,34	0,00	10,34	101,22	263,95
6,50	0	5	min	15	6,34	-3,05	-0,74	-28,27	152,85	295,36
	0,50	5			5,18	-2,29	-0,44	-28,93	152,40	305,82
	1,00	5			4,65	-1,87	-0,36	-16,77	133,86	302,58
	1,50	5			3,82	-1,49	-0,19	-0,59	109,04	289,59
6,50	0	10	min	15	8,54	-3,45	-1,10	-38,12	161,42	320,82
	0,50	10			7,09	-2,57	-0,74	-39,03	161,27	332,86
	1,00	10			6,34	-2,09	-0,64	-26,94	142,98	330,60
	1,50	10			5,36	-1,65	-0,44	-10,71	116,79	316,14
6,50	0	15	min	15	10,74	-3,93	-1,50	-47,65	170,31	346,58
	0,50	15			8,66	-2,87	-1,06	-48,69	170,67	360,00
	1,00	15			7,79	-2,30	-0,92	-36,86	152,06	357,62
	1,50	15			6,78	-1,83	-0,70	-20,11	125,06	343,35
6,50	0	0-15	max	15	TÜM DURUMLARDA GÖÇME GERÇEKLEŞTİ					
	0,50									
	1,00									
	1,50									

Şekil 6.18’de ana model parametreleri ile duvara ait toplam, yatay ve düşey deformasyonlar, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerine analiz sonucunda ulaşılmıştır.

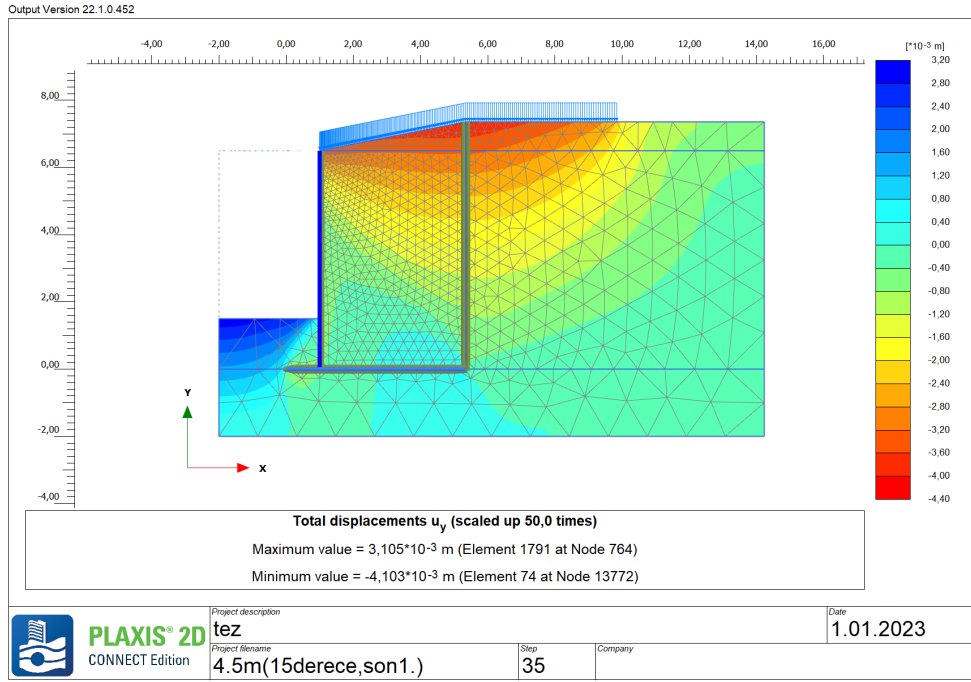


(a)

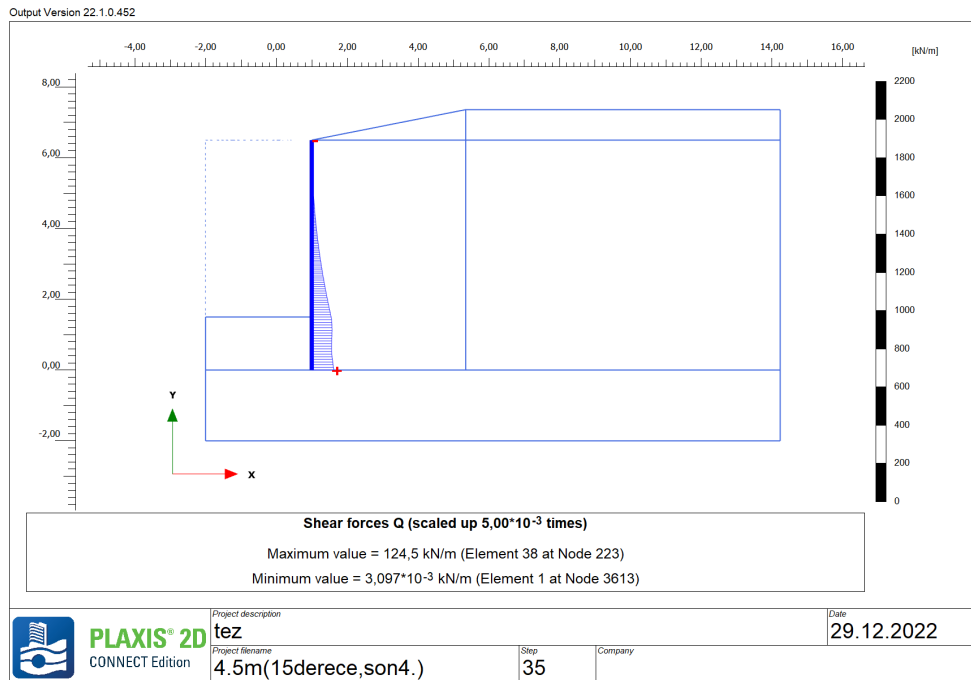


(b)

Şekil 6.18. H: 6,50 m, Dr: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS yok, α : 15° (istCAD ana modeli),
a) Toplam deformasyon (u), b) Yatay deformasyon (u_x), c) Düşey deformasyon (u_y), d) I-I kesiti kesme kuvveti (V), e) I-I kesiti eğilme momenti (M).

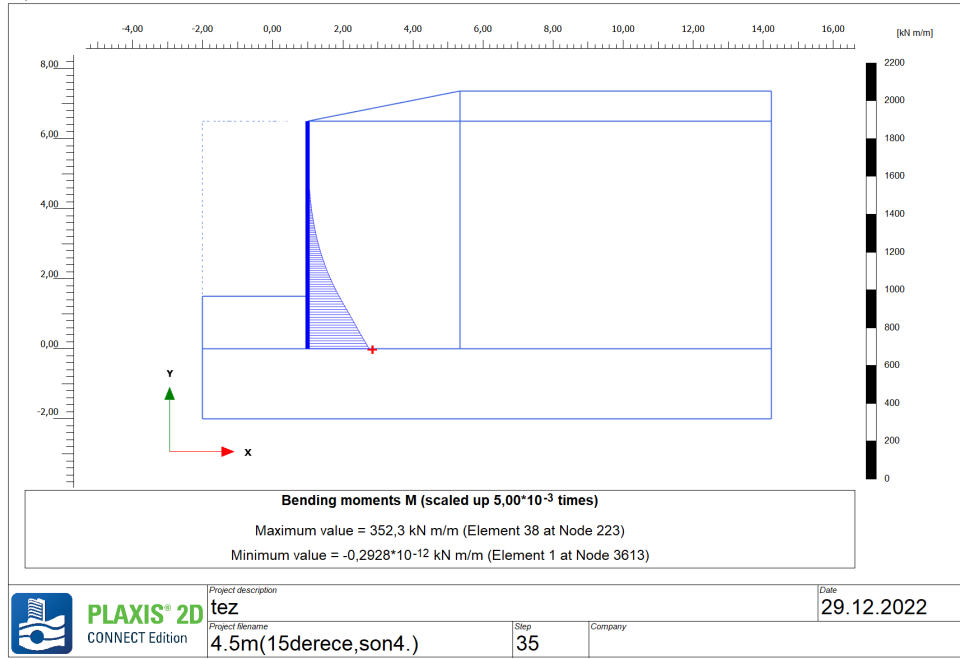


(c)



(d)

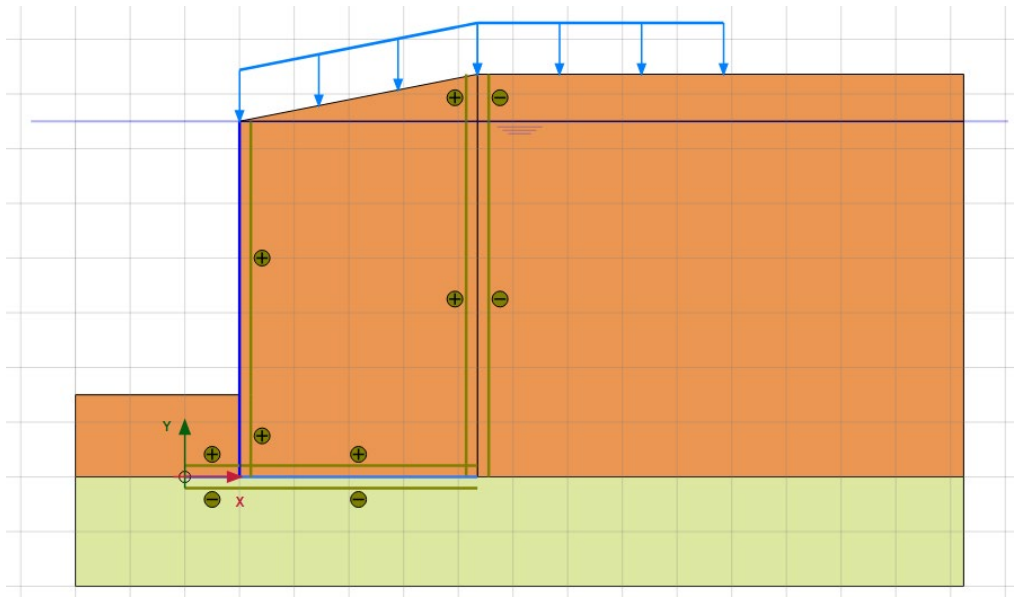
Şekil 6.18. (Devamı): H: 6,50 m, D_f : 1,50 m, q: 10 kPa, YASS yok, α : 15° (istCAD ana modeli), a) Toplam deformasyon (u), b) Yatay deformasyon (u_x), c) Düşey deformasyon (u_y), d) I-I kesiti kesme kuvveti (V), e) I-I kesiti eğilme momenti (M).



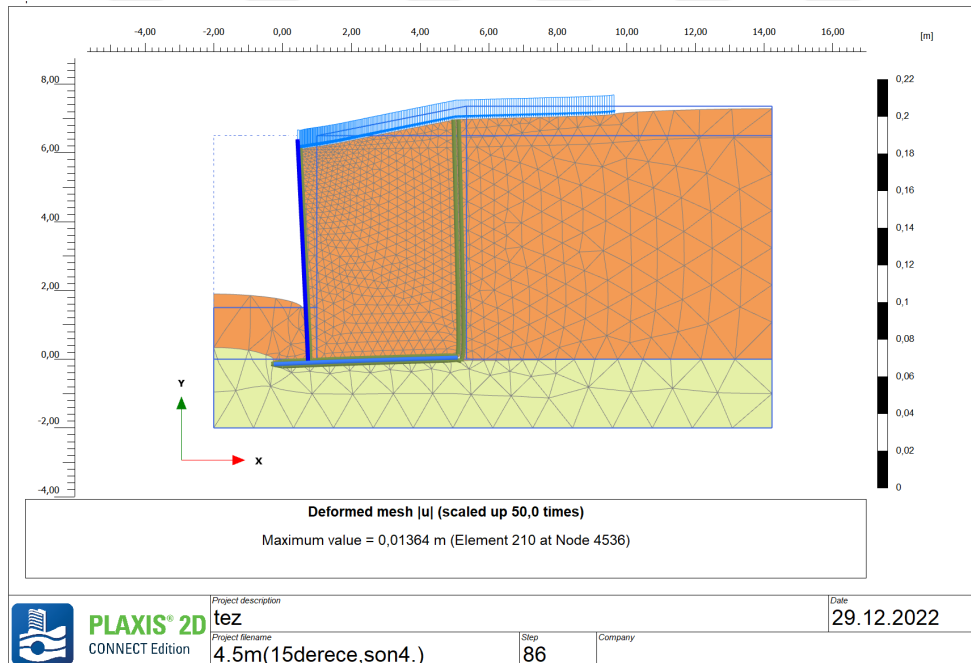
(e)

Şekil 6.18. (Devamı): H: 6,50 m, Dr: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS yok, α : 15° (istCAD ana modeli), a) Toplam deformasyon (u), b) Yatay deformasyon (u_x), c) Düşey deformasyon (u_y), d) I-I kesiti kesme kuvveti (V), e) I-I kesiti eğilme momenti (M).

Şekil 6.19'da ise ana modelde YASS duvar yüksekliğinde (6.50 m) olarak analiz yapıldığında toplam, yatay ve düşey deformasyonlar ile kesme kuvveti, eğilme momenti değerleri ve plastik noktalardaki değişim paylaşılmıştır.

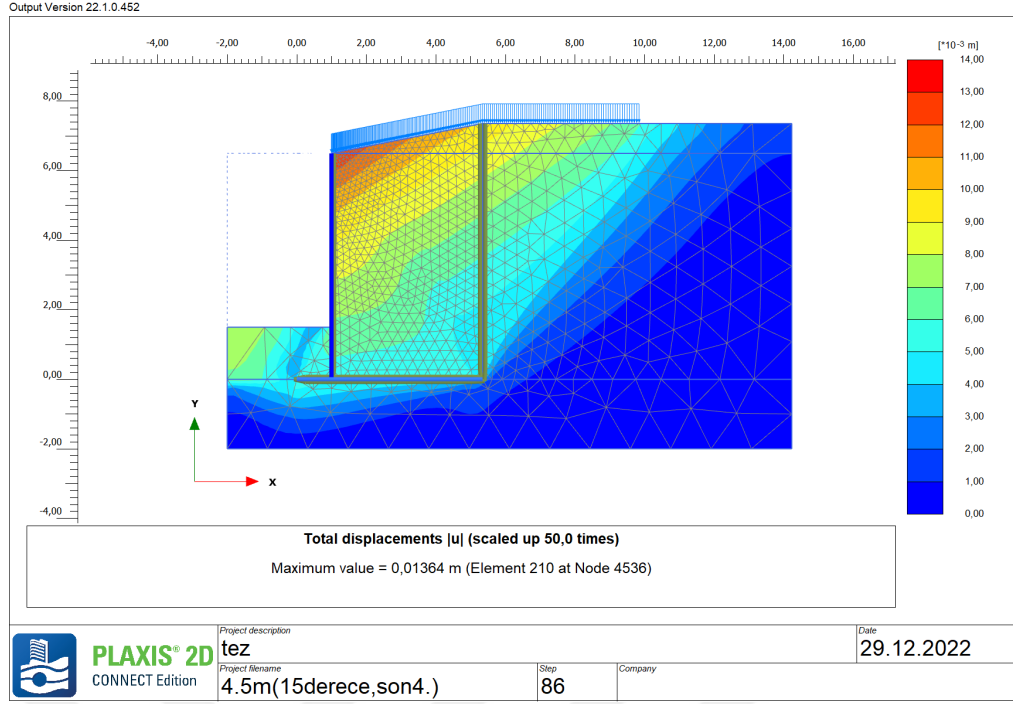


(a)

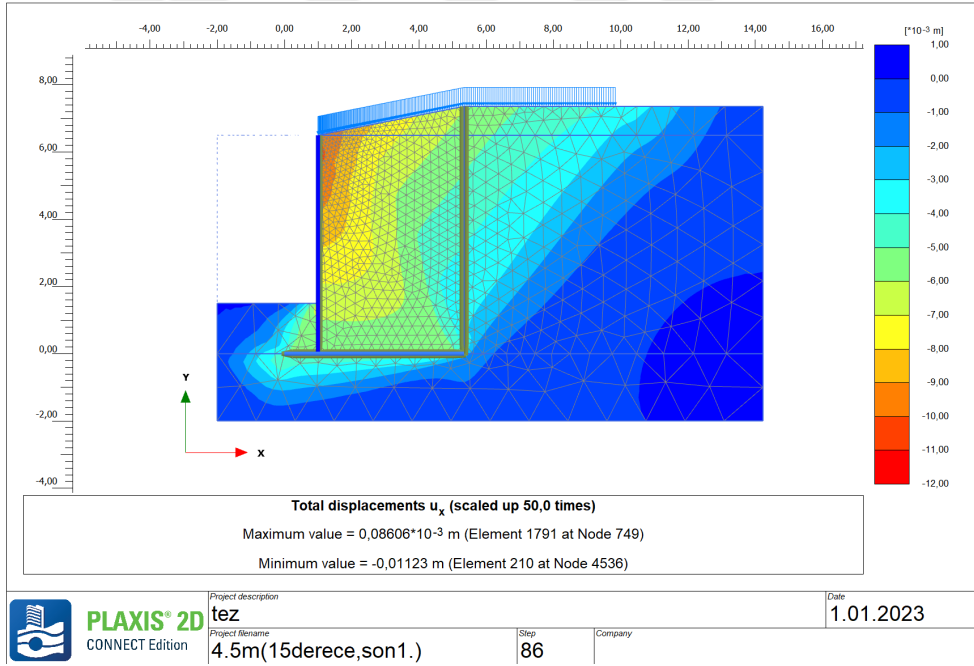


(b)

Şekil 6.19. H: 6,50 m, D_f: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS var (6,50 m), α : 15° (istCAD ana modeli), a) Konsol istinat duvarının model görüntüsü, b) x50 kat büyütülmüş deforme mesh, c) Toplam deformasyon (u), d) Yatay deformasyon (u_x), e) Düşey deformasyon (u_y), f) I-I kesitinde kesme kuvveti (V), g) I-I kesitinde eğilme momenti (M), h) Plastik noktalar.

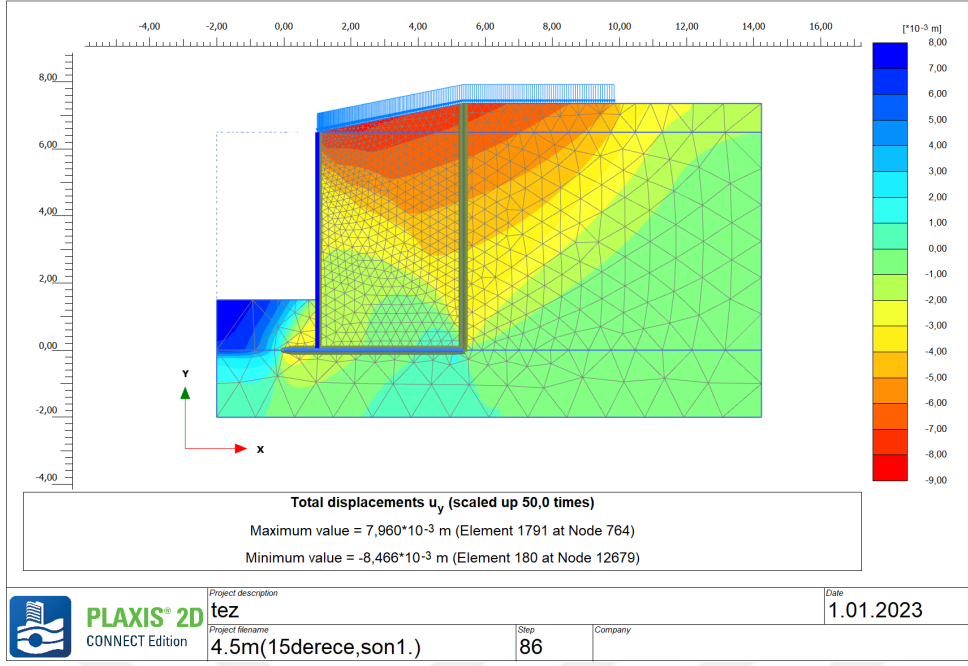


(c)

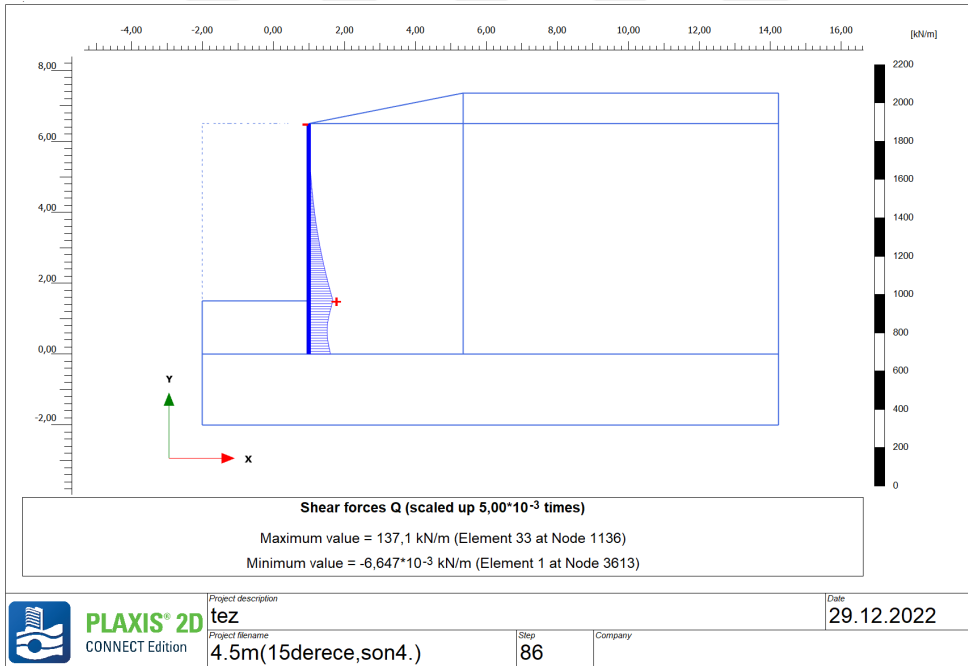


(d)

Şekil 6.19. (Devamı): H: 6,50 m, D_f: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS var (6,50 m), α : 15° (istCAD ana modeli), a) Konsol istinat duvarının model görüntüsü, b) x50 kat büyütülmüş deforme mesh, c) Toplam deformasyon (u), d) Yatay deformasyon (u_x), e) Düşey deformasyon (u_y), f) I-I kesitinde kesme kuvveti (V), g) I-I kesitinde eğilme momenti (M), h) Plastik noktalar.

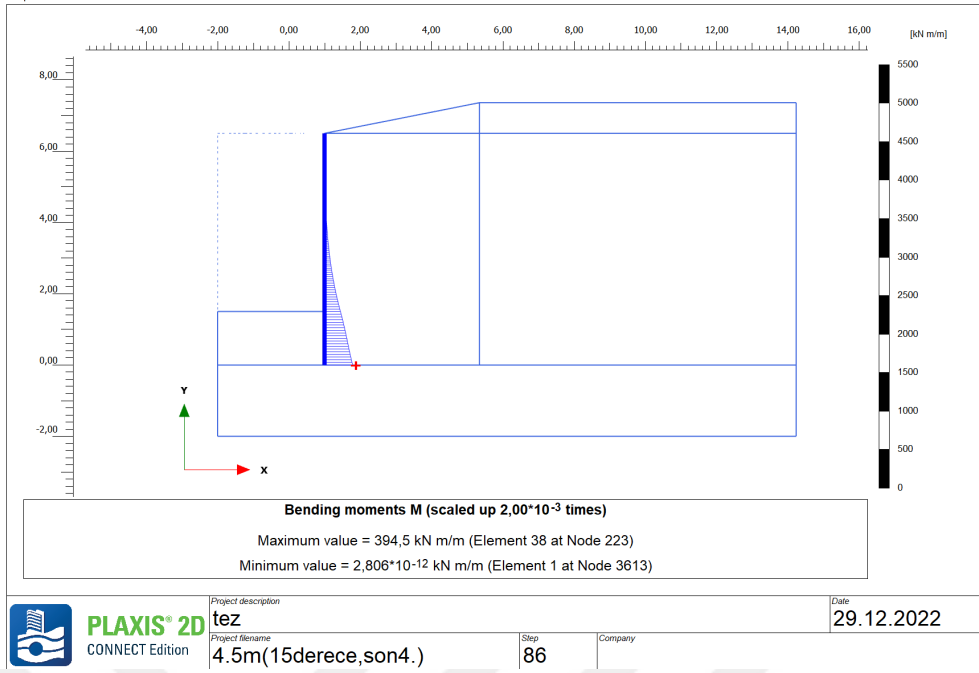


(e)

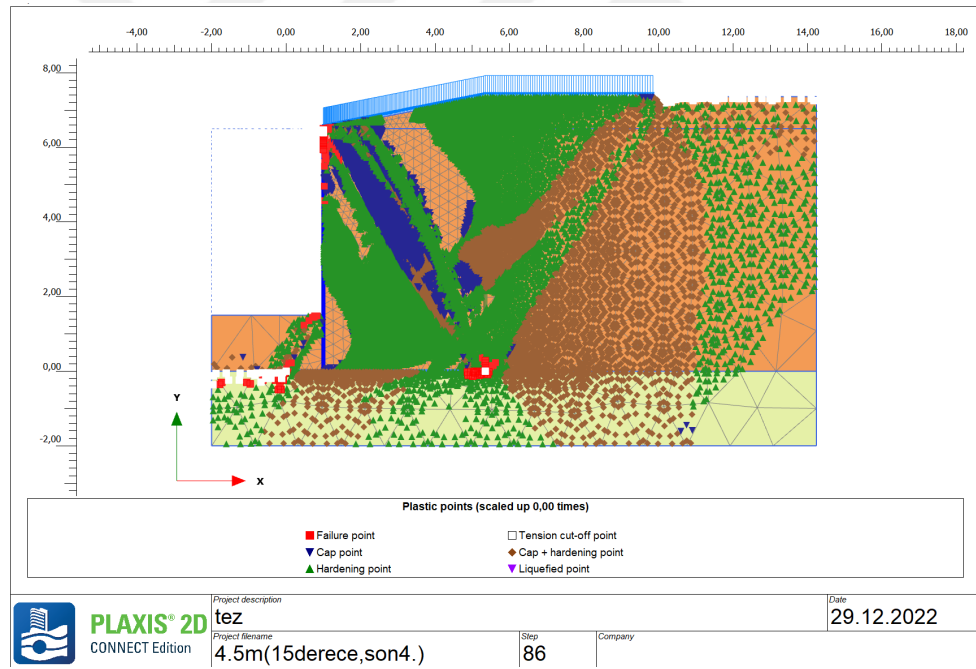


(f)

Şekil 6.19. (Devamı): H: 6,50 m, D_f: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS var (6,50 m), α : 15° (istCAD ana modeli), a) Konsol istinat duvarının model görüntüsü, b) x50 kat büyütülmüş deforme mesh, c) Toplam deformasyon (u), d) Yatay deformasyon (u_x), e) Düşey deformasyon (u_y), f) I-I kesitinde kesme kuvveti (V), g) I-I kesitinde eğilme momenti (M), h) Plastik noktalar.



(g)

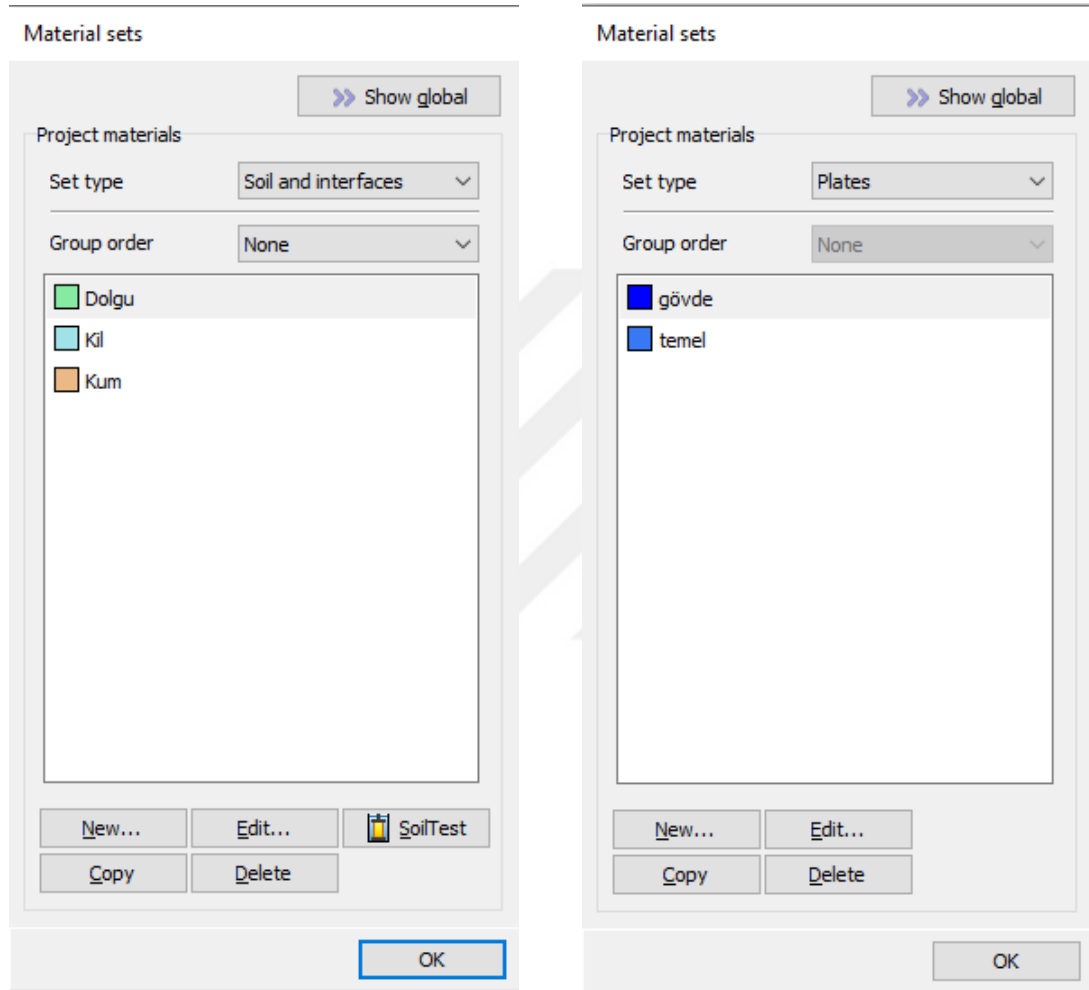


(h)

Şekil 6.19. (Devamı): H: 6,50 m, D_r: 1,50 m, q: 10 kPa, YASS var (6,50 m), α : 15° (istCAD ana modeli), a) Konsol istinat duvarının model görüntüsü, b) x50 kat büyütülmüş deforme mesh, c) Toplam deformasyon (u), d) Yatay deformasyon (u_x), e) Düşey deformasyon (u_y), f) I-I kesitinde kesme kuvveti (V), g) I-I kesitinde eğilme momenti (M), h) Plastik noktalar.

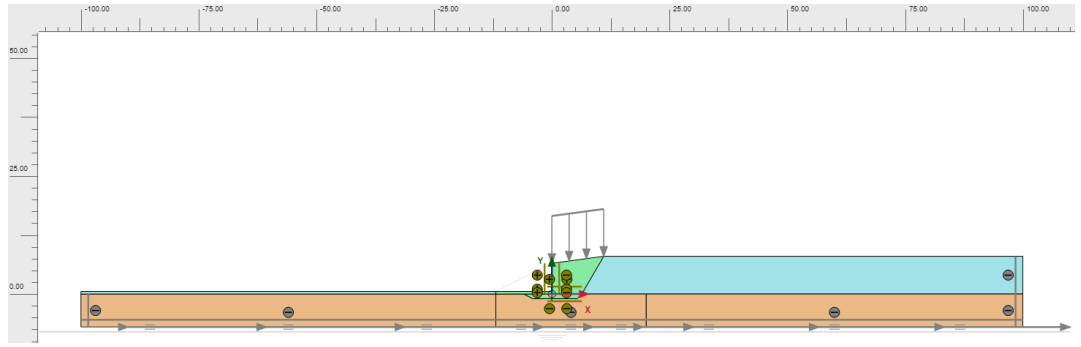
6.3.3. Dinamik analiz sonuçları

Ana model dinamik olarak analiz edilmek üzere Plaxis 2D programında modellenmiştir. Modellemede psödostatik hesaplama ile 0,25g, -0,25g, 0,40g, -0,40g ivmeleri konsol istinat yapısına etki ettirilmiş ve bunun sonucunda oluşan deplasman, kesme kuvveti, eğilme momenti vb. veriler incelenmiştir. Modelde kullanılan proje materyalleri Şekil 6.20’de verilmiştir.



Şekil 6.20. Kullanılan proje materyalleri.

Konsol istinat yapısı, doğal durumda kum ve kil olarak iki katmandan oluşan araziye uygulanmıştır. Şekil 6.21’de modelleme geometrisi görülmektedir. Zemin katmanları doğal durumda -7 metre kum, 8 metre yüksekliğinde ise kil şeklinde ve kil tabakası Şekil 6.21’deki gibi eğimlidir. Modelleme -100’e +100 metre olarak geniş alana yayılacak şekilde yapılmıştır. Yer altı su seviyesi -8 metrede bulunmaktadır.



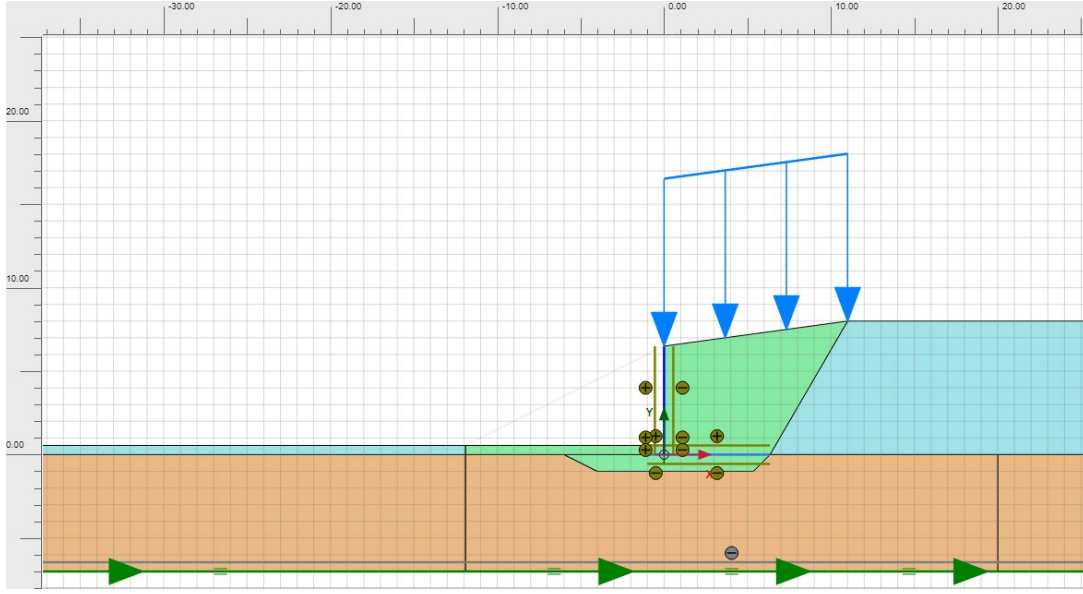
Şekil 6.21. Model geometrisi.

Tablo 6.11’de modelleme aşamasında kullanılan zemin ve malzemelerin parametreleri verilmiştir.

Tablo 6.11. Kullanılan zemin ve malzeme parametreleri.

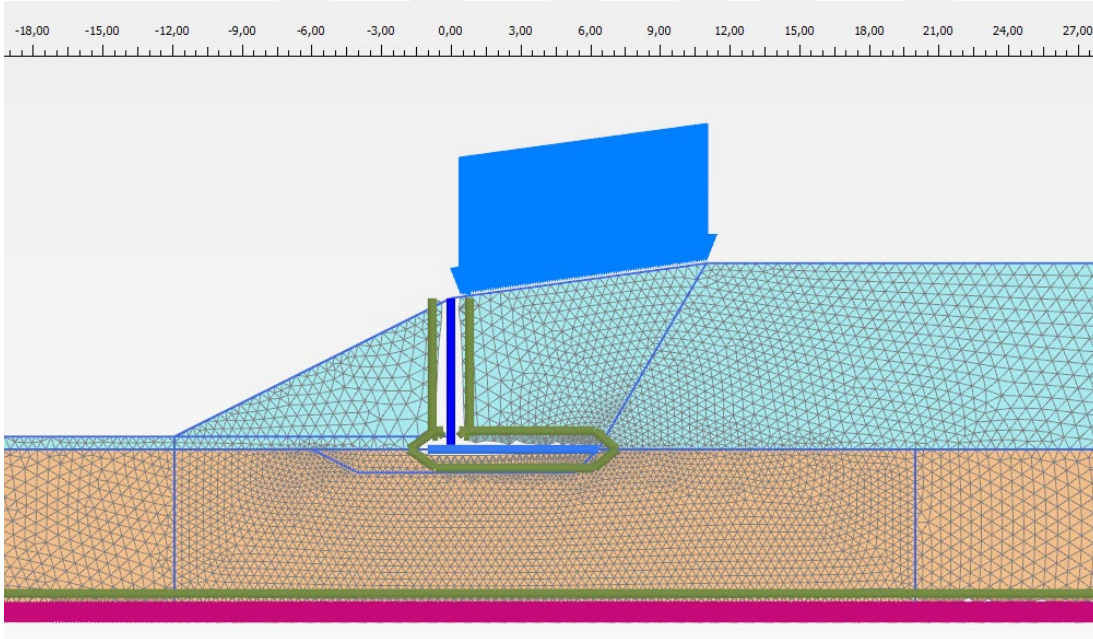
İsim	Dolgu	Kum	Kil	Duvarın Gövdesi	Duvarın Temeli
Malzeme Modeli	Hardening Soil	Hardening Soil	Hardening Soil	Elastik	Elastik
Malzeme Tipi	Drenajlı (Drained)	Drenajlı (Drained)	Drenajsız (Undrained A)	Drenajsız	Drenajsız
γ (kN/m ³)	18	18	16	25	25
γ_d (kN/m ³)	19	20	18	25	25
E_{50ref} (kPa)	50000	45000	15000	-	-
EA_1	-	-	-	32250000	16500000
EI	-	-	-	2244000	415900
ν_{ur}	0,20	0,30	0,25	0,20	0,20
c' (kPa)	0	1	3	-	-
ϕ' (°)	40	35	24	-	-
Ψ (°)	5	0	0	-	-
OCR	1	1,5	2	-	-

Şekil 6.22.’de model geometrisinin ayrıntılı görüntüsü verilmiştir. Modelde konsol istinat yapısının temel altına, pasif kısma ve duvar arkasına kayma direnci açısı 40° olan kaliteli ve granüllü dolgu kullanılmıştır.



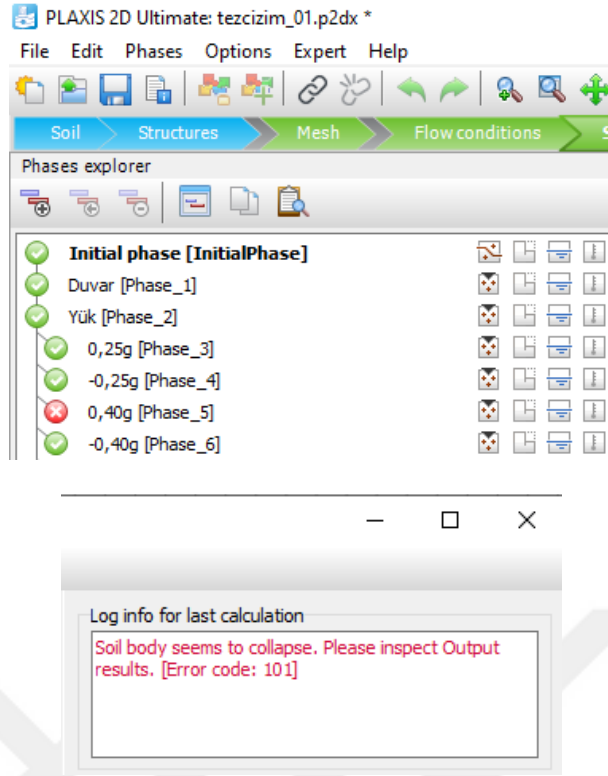
Şekil 6.22. Model geometrisinin detaylı görünümü.

Şekil 6.23’de modelin “mesh” yani sonlu eleman ağları görüntüsü görülmektedir. Duvara yakın kısımdaki elemanlar küçültülerek detaylı bir sonucun elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 6.23. Modelin sonlu eleman ağı görüntüsü.

Şekil 6.24’de doğal durum, duvar inşası, yükün aktif edilmesi, 0,25g -0,25g, 0,40g, - 0,40g olarak 7 aşamada modellemeye yapılarak analiz tamamlanmıştır. Psödo statik olarak konsol istinat yapısına etki ettirilen ivmelerden yalnızca 0,40g’nin etki ettirilmesi sonucu modelleme deformasyon kaynaklı göçmeye uğramıştır.



Şekil 6.24. Hesaplama aşamaları ve oturmadan kaynaklı 0,40g’de göçmenin gerçekleşmesi.

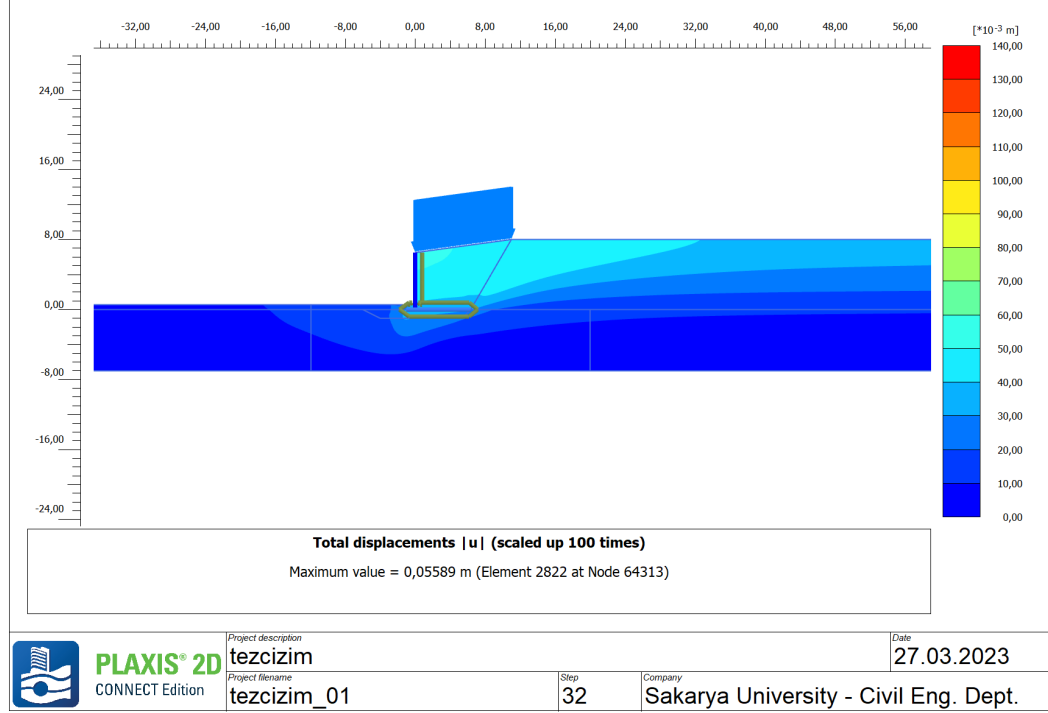
Tablo 6.12 ivme değerlerinin değişiminin deformasyon değerlerine etkisini göstermektedir. İvme değeri arttıkça deformasyon değerlerinin arttığı görülmektedir. İvmenin +x yönde etkimesi durumunda konsol istinat duvarı -x yönde zorlanmaktadır. Konsol istinat duvarına 0,40g ivmenin etkimesi durumunda modelleme zemindeki deformasyonlardan kaynaklı göçmeye uğramaktadır.

Tablo 6.12. İvme değerlerinin değişiminin toplam, yatay ve düşey deformasyona etkisi.

İvme Değeri	Toplam Deformasyon (u_{max} , mm)	Yatay Deformasyon (u_{xmax} , mm)	Düşey Deformasyon (u_{ymax} , mm)
0,25g	56	-53,4	36
-0,25g	34	33	30
0,40g	125	-121	-69
-0,40g	131	127	-59

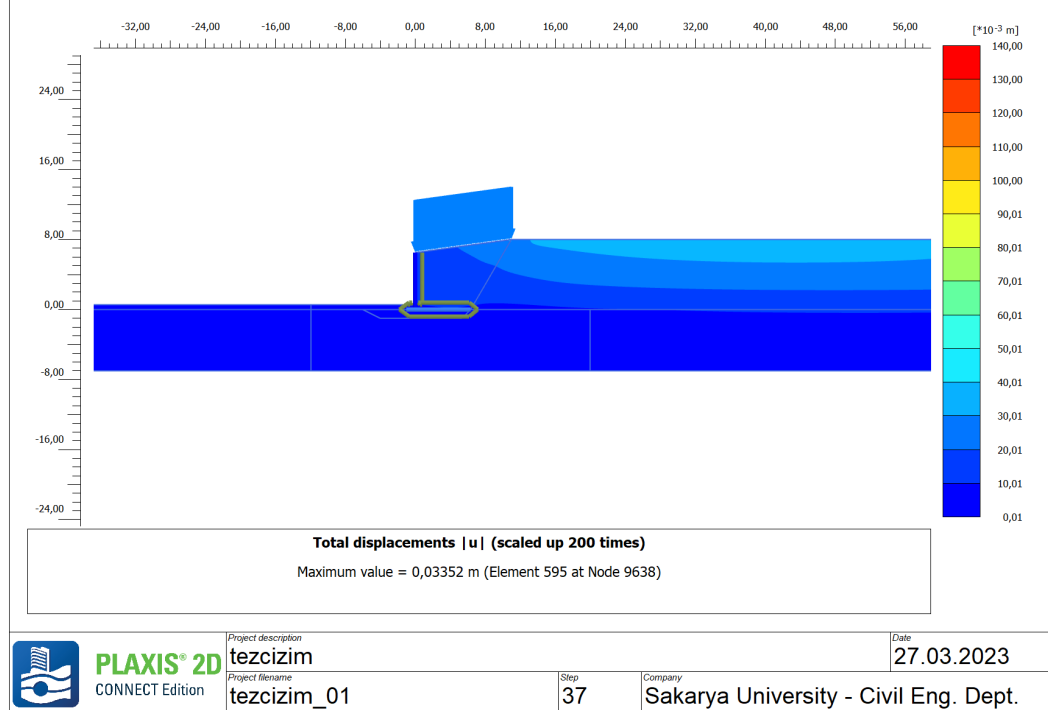
Şekil 6.25’de 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivme durumlarında modellemede oluşan toplam deformasyon durumları verilmiştir.

Output Version 22.2.0.1078



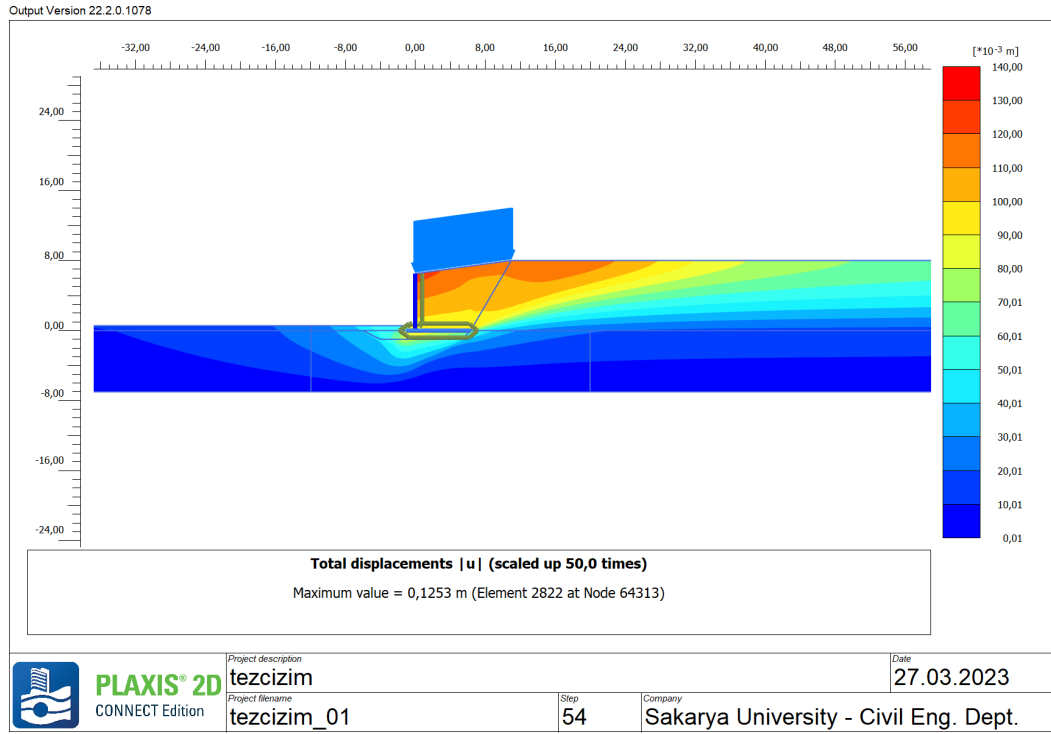
(a)

Output Version 22.2.0.1078

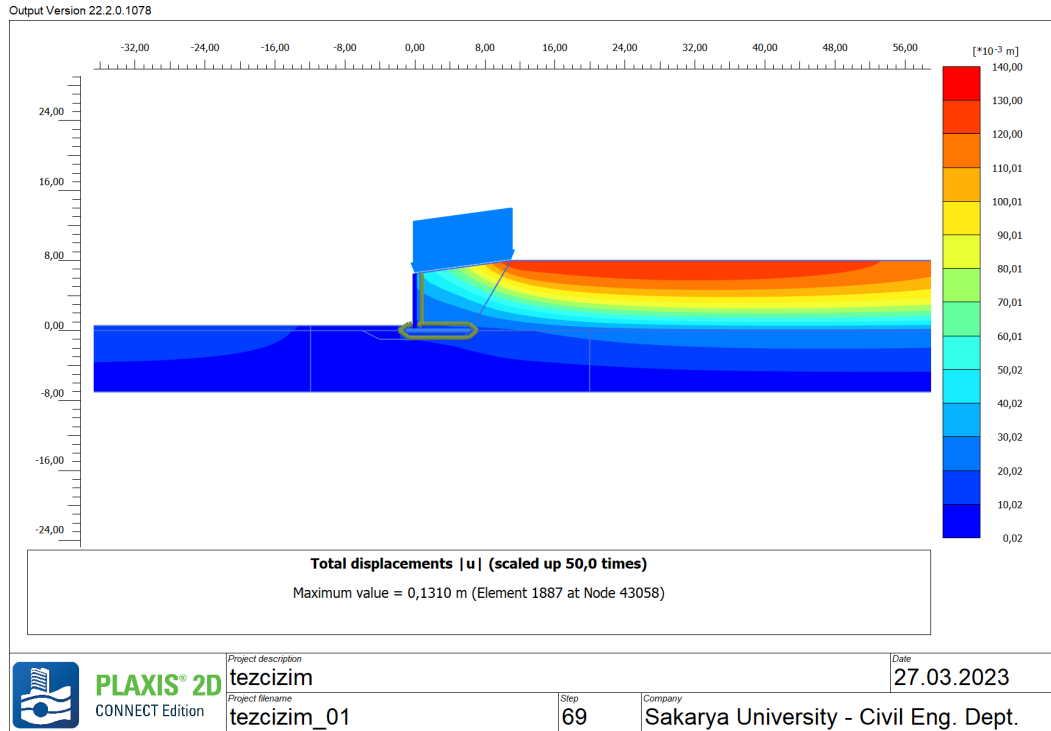


(b)

Şekil 6.25. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için toplam deformasyon değerleri.



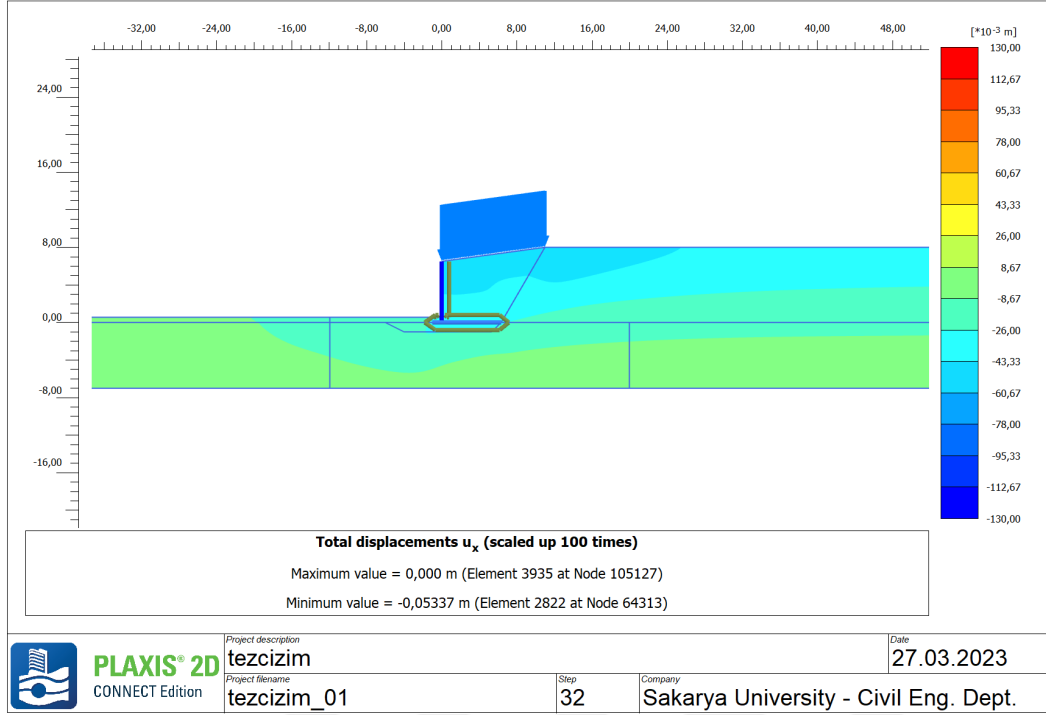
(c)



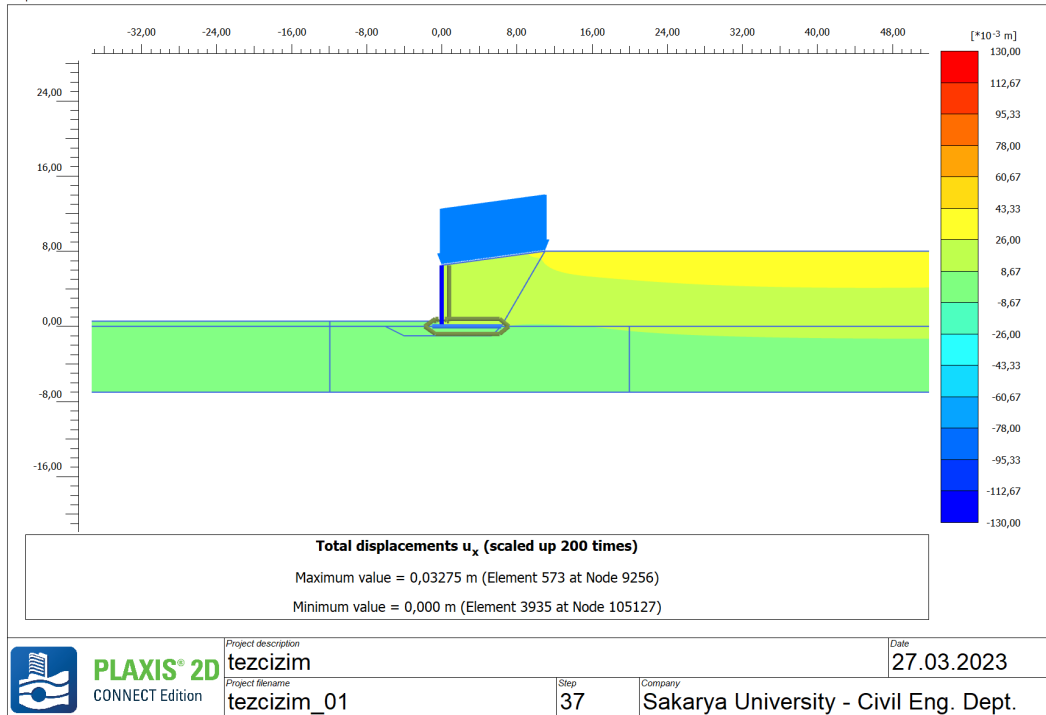
(d)

Şekil 6.25. (Devamı): 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için toplam deformasyon değerleri.

Şekil 6.26’da 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivme değerleri için modellemedeki yatay deformasyon değerleri görülmektedir.

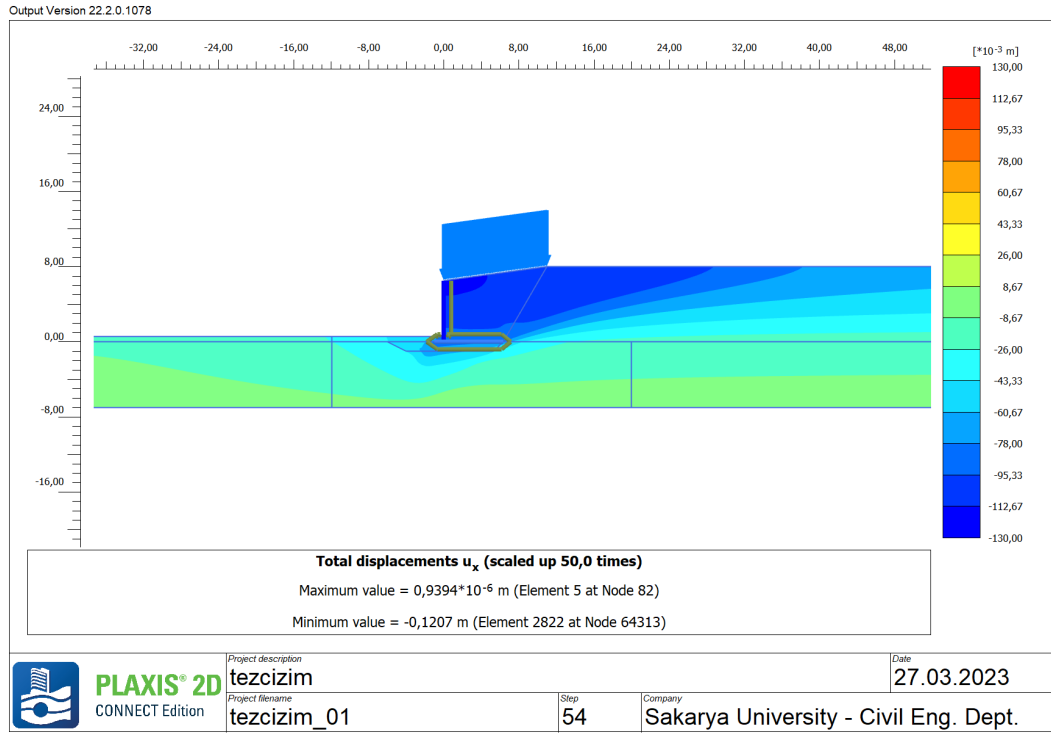


(a)

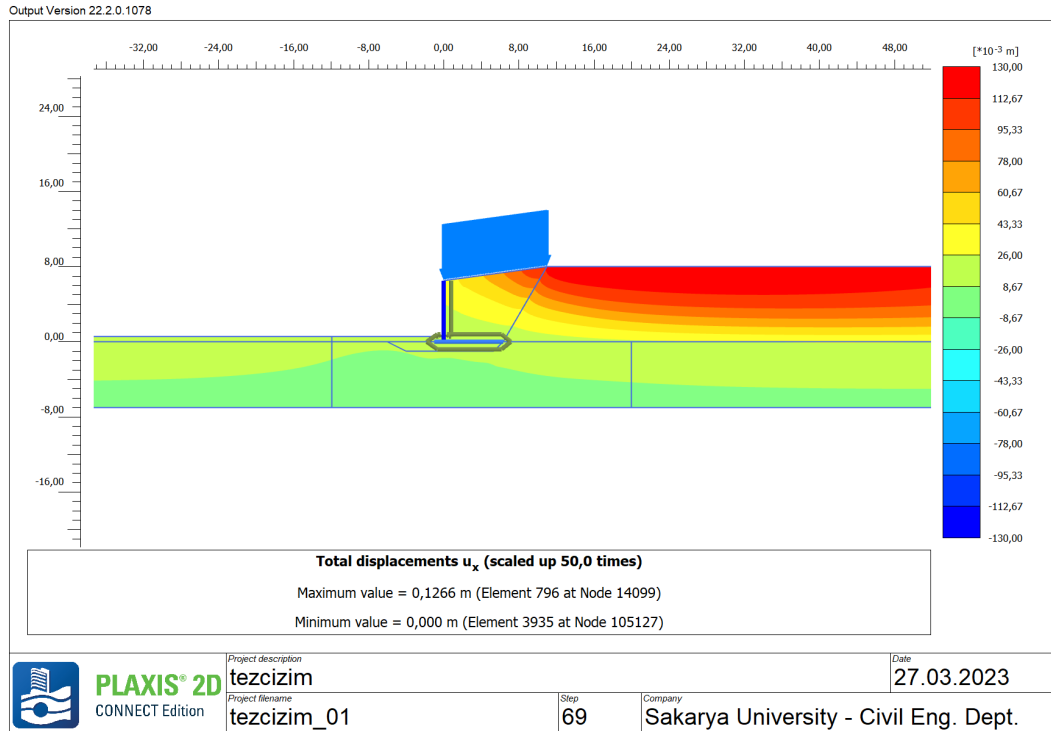


(b)

Şekil 6.26. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için yatay deformasyon değerleri.



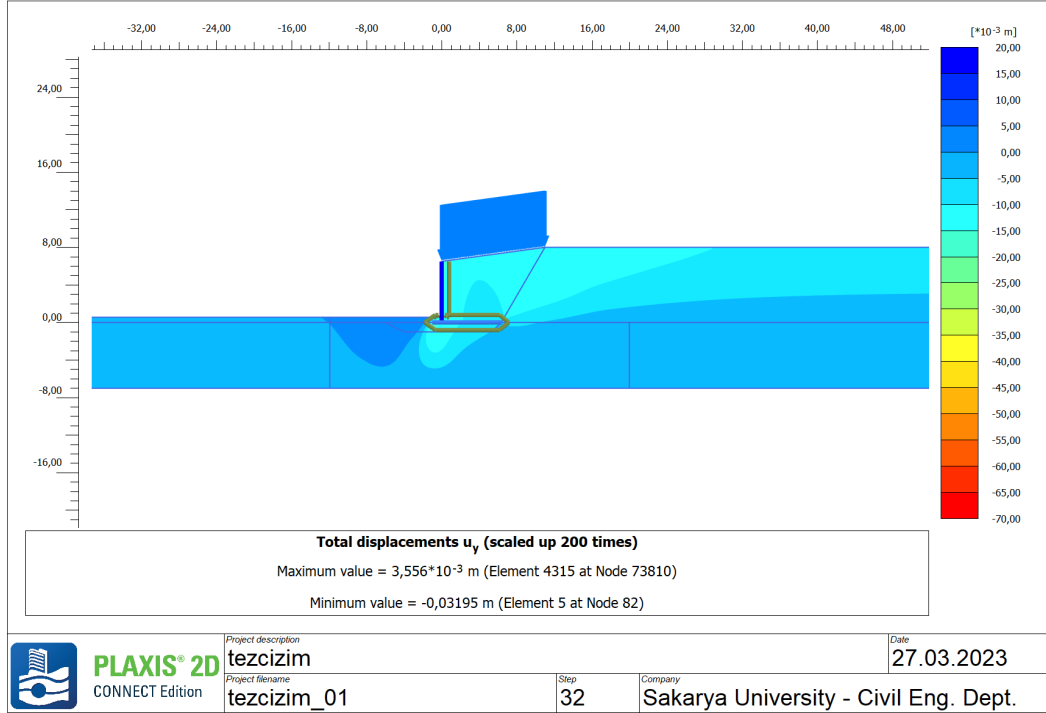
(c)



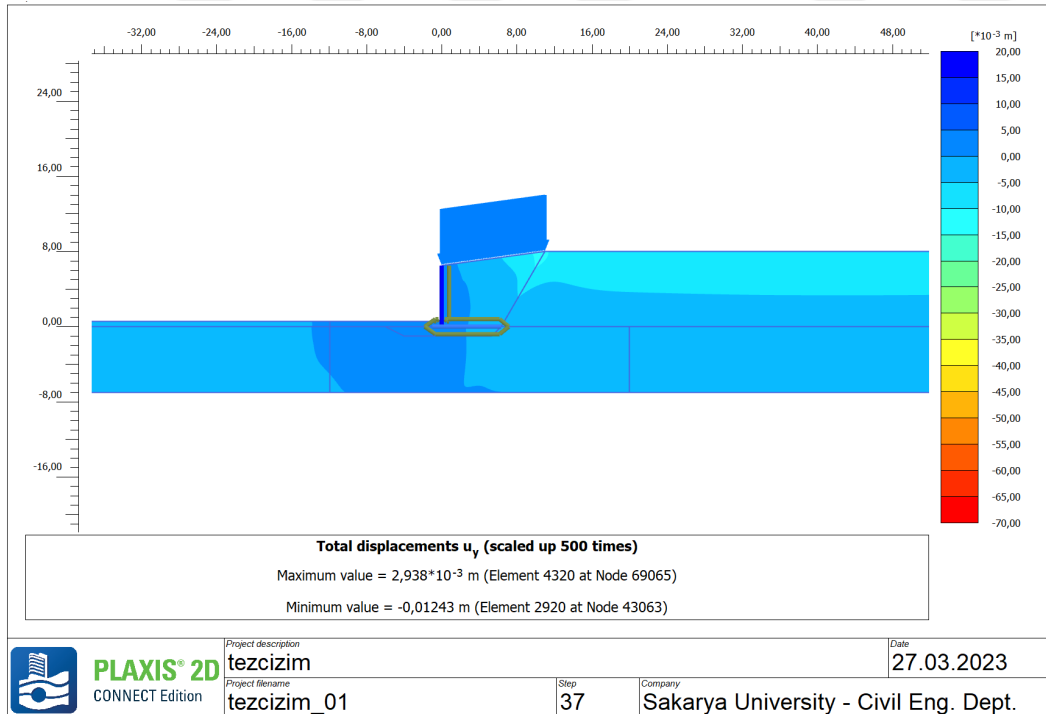
(d)

Şekil 6.26. (Devamı): 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için yatay deformasyon değerleri.

Şekil 6.27’de 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivme değerleri için modellemedeki düşey deformasyon değerleri görülmektedir.

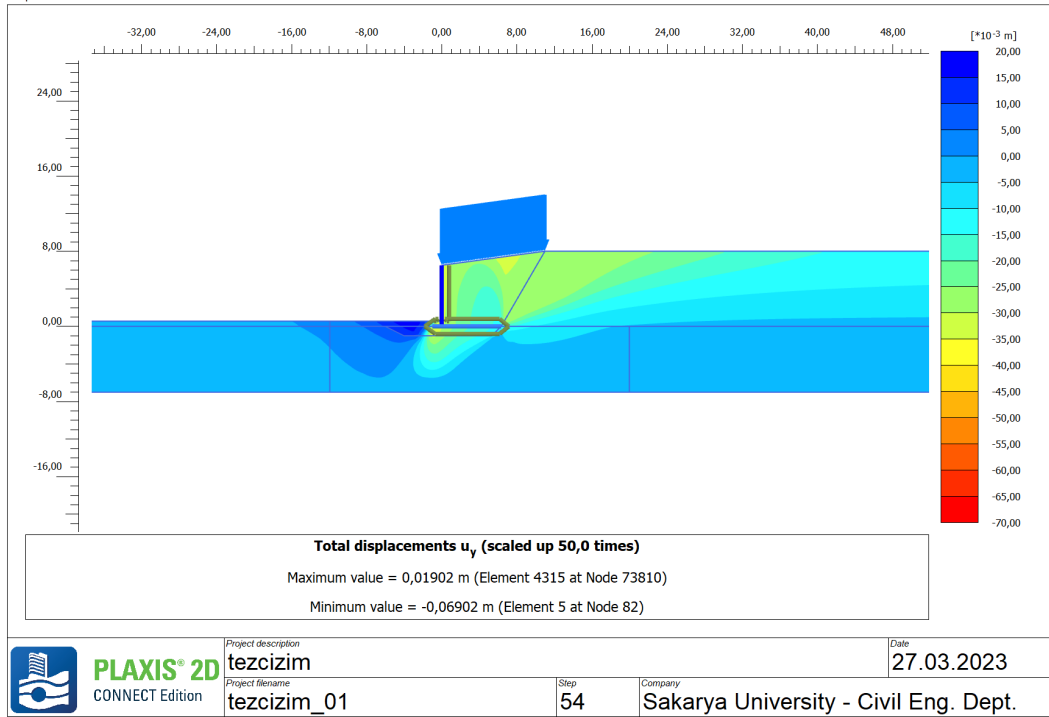


(a)

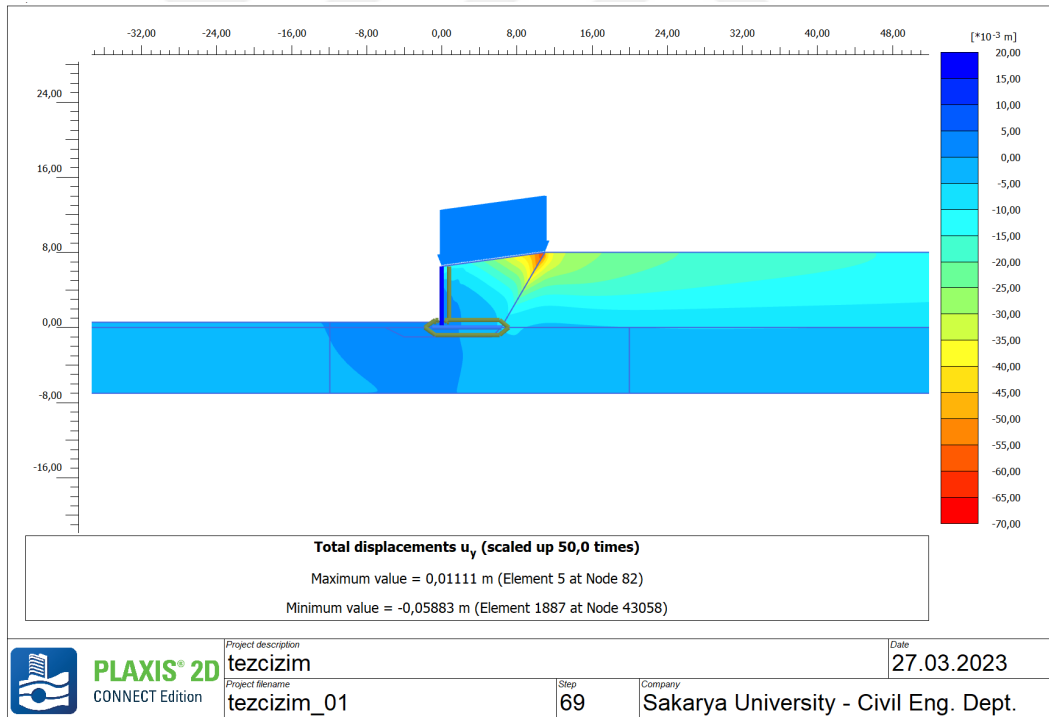


(b)

Şekil 6.27. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için düşey deformasyon değerleri.



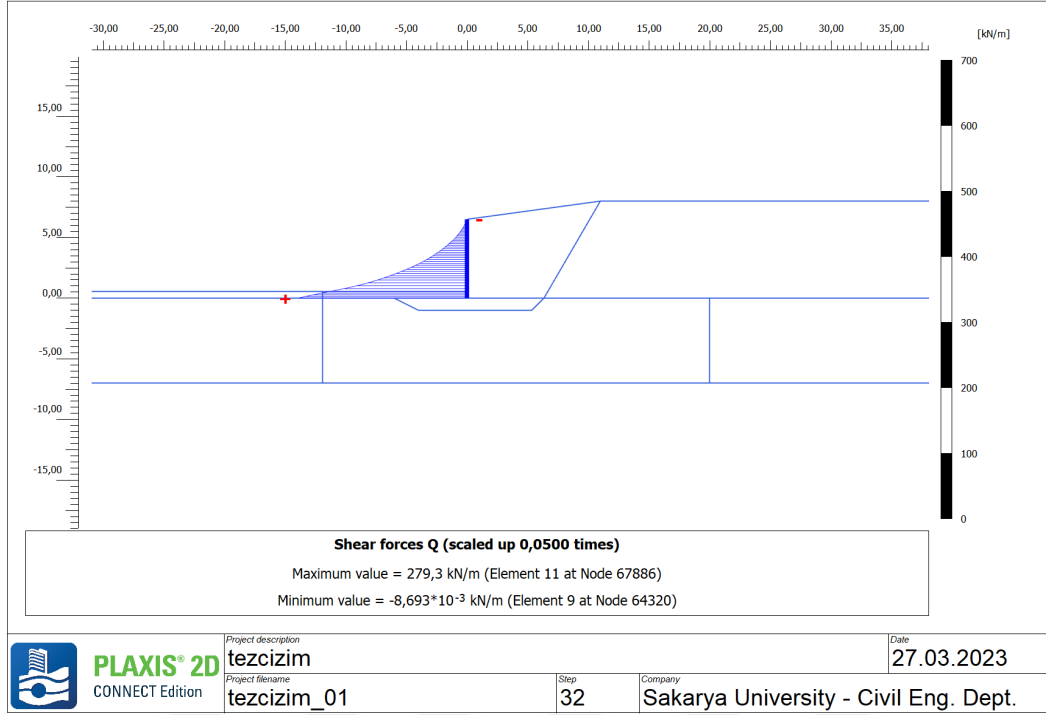
(c)



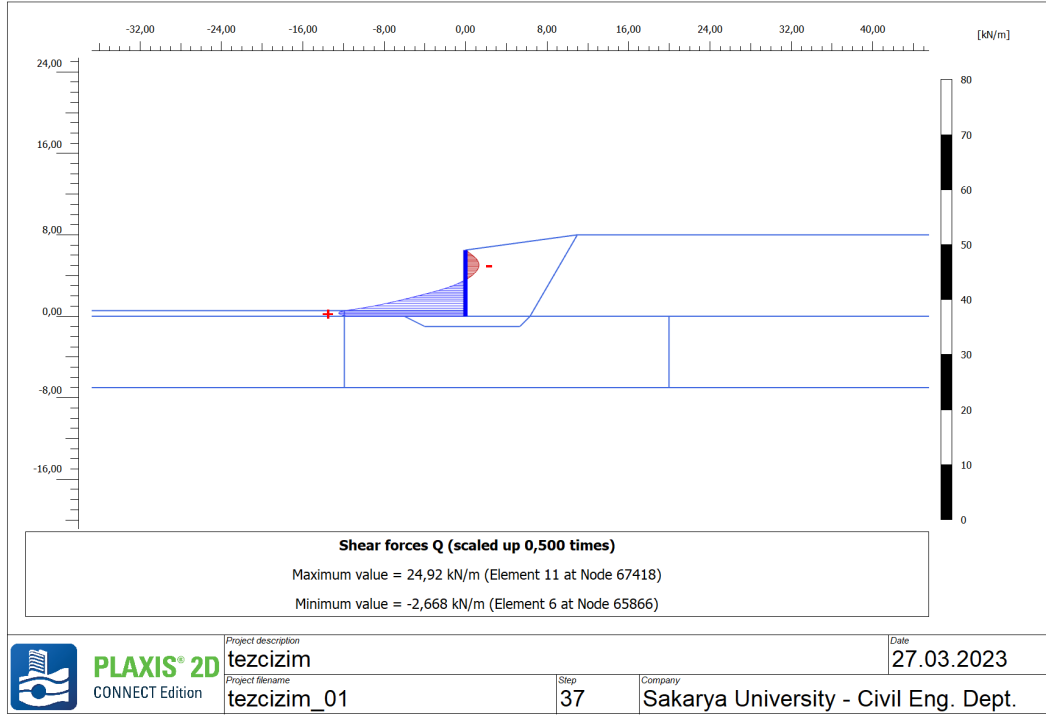
(d)

Şekil 6.27. (Devamı): 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c) ve -0,40g (d) için düşey deformasyon değerleri.

Şekil 6.28’de 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivme değerler için konsol istinat duvarına gelen kesme kuvvetlerinin grafikleri verilmiştir.

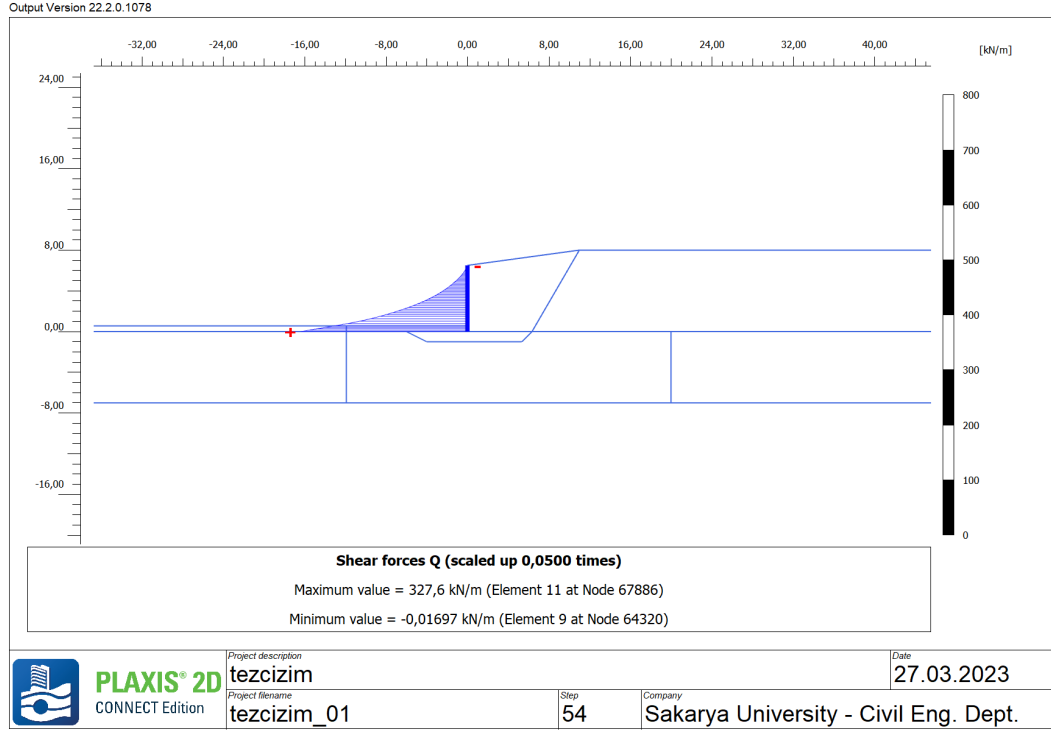


(a)

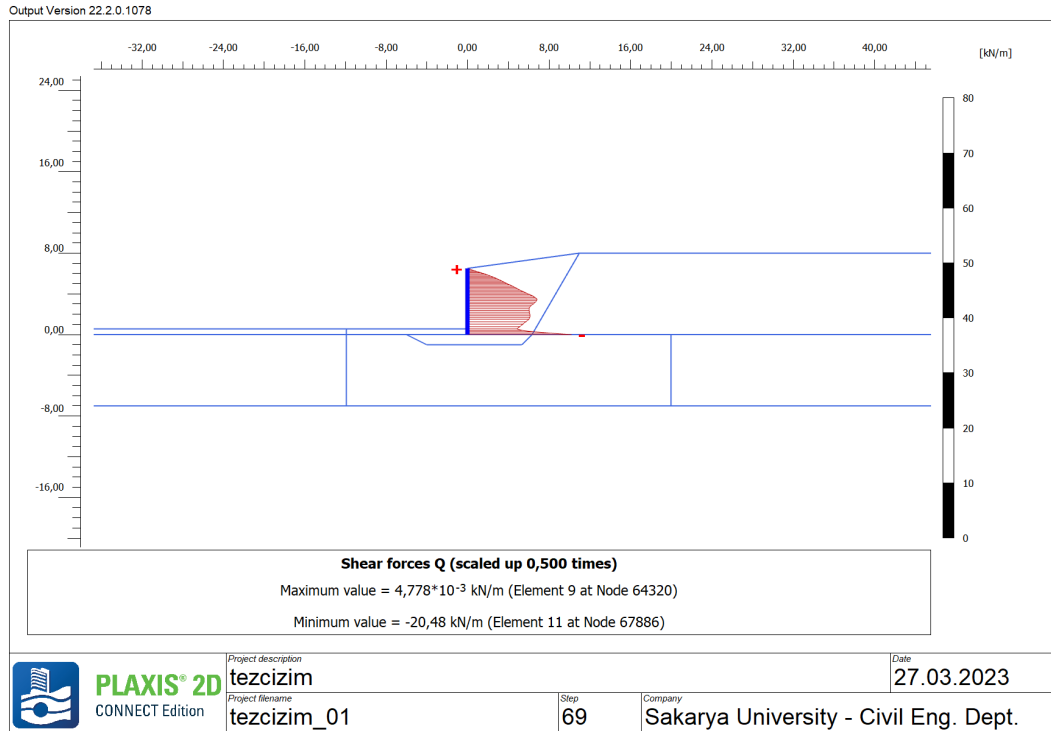


(b)

Şekil 6.28. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvardaki kesme kuvveti değerleri.



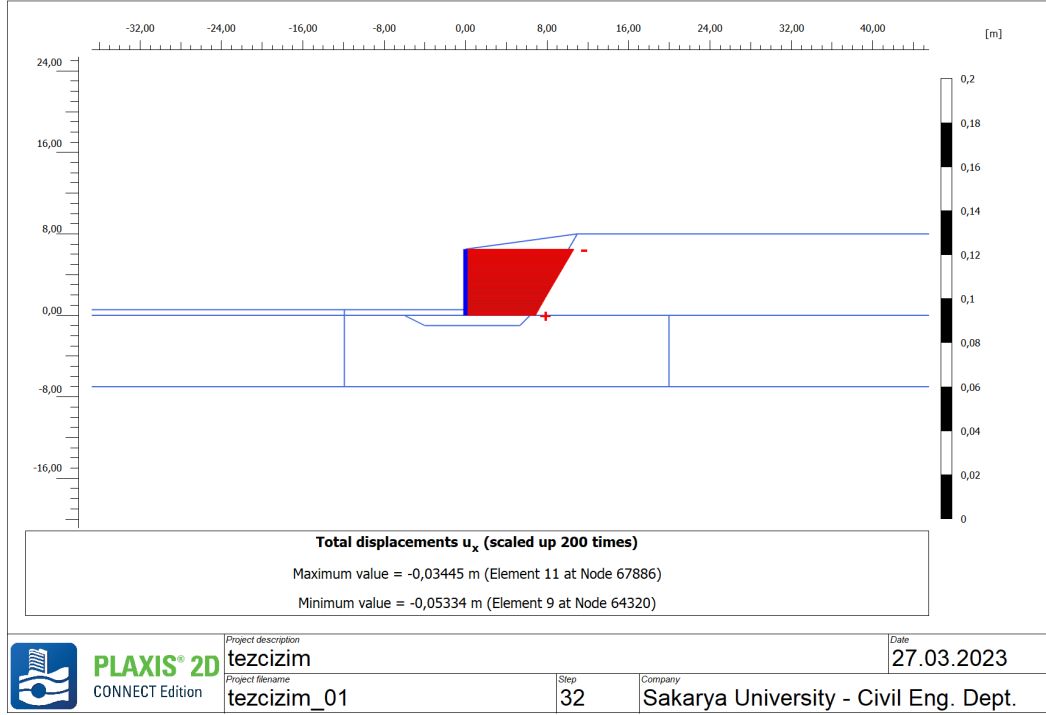
(c)



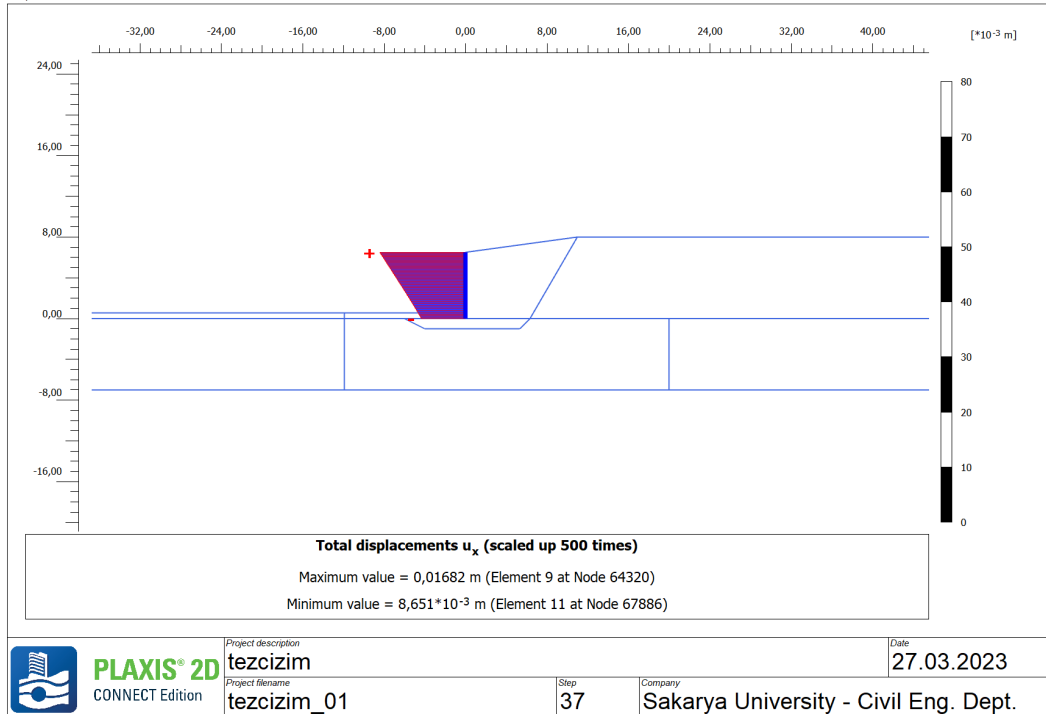
(d)

Şekil 6.28. (Devamı): 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvardaki kesme kuvveti değerleri.

Şekil 6.29’da 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivme değerleri için duvarın gövdesindeki yatay deplasmanların grafikleri verilmiştir.

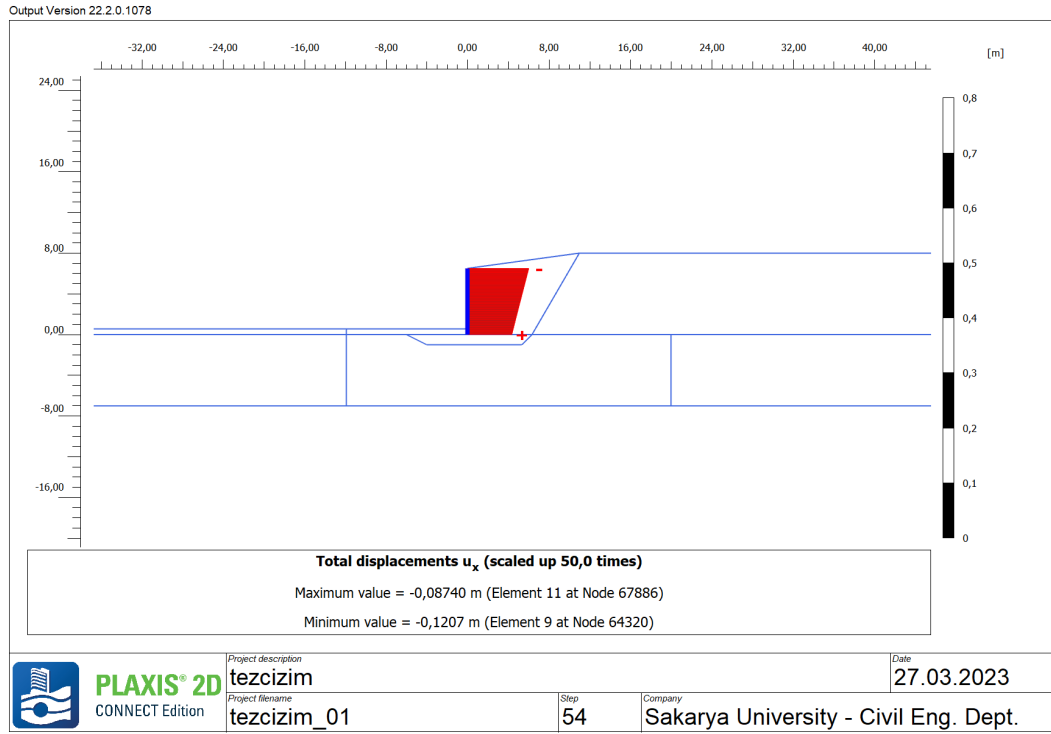


(a)

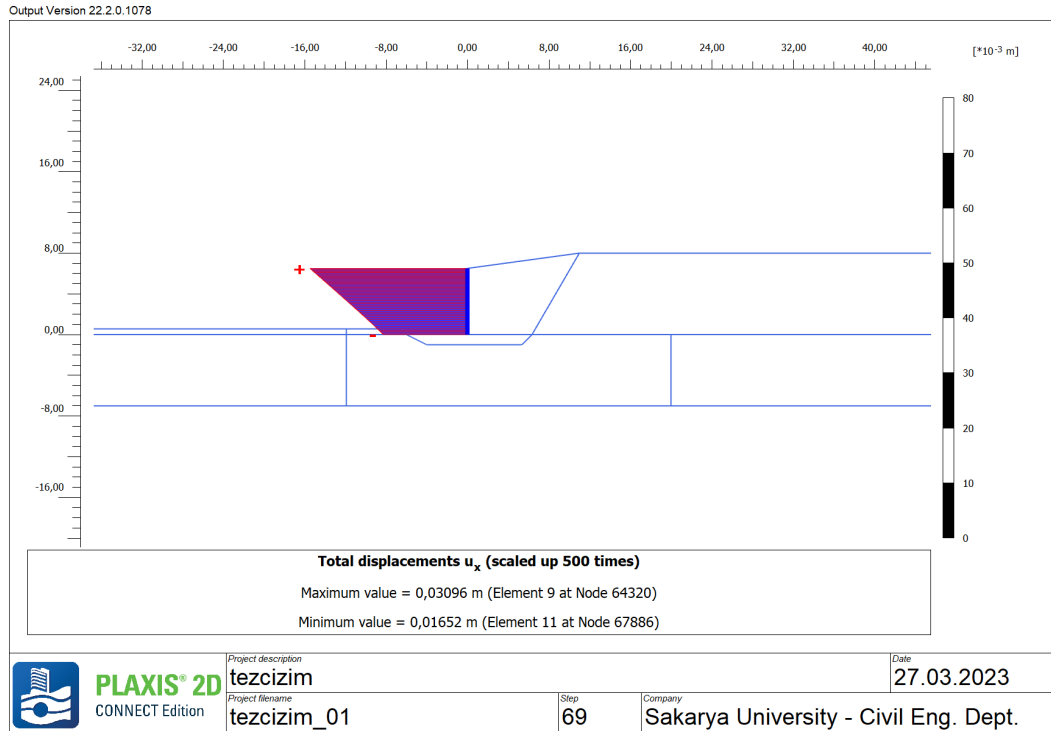


(b)

Şekil 6.29. 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvarın gövdesindeki yatay deplasmanlar.



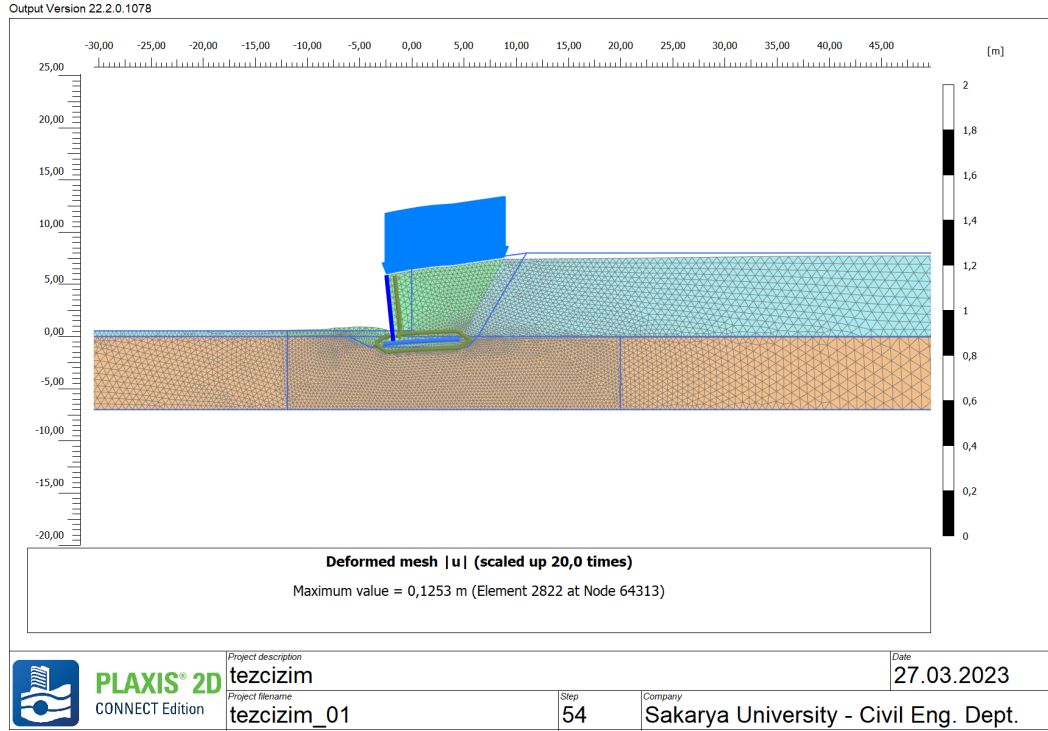
(c)



(d)

Şekil 6.29. (Devamı): 0,25g (a), -0,25g (b), 0,40g (c), -0,40g (d) için duvarın gövdesindeki yatay deplasmanlar.

Şekil 6.30’da 0,40g ivmenin modele etki ettirilmesi durumunda oluşan göçme haline ait deforme olmuş sonlu eleman ağına yer verilmiştir.



Şekil 6.30. 0,40g ivmenin etkimesi sonucu göçmeye uğrayan modelde oluşan deforme sonlu eleman ağı.

6.4. Konsol İstinat Duvarı Maliyet Hesabı

Tez çalışmasında 6. bölümde istCAD ve Plaxis 2D yazılımlarıyla modellenen 4,50 m, 5,50 m, 6,50 m, 7,50 m ve 8,50 m boyutlarında betonarme konsol istinat duvarları modellenmiştir. Betonarme konsol istinat duvarlarının maliyet analizi istCAD’den alınan metraj verileri (Şekil 6.31) ve Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı’nın 07/2022 birim fiyatlarına göre yapılmıştır (Tablo 6.13).

TOPLAM BOY (m)	356.4	195.8	524.7	1716.82	999.3	369
BİRİM AĞIRLIK (kg/m)	0.3946	0.6165	0.8878	1.2084	1.5783	4.1678
TOPLAM AĞIRLIK (kg)	140.64	120.71	465.83	2074.61	1577.20	1537.92
GENEL TOPLAM (kg)	5916.89					
Donatı Miktarı	5916.89	kg				
Beton Miktarı	82.98	m3				
Donatı/Beton Oranı	71.31	kg/m3				
Kalıp Miktarı	130.00	m2				

Şekil 6.31. istCAD programından alınan H: 6,50 m konsol istinat duvarı için metraj bilgileri.

Tablo 6.14. Duvar yüksekliklerine baēlı deēiēen konsol istinat duvarı maliyeti.

Duvar Yüksekliēi (H, m)	C30 Beton Metraēi (m ³)	Fiyat (TL)	Demir Metraēi Ø8-Ø12 mm (ton)	Demir Metraēi Ø14-Ø28 mm (ton)	Fiyat (TL)	Kalıp Metraēi (m ²)	Fiyat (TL)	Toplam Maliyet (TL)
4,50	39,00	42262,74	0,690	1,734	46786,63	90	6038,10	95087,47
5,50	64,62	70026,11	0,919	3,190	79302,98	110	7379,90	156708,99
6,50	82,98	89922,11	0,728	5,190	114183,47	130	8721,70	212827,27
7,50	112,88	122323,54	1,468	6,404	151904,75	150	10063,50	284291,79
8,50	142,38	154291,51	0,779	9,546	199208,11	170	11405,30	364904,92

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Ülkemizin birçok bölgesinde statik durumda göçmesiyle gündeme gelen istinat duvarlarının yıkılma nedenlerini ortaya koymak için istCAD programında yer altı su seviyesinin, duvar yüksekliğinin, dolgu malzemesinin etkisi, duvar üstündeki zemin eğiminin etkisi gibi parametreler kullanılarak duvar modelleri analiz edilmiştir. Gerçekçi sonuçlar ortaya koyabilen Plaxis 2D programında ise temel gömme derinliğinin, sürşarj yükünün, yer altı suyu seviyesinin ve duvar üstündeki zemin yüzey eğiminin istinat duvarındaki kesit tesirlerine ve deformasyon durumlarına etkisi irdelenmiştir.

2019’da yürürlüğe giren TBDY 2018’de istinat duvarlarında dinamik hesap yöntemi değişmiştir. TBDY 2018 ile eski yönetmelikte hesapta kullanılmayan zemin etkileri hesaba dahil olmuş, yatay ve düşey statik-eşdeğer deprem katsayıları AFAD’ın deprem tehlike haritaları uygulamasından nokta bazlı seçim ile “S_{ds}”ye (kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı) göre hesaplanmaya başlanmıştır. Eski yönetmelik ile kesit tesirleri; dinamik durumda kesme kuvveti 168 kN, eğilme momenti 392 kNm, TBDY 2018 ile aynı duvarda oluşan kesit tesirleri ise kesme kuvveti 219 kN, eğilme momenti 520 kNm olarak el ile çözülerek hesaplanmıştır. Arada oluşan farkın yeni yönetmelik ile değişen kapsamlı dinamik hesap yönteminden kaynaklandığı söylenebilir. IstCAD’de aynı boyutlara ve parametrelere sahip betonarme konsol istinat duvarının statik ve statik-dinamik, Plaxis 2D programında ise statik ve psödo-statik durumda model ve analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırılmış ve kesit tesirlerinin birbirine çok yakın olduğu saptanmıştır (Tablo 7.1).

Tablo 7.1. H: 6,50 m, D_f: 1,50 m, q: 10 kPa, α: 15°, Y.A.S.S.: Yok durumunda konsol istinat duvarına etki eden kesit tesirlerinin DBYBHY 2007, TBDY 2018, istCAD ve Plaxis 2D analiz sonuçları.

Kesit Tesirleri (I-I)	DBYBHY 2007	TBDY 2018	istCAD	Plaxis 2D
Statik, V _d	132 kN	132 kN	135 kN	117 kN

Tablo 7.1. (Devamı): H: 6,50 m, D_r: 1,50 m, q: 10 kPa, α: 15°, Y.A.S.S.: Yok durumunda konsol istinat duvarına etki eden kesit tesirlerinin DBYBHY 2007, TBDY 2018, istCAD ve Plaxis 2D analiz sonuçları.

Kesit Tesirleri (I-I)	DBYBHY 2007	TBDY 2018	istCAD	Plaxis 2D
Statik, M _d	292 kNm	292 kNm	307 kNm	316 kNm
Statik + Dinamik, V _d	168 kN	219 kN	216 kN	-
Statik + Dinamik, M _d	392 kNm	520 kNm	537 kNm	-

Türk yazılımı olan istCAD’de ana model üzerinde yapılan analizler sonucunda, yer altı suyu duvar seviyesine çıktığı zaman kesit tesirlerinin iki katına çıktığı hesaplanmış ve duvarın bu durumda göçmeye uğradığı görülmüştür. Dolgu malzemesi olarak drenajlı malzeme olan kum yerine, drenajsız ve birim hacim ağırlığı daha fazla olan kil dolgu kullanıldığında azalan kayma direnci açısı ve artan yanal itkiler sonucu duvar göçmeye uğramıştır. Önemli parametrelerden biri olan duvar üstündeki zemin eğiminin sonuçlar üzerindeki etkisi ise, zemin eğimi ana modeldeyken 0°’ye indirildiğinde kesir tesirlerinin önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Azalan kesit tesirleri ile duvar boyutu küçültüldüğünde maliyetin azaldığı söylenebilir. Duvar yüksekliği arttıkça beklendiği gibi kesit tesirlerinin arttığı görülmüş ve duvar boyutları büyütülerek statik ve dinamik durumda stabilite sağlanmıştır. Bir diğer parametre duvar gövdesinin “L” şeklinde modellenmesidir. Konsol istinat duvarı ön ampatmanı olmadan “L” şeklinde modellendiğinde kesme kuvveti ve moment değerleri artış göstermiş ve duvar kayma ve devrilme stabilitesi güvenliklerini sağlayamamıştır. “L” şeklinde tasarlanan konsol istinat duvarının boyutları arttırılarak güvenliği sağlanmıştır. Dar uygulama alanlarında “L” tipi betonarme konsol istinat duvarı tercih edilebilir.

Plaxis 2D yazılımıyla sadece ana model üzerinde gerçekleştirilen statik analiz sonuçlarında, temel derinliği 0 metreden 1,50 metreye çıkarıldığında kesit tesirlerinin ve deformasyon değerlerinin tümünün azaldığı analiz sonucunda belirlenmiştir. Zemin eğimi 0° iken temel derinliği arttırıldığında toplam deformasyon değerlerinde oldukça

büyük bir azalma gözlenmiştir. Zemin eğiminin 15° olduğu durumda bu azalma oranının düşüşe geçtiği analiz sonuçlarında görülmüştür. Duvar arkasındaki sürşarj yükünün artmasıyla duvardaki deformasyon ve kesit tesirlerinin arttığı görülmüştür. Zemin eğimi 0° , temel derinliği 0 m iken konsol istinat duvarına sürşarj yükünün 10 kPa ve 15 kPa olarak etki ettirilmesi durumunda duvarın stabilitesi bozulmuş ve duvar göçmüştür. İstinat duvarlarında en önemli ve yıkıcı dış etkenlerden birisi olan yer altı suyunun etkisi incelendiğinde ise, duvar boyunda (H: 6,50 m) yer altı suyu seviyesi modellendiğindeki bütün durumlarda konsol istinat yapısı göçmüştür. Bunun başlıca nedeni istinat yapısının topuk (ön ampatmanı) kısmını uygulamada çok uzun tutmanın mümkün olmayışdır. Yer altı suyunun olmadığı kombinasyonların içinde sadece 2 durumda duvar modeli göçmeye uğramıştır. Buradan yer altı su seviyesinin duvarın stabilitesini yıkıcı oranda bozabildiği açıkça görülmektedir. Duvar üstündeki zemin eğiminin arttırılması sonucunda ise toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde büyük bir azalış gerçekleşirken, kesit tesirlerindeki artış oranının %50'yi geçtiği belirlenmiştir. Duvar üstündeki zemin eğiminin artışı getirdiği ekstra yükler ile istinat yapısının devrilme ve kayma stabilitesini güçlendirmiştir.

Plaxis 2D programında dinamik olarak psödostatik analiz yapılmıştır. Bu analizde 0,25g, -0,25g, 0,40g ve -0,40g ivmelerinin modele etki ettirilmesi sonucunda; 0,40g ivme olan modelin deformasyon kaynaklı göçmeye uğradığı görülmüştür. İvme değeri arttıkça deformasyon ve kesit tesirlerinin arttığı gözlenmiştir.

IstCAD'den alınan metraj verileriyle 5 konsol istinat duvarı yüksekliği için 07/2022 Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı'nın birim fiyatları ile toplam maliyet hesaplamaları yapılmıştır. Betonarme konsol istinat duvarının yüksekliğinin yaklaşık olarak 2 katına çıkması ile toplam maliyetin 4 katına çıktığı hesaplanmıştır.

Bu çalışmada Türkiye'de yıkılan istinat duvarlarının yıkılma sebeplerini ortaya koymak için 2 yazılım ile çeşitli parametre değişiklikleriyle modellemeler yapılmış ve statik ve dinamik durumda duvarın stabilitesini bozan etmenler ortaya konulmuştur. Uygulama yapılacak alanın önce zemin etüdünün yapıp zemin tabakalarının detaylı şekilde analizi yapılmalıdır. Tip projeler yerine probleme özgü uygun çözümler sunulmalı ve uygun istinat yapısı seçilerek imalat yapılmalıdır.



KAYNAKLAR

- Lahande, S. (2016). Analytical study of cantilever retaining wall including effect of soil structure interaction. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3(4), 1579-1585.
- Yaman B. ve Selçuk E. M. (2018). Konsol İstinat Duvarlarının Eski ve Yeni Deprem Yönetmeliğine Göre Maliyeti. *ZMGM*, (17)
- TS 7994. (1990). Zemin Dayanma Yapıları, Sınıflandırma Özellikleri ve Projelendirme Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 500. (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Bowles, J. E., (1996), *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill Company inc.,USA.
- Güliden, N. İstinat Duvarlarının Farklı Yükleme ve Koşullar Altında Analizi. *Yayımlanmamış [Yüksek Lisans Tezi]*. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Arslan Ö. vd. (2018). Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dersigi B- Teorik Bilimler*, 28-35.
- Çakır T. ve Livaoglu R. (2013). Dolgu Konsol İstinat Duvarı-Temel/Zemin Etkileşim Sisteminin Dinamik Davranışının İncelenmesi. *Ulusal Mekanik Kongresi*, XVIII, 143-152.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations*. 3 rd Edition. The United States of America: John Wiley & Sons
- Akkar, S. (2008). Türkiye’de Sismik Aktivite ve Tasarım Spektrumları, Binalar için Deprem Mühendisliği Temel İlkeler, Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H. ve Wasti, S.T. (eds.), ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, Türkiye, pp. 17-34.
- Aydinoğlu, M. N. (1977). Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı [Doktora Tezi] İstanbul Teknik Üniversitesi
- Töremiş, E. İ. (2003). Geotekstiller ve Plaxis Sonlu Elemanlar Programı [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi
- TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Das, M. B. (1984), *Principles of Foundation Engineering*. USA: Brookes/Cole Engineering Division.

- Das, M. B. (2010), Principles of Geotechnical Engineering. 7 th Edition. USA: Cengage Learning.
- Özberk L. ve Kahyaoğlu R. M. (2018). Dayanma Yapılarının DBYBHY ve TBDY Göre Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması ve Tespitler. ZMGM, (17).
- Yenidoğan C. H. (2006). İstinat Duvarlarının Deprem Sırasında Davranışı [Yüksek Lisans Tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Yıldız C. M. (2015). İstinat Duvarına Etkiyen Dinamik Toprak Basınçları [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Insapedia. (2022, 22 Aralık). İstinat Duvarı Nedir? Çeşitleri ve Kullanım Alanları. <https://insapedia.com/istinat-duvari-nedir-cesitleri-ve-kullanim-alanlari/>. url adresinden 22 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır. (url-9)
- AFAD. (2022, 10 Eylül). Türkiye Deprem Tehlike Haritaları. tdth.afad.gov.tr url adresinden 10 Eylül 2022 tarihinde alınmıştır.
- Sözcü. (2022, 12 Mayıs). Sancaktepe’de okulun istinat duvarı çöktü. <https://www.sozcu.com.tr/2018/gundem/sancaktepede-okulun-istinat-duvari-coktu-2545612> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-1).
- Trt. (2022, 12 Mayıs). İstanbul Ümraniye’de istinat duvarı çöktü. <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/istanbul-umraniyede-istinat-duvari-coktu-377690.html> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-2).
- Sabah. (2022, 12 Mayıs). Trabzon’da istinat duvarı çöktü. <https://www.sabah.com.tr/yasam/trabzonda-istinat-duvari-coktu-5863023> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-3).
- Cumhuriyet. (2022, 12 Mayıs). İzmir’de istinat duvarı çöktü: 88 daire boşaltıldı. <https://www.cumhuriyet.com.tr/turkiye/izmirde-istinat-duvari-coktu-88-daire-bosaltildi-1891234> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-4).
- Hürriyet. (2022, 12 Mayıs). İstanbul’da istinat duvarı araçların üstüne çöktü. <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/uskudarda-istinat-duvari-araclarin-ustune-coktu-41962469> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-5).
- Habertürk. (2022, 12 Mayıs). Trabzon’da istinat duvarı çöktü. <https://www.haberturk.com/trabzon-da-istinat-duvari-coktu-1811433> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-6).
- Milliyet. (2022, 12 Mayıs). İstinat duvarı çöktü: 4 otomobil hurdaya döndü. <https://www.milliyet.com.tr/gundem/istinat-duvari-coktu-4-otomobil-hurdaya-dondu-6653647> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-7).
- Habertürk. (2022, 12 Mayıs). Kocaeli’nde istinat duvarının çökmesi sonucu 6 ev tahliye edildi. <https://www.haberturk.com/istinat-duvari-coken-sitede-6-eve-tahliye-haberler-3015845> url adresinden 12 Mayıs 2022 tarihinde alınmıştır (url-8).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı. (2022, 30 Aralık). 2022/3 İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/bf-2022-3-turkce-20220907143000.pdf> url adresinden 30 Aralık 2022 tarihinde alınmıştır.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Ahmet Samet Sönmez

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Lise** : 2015, Otakçılar Lisesi

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2017 yılında EMAY İnşaat'ta Yapı Stajını tamamladı.
- 2018 yılında İSKİ'de Hidrolik Stajını tamamladı.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

DİĞER ESERLER: