



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞEVLİ ALANDA İSTİNAT DUVARLARININ STATİK YÜKLER
ALTINDA DEĞİŞEN FAKTÖRLERİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Ercan OLĞAÇ

**Ocak-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ŞEVLİ ALANDA İSTİNAT DUVARLARININ STATİK YÜKLER
ALTINDA DEĞİŞEN FAKTÖRLERİNİN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Ercan OLĞAÇ

**Danışman
Doç. Dr. Nuray ALPASLAN**

Diğer Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet Salih KESKİN Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

**Ocak-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Ercan OLĞAÇ tarafından hazırlanan “Şevli Alanda İstinat Duvarlarının Statik Yükler Altında Değişen Faktörlerinin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi” adlı tez çalışması 21/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Salih KESKİN

.....

Danışman

Doç. Dr. Nuray ALPASLAN

.....

Üye

Doç. Dr. Abdullah MURATOĞLU

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Ercan OLĞAÇ
21.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEVİLİ ALANDA İSTİNAT DUVARLARININ STATİK YÜKLER ALTINDA DEĞİŞEN FAKTÖRLERİNİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

Ercan OLĞAÇ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Nuray ALPASLAN

2025, 147 Sayfa

Bu tez çalışmasında, mühendislik yapılarında önemli bir yeri olan istinat (dayanma) duvarları için, geoteknik problemlerin modellenmesinde ve analizinde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan PLAXIS 2D programı kullanılmıştır. Bunun yanı sıra, İde CAD Statik ve Oska yazılımları aracılığıyla istinat duvarlarının tasarım ve maliyet analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, üç farklı saha için çeşitli parametreler gözönünde bulundurularak istinat duvarları tasarlanmıştır. Çalışma Sahası-1 ve Çalışma Sahası-2 için gerçek saha verileri kullanılmış, Çalışma Sahası-3’de ise belirlenen senaryo durumlarına göre duvar ve şev tasarımları analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, seçilen duvar tasarımlarının şev durumuna ilişkin göçme güvenlikleri, duvar deformasyonları ve farklı zemin parametrelerine göre analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında, şev stabilitesi ve istinat duvarlarının etkisi incelenerek oluşan deplasmanlar değerlendirilmiş, çalışma sahaları için oluşturulan zemin kesitleri kullanılarak PLAXIS 2D programından elde edilen modeller aracılığıyla zemin ve istinat duvarlarındaki deformasyonlar analiz edilmiştir. Bununla birlikte, çalışma sahalarında mevcut olan veya tasarlanan istinat duvarlarının inşaat sürecinin her aşamasında zeminde meydana gelen deformasyon ve gerilmeler detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

Yapılan bu analizlere göre, elastisite modülünün, zemin-duvar etkileşiminde deformasyon kontrolü açısından kritik bir parametre olduğu ve istinat duvarlarının tasarımında dikkate alınması gerektiği görülmüştür. Elastisite modülünün artmasıyla istinat duvarlarındaki deformasyonların azaldığı, toplam gerilme üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı, efektif gerilme üzerindeki etkisinin ise ihmal edilebilir düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarının kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden çok az etkilendiği ve bu değişimlerin ihmal edilebilir seviyede olduğu, 5 metre istinat duvarlarının ise kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden 3 metre istinat duvarına göre çok daha az etkilendiği tespit edilmiştir. 3 metre ve 5 metre duvarlarda oluşan deformasyon ve gerilmelerin sürşarj yükünün artışıyla orantılı olarak artış gösterdiği, 5 metre istinat duvarında ise yükün artışlarına karşı stabil bir davranış sergileyerek deformasyon değerlerindeki değişimlerin daha sınırlı kaldığı sonucuna varılmıştır. Ayrıca, efektif gerilmenin yük arttıkça düzenli bir artış gösterdiği, aktif su basıncının ise sabit kalarak yük değişimlerinden etkilenmediği tespit edilmiştir. Şevli alanlarda istinat duvarlarının daha güvenli ve etkin bir şekilde tasarlanabilmesi için zemindeki yeraltı su seviyesinin durumu, zemine etkiyen yüklerin durumu, elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi parametrelerin, istinat duvarlarının performansında kritik bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Deplasman, İstinat duvarları, Plaxis 2d, Statik yük

ABSTRACT

MASTER THESIS

ANALYSIS OF CHANGING FACTORS OF RETAINING WALLS UNDER STATIC LOADS IN SLOPED AREA BY FINITE ELEMENT METHOD

Ercan OLĞAÇ

Batman University Graduate Education Institute

Civil Engineering Department of Science

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nuray ALPASLAN

2025, 147 Pages

In this thesis, PLAXIS 2D software, which is widely used in modelling and analysis of geotechnical problems, has been used for retaining walls, which have an important place in engineering structures. In addition, the design and cost analyses of retaining walls were carried out using Ide CAD Static and Oskia software.

Within the scope of the study, retaining walls were designed considering various parameters for three different sites. For Site-1 and Site-2, real field data were used, while for Site-3, wall and slope designs were analysed according to the determined scenario conditions. In the analyses, the collapse safety of the selected wall designs with respect to the slope condition, wall deformations and different soil parameters were analysed.

Within the scope of the thesis, slope stability and the effect of retaining walls were examined and the displacements were evaluated, and the deformations in the soil and retaining walls were analysed by using the models obtained from the PLAXIS 2D program using the soil sections created for the sites. In addition, the deformations and stresses occurring in the soil at each stage of the construction process of the existing or designed retaining walls in the study areas were evaluated in detail.

According to these analyses, it was observed that the modulus of elasticity is a critical parameter in terms of deformation control in soil-wall interaction and should be considered in the design of retaining walls. It was determined that the deformations in the retaining walls decreased with the increase in the modulus of elasticity, there was no significant effect on the total stress, and the effect on the effective stress was negligible. It was found that 3 m and 5 m retaining walls were slightly affected by the changes in cohesion and internal friction angle and these changes were negligible, while 5 m retaining walls were much less affected by the changes in cohesion and internal friction angle compared to 3 m retaining wall. It was concluded that the deformations and stresses in the 3 m and 5 m walls increased proportionally to the increase in the surcharge load, while the 5 m retaining wall exhibited a stable behaviour against the increases in the load and the changes in the deformation values were more limited. It was also found that the effective stress showed a regular increase as the load increased, while the active water pressure remained constant and was not affected by load changes. In order to design retaining walls in sloped areas in a safer and more effective way, it is concluded that parameters such as the state of groundwater level in the soil, the state of loads acting on the soil, modulus of elasticity, cohesion and internal friction angle play a critical role in the performance of retaining walls.

Keywords: Displacement, Plaxis 2d, Retaining walls, Static load

ÖN SÖZ

Bu tez, lisans ve yüksek lisans programım ayrıca çalışma hayatım boyunca edindiğim bilgi ve deneyimlerin bir ürünü olarak hazırlanmıştır. Çalışma, şevli zeminlerde şev stabilitesini sağlayarak ideal istinat duvarı tasarımının yapılabilmesi için en uygun mühendislik çözümlerini sunmayı amaçlamıştır.

Bu süreçte, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren ve tezimi şekillendirmemde büyük katkısı olan danışman hocam Doç.Dr.Nuray ALPASLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca, bu zorlu süreçte, sabır ve anlayışlarıyla beni destekleyen aileme ve arkadaşlarıma minnettarlığımı ifade etmek isterim. Çalışmam sırasında bana verdikleri moral ve motivasyon, bu tezin ortaya çıkmasında önemli bir rol oynamıştır.

Tezimin, şev ve istinat duvarı alanında çalışan araştırmacılara ve bu konuda bilgi edinmek isteyenlere faydalı olmasını ümit ediyorum.

Ercan OLĞAÇ
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖN SÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xxi
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	7
3.1. İstinat Duvarları	7
3.2. İstinat Duvarı Tipleri	7
3.2.1. Rijit istinat duvarları	8
3.2.1.1. Ağırlık istinat duvarları.....	8
3.2.1.2. Yarı ağırlık istinat duvarları.....	9
3.2.1.3. Konsol istinat duvarı	10
3.2.1.4. Payandalı istinat duvarı.....	10
3.2.2. Yarı rijit istinat duvarları	11
3.2.2.1. Kafes tipi.....	11
3.2.2.2. Sandık tipi (gabion)	11
3.2.3. Esnek istinat duvarları	12
3.2.3.1. Donatılı (toprakarme) duvarlar	12
3.3. Dayanma Yapılarına Etkiyen Yanal Toprak Basınçları	13
3.3.1. Yanal Toprak Basıncı	13
3.3.1.1. Sükûnetteki toprak basıncı.....	14
3.3.1.2. Aktif toprak basıncı	15
3.3.1.3. Pasif toprak basıncı.....	16
3.4. Statik Toprak Basıncı Teorileri.....	16
3.4.1. Rankine toprak basıncı teorisi.....	16
3.4.2. Coulomb toprak basıncı teorisi	20
3.5. İstinat Duvarlarının Stabilitesi	21
3.5.1. Devrilme kontrolü.....	21
3.5.2. Kayma kontrolü	22
3.5.3. Taşıma gücü kapasite kontrolü	23
3.5.4. Toptan göçme kontrolü.....	23
3.5.5. Güvenlik sayısı	24
3.6. İstinat Duvarlarında Hasar Tipleri	24
3.7. İstinat Duvarlarında Drenaj	26
3.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi.....	27

3.8.1.PLAXIS sonlu elemanlar programı	27
3.8.1.1. Lineer elastik model (Lineer elastik model) (LE)	27
3.8.1.2. Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) (HS)	28
3.8.1.3.Mohr-Coulomb model (MC)	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	30
4.1. Çalışma sahası-1 geoteknik bilgileri.....	30
4.1.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler.....	32
4.1.2. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 1. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler.....	34
4.1.2.1. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	35
4.1.2.1.1. 5 metre istinat duvarında doğal zemin durumu için yapılan analizler	37
4.1.2.1.2. 5 metre istinat duvarında Kazı-1 aşamasında yapılan analizler.....	38
4.1.2.1.3. 5 metre istinat duvarında Kazı-2 aşamasında yapılan analizler.....	39
4.1.2.1.4. 5 metre istinat duvarında Kazı-3 aşamasında yapılan analizler.....	40
4.1.2.1.5. 5 metre istinat duvarında istinat duvarı hesap aşamasında yapılan analizler.....	41
4.1.2.1.6. 5 metre istinat duvarında dolgu aşamasında yapılan analizler.....	42
4.1.2.1.7. 5 metre istinat duvarında Yük-1 aşamasında yapılan analizler.....	43
4.1.2.1.8. 5 metre istinat duvarında Yük-2 aşamasında yapılan analizler.....	44
4.1.2.1.9. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	45
4.1.2.2. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	46
4.1.2.2.1. 10 metre istinat duvarında Yük-2 aşamasında yapılan analizler....	47
4.1.2.2.2. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	48
4.1.2.3. 1. Alternatif çalışma 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarına ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	49
4.1.3. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 2. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler.....	51
4.1.3.1. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	52
4.1.3.2. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	53
4.1.3.3. Çalışma Sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	54
4.1.4. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 2. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler.....	57
4.1.4.1. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	57
4.1.4.2. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	58
4.1.4.3. Çalışma Sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	59
4.2. Çalışma sahası-2 geoteknik bilgileri.....	64
4.2.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler.....	65

4.2.2. Çalışma sahası-2 PLAXIS 2D programı ile yapılan analizler ve elde edilen modeller	67
4.2.2.1. Yük- Son durum için yapılan analizler	69
4.2.2.2. Kesit-1 (3 m), Kesit-2 (5 m) ve Kesit-3 (5 m) istinat duvarı için yapılan analizler.....	70
4.2.3. Statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları.....	72
4.2.4. Çalışma Sahası-2 analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	72
4.3. Çalışma sahası-3 geoteknik bilgileri.....	74
4.3.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler.....	75
4.3.2. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	80
4.3.2.1. 3 metre istinat duvarında yapılan analizler	82
4.3.2.2. Tasarlanan modelde farklı yeraltı suyu seviyelerinin (YASS) analizi ..	85
4.3.2.3. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değiştirilmesi.....	87
4.3.2.4. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değiştirilmesi (c/ϕ).....	90
4.3.2.5. Tasarlanan modelde yük değerlerinin değiştirilmesi	93
4.3.3. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller	95
4.3.3.1. 5 metre istinat duvarında yapılan analizler	96
4.3.3.2. Tasarlanan modelde yeraltı su seviyesinin (YASS) değiştirilmesi.....	100
4.3.3.3. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değiştirilmesi.....	103
4.3.3.4. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değiştirilmesi (c/ϕ).....	105
4.3.3.5. Tasarlanan modelde yük değerlerinin değiştirilmesi	108
4.3.4. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m ve 5 m istinat duvarına ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	110
4.3.4.1. Tasarımı yapılan ilk zemin durumundaki parametrelere ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	110
4.3.4.2. Yeraltı su seviyesi (YASS) değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	112
4.3.4.3. Elastisite Modülü değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	115
4.3.4.4. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı (c/ϕ) değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	116
4.3.4.5. Yük değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	118
4.3.5. Statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları hesabı	121
5. STATİK TASARIM ANALİZLERİ VE MALİYET HESABI	122
5.1. Çalışma sahalarındaki istinat duvarları için yapılan statik tasarım analizleri....	122
5.1.1. Çalışma sahası-1, 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı için yapılan statik tasarım analizleri.....	122
5.2. Çalışma sahalarındaki istinat duvarları için yapılan maliyet hesapları.....	127
5.2.1. Çalışma sahası-1 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı için yapılan maliyet hesapları	127
5.2.1.2. Yaklaşık maliyet hesabı	128

5.2.3. Yaklaşık maliyet icmalı	129
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	131
6.1 Sonuçlar	131
6.2 Öneriler	133
KAYNAKLAR	135
EKLER	140

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3. 1 Güvenlik katsayısı kriterleri	24
Çizelge 4.1. Çalışma sahası-1 doğal zemin parametrelerinin özellikleri	33
Çizelge 4.2. Çalışma sahası-1 zemin parametrelerinin özellikleri	35
Çizelge 4.3. Çalışma sahası-1, istinat duvarı parametreleri (5 metre).....	36
Çizelge 4.4. Çalışma sahası-1, istinat duvarı parametreleri (10 metre).....	46
Çizelge 4.5. 1.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	50
Çizelge 4.6. 1.Alternatif çalışma, 10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	50
Çizelge 4.7. 2.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	55
Çizelge 4.8. 2.Alternatif çalışma,10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	55
Çizelge 4.9. 3.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	60
Çizelge 4.10. 3.Alternatif çalışma, 10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları.....	61
Çizelge 4.11. Çalışma sahası-2 doğal zemin parametrelerinin özellikleri	66
Çizelge 4.12. Çalışma sahası-2 zemin parametrelerinin özellikleri	67
Çizelge 4.13. Çalışma sahası-2 istinat duvarı parametreleri	68
Çizelge 4.14. Çalışma sahası-2, statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları....	72
Çizelge 4.15. Çalışma sahası-2, inşaat aşamalarında oluşan deplasman ve gerilme sonuçları.....	73
Çizelge 4.16. Çalışma sahası-3 doğal zemin parametrelerinin özellikleri	76
Çizelge 4.17. Çalışma sahası-3 zemin parametrelerinin özellikleri	80
Çizelge 4.18. 3 metre istinat duvarı çalışmasında yeraltı su seviyesinin değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları	86
Çizelge 4.19. 3 metre istinat duvarı çalışmasında istinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları.....	89

Çizelge 4.20. 3 metre istinat duvarı çalışmasında kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değişimine göre oluşan güvenlik sayıları, deplasman ve gerilme sonuçları.....	91
Çizelge 4.21. 3 metre istinat duvarı çalışmasında yük değişimlerine göre oluşan deplasman ve gerilme sonuçları.....	94
Çizelge 4.22. 5 metre istinat duvarı çalışmasında yeraltı su seviyesinin değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları	101
Çizelge 4.23. 5 metre istinat duvarı çalışmasında elastisite modülü değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları	104
Çizelge 4.24. 5 metre istinat duvarı çalışmasında kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları	106
Çizelge 4.25. 5 metre istinat duvarı çalışmasında yük değişimlerine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme değerleri	109
Çizelge 5.1. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı metraj cetveli.....	128
Çizelge 5.2. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı yaklaşık maliyet cetveli.....	129
Çizelge 5.3. İstinat duvarları yaklaşık maliyet icmal tablosu.....	130

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil.3.1. İstinat duvarı kullanım alanları (Day, 2004)	7
Şekil.3.2. Rijit istinat duvarı tipleri (Yıldırım, 2009).....	8
Şekil.3.3. Ağırlık istinat duvarı örneği ve etkiyen yükler (Day, 2002)	9
Şekil.3.4. Yarı ağırlık istinat duvarı örneği ve etkiyen yükler (Day, 2001).....	9
Şekil.3.5. Konsol istinat duvarı örneği (MAÜ Yerleşkesi).....	10
Şekil.3.6. Payandalı istinat duvarı (Tunç, 2002)	10
Şekil.3.7. Kafes tipi istinat duvarı (TS 7994, 1990).....	11
Şekil.3.8. Sandık tipi istinat duvarı (TS 7994, 1990)	12
Şekil.3.9. Donatılı duvar (https://sanalsantiye.com/)	12
Şekil.3.10. Yanal toprak basıncına etkiyen gerilmeler (Coduto, 2011)	13
Şekil.3.11. Sükûnetteki toprak basıncı (Das,2011)	14
Şekil.3.12. Aktif toprak basıncı durumu (Das, 2013).....	15
Şekil.3.13. Pasif toprak basıncı durumu (Das, 2013)	16
Şekil.3.14. Yanal toprak basınçlarının harekete başlama kriterleri, (Canadian Foundation Engineering Manual 2006)	17
Şekil.3.15. Rankine aktif basınç durumunda düşey ve yatay gerilme ilişkisi (Das, 2016).....	18
Şekil.3.16. Coulomb aktif basıncı (Das 2016).....	20
Şekil.3.17. İstinat duvarlarında stabilite durumları, a) kayma, b) dönme ve taşıma gücü göçmesi, c) taban göçmesi, d) yapısal göçme (Budhu, 2011)	21
Şekil.3.18. Rankine'in teorisine göre duvar devrilme kontrolünde oluşan kuvvetler (Das, 1984).....	22
Şekil.3.19. Kayma kontrolü için ağırlık istinat duvarında ve konsol istinat duvarında genel durum (Budhu, 2011)	23
Şekil.3.20. Dönme problemlerinden kaynaklanan göçme türleri (Visone, 2008)	25
Şekil.3.21. Yapının stabilitesinden kaynaklanan göçme türleri (Visone, 2008)	25
Şekil.3.22. Yapının stabilitesinden kaynaklanan kırılma türleri (Visone, 2008)	26
Şekil.3.23. Plaxis 2D programında genel ayarlar menüsü örneği	29
Şekil.3.24. Plaxis 2D programında hesap aşaması örneği	29
Şekil 4.1. Çalışma sahası-1 kroki planı	32
Şekil 4.2. Çalışma sahası-1 doğal durumda geometri modeli	33

Şekil 4.3. Çalışma sahası-1 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli	34
Şekil 4.4. Çalışma sahası-1 doğal durumda toplam deformasyon ve yatay deformasyon modeli	34
Şekil 4.5. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli	37
Şekil 4.6. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	37
Şekil 4.7. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait doğal durumda toplam deformasyon modeli	38
Şekil 4.8. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-1 aşamasında toplam deformasyon modeli	39
Şekil 4.9. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-2 aşamasında toplam deformasyon modeli	40
Şekil 4.10. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-3 aşamasında toplam deformasyon modeli	41
Şekil 4.11. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait duvar aşamasında toplam deformasyon modeli	42
Şekil 4.12. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait dolgu aşamasında toplam deformasyon modeli	43
Şekil 4.13. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yük-1 aşamasında toplam deformasyon modeli	44
Şekil 4.14. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yük-2 aşamasında toplam deformasyon modeli	45
Şekil 4.15 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	46
Şekil 4.16. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait geometri modeli	47
Şekil 4.17. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli.....	47
Şekil 4.18. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait yük-2 aşamasında toplam deformasyon modeli	48
Şekil 4.19. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	49
Şekil 4.20. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	51

Şekil 4.21. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli	52
Şekil 4.22. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	52
Şekil 4.23. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	53
Şekil 4.24. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait geometri modeli	53
Şekil 4.25. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	54
Şekil 4.26. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	54
Şekil 4.27. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	56
Şekil 4.28. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki efektif gerilme değişimleri grafiği	56
Şekil 4.29. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli	57
Şekil 4.30. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	57
Şekil 4.31. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	58
Şekil 4.32. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	58
Şekil 4.33. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	59
Şekil 4.34. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	59
Şekil 4.35. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	61
Şekil 4.36. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki efektif gerilme değişimleri grafiği	62
Şekil 4.37. Çalışma sahası-1 de yapılan tüm çalışmalarda 5 metre ve 10 metre istinat duvarı son hesap aşamalarına göre gerçekleşen deplasman değişimleri grafiği.....	63

Şekil 4.38. Çalışma sahası-2 kroki planı	64
Şekil 4.39. Çalışma sahası-2 şantiye görünümü.....	65
Şekil 4.40. Çalışma sahası-2 doğal durumda geometri modeli	66
Şekil 4.41. Çalışma sahası-2 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli	66
Şekil 4.42. Çalışma sahası-2 doğal durumda toplam deformasyon modeli.....	67
Şekil 4.43. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait geometri modeli	68
Şekil 4.44. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	69
Şekil 4.45. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait yük-son durum aşamasında toplam deformasyon modeli	69
Şekil 4.46. Kesit-1 (3 metre) toplam deformasyon modeli	71
Şekil 4.47. Kesit-2 (5 metre) toplam deformasyon modeli	71
Şekil 4.48. Kesit-3 (5 metre) toplam deformasyon modeli	71
Şekil 4.49. Çalışma sahası-2 inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği	74
Şekil 4.50. Çalışma sahası-3 doğal durumda geometri modeli	77
Şekil 4.51. Çalışma sahası-3 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli	77
Şekil 4.52. Çalışma sahası-3 doğal durumda yeraltı su seviyesi durumu (YASS).....	78
Şekil 4.53. Çalışma sahası-3 doğal durumda toplam deformasyon modeli.....	78
Şekil 4.54. Çalışma sahası-3 doğal durumda yatay deformasyon modeli	78
Şekil 4.55. Çalışma sahası-3 doğal durumda düşey deformasyon modeli	79
Şekil 4.56. Çalışma sahası-3 doğal durumda toplam gerilme modeli	79
Şekil 4.57. Çalışma sahası-3 doğal durumda efektif gerilme modeli.....	79
Şekil 4.58. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait geometri modeli .	81
Şekil 4.59. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı	81
Şekil 4.60. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait toplam deformasyon modeli	83
Şekil 4.61. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait yatay deformasyon modeli	83
Şekil 4.62. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait düşey deformasyon modeli	83
Şekil 4.63. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait efektif gerilme modeli	84

Şekil 4.64. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait toplam gerilme modeli	84
Şekil 4.65. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait aktif su basıncı modeli	84
Şekil 4.66. YASS durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)..	87
Şekil 4.67. YASS durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı).....	87
Şekil 4.68. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)	89
Şekil 4.69. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı).....	90
Şekil 4.70. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)	92
Şekil 4.71. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)	92
Şekil 4.72. Yük değişimlerine göre oluşan deplasman grafiği (3 m istinat duvarı)	94
Şekil 4.73. Yük değişimlerine göre oluşan gerilme grafiği (3 m istinat duvarı)	95
Şekil 4.74. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli .	96
Şekil 4.75. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli	96
Şekil 4.76. çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait toplam deformasyon modeli	98
Şekil 4.77. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yatay deformasyon modeli	98
Şekil 4.78. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait düşey deformasyon modeli	98
Şekil 4.79. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait efektif gerilme modeli	99
Şekil 4.80. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait toplam gerilme modeli	99
Şekil 4.81. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait aktif su basıncı modeli	99
Şekil 4.82. YASS durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)	102
Şekil 4.83. YASS durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı).....	102

Şekil 4.84. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı).....	104
Şekil 4.85. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı).....	105
Şekil 4.86. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı).....	107
Şekil 4.87. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı).....	107
Şekil 4.88. Yük değişimlerine göre oluşan deplasman grafiği (5 m istinat duvarı)	109
Şekil 4.89. Gerilme değişimlerine göre oluşan deplasman grafiği (5 m istinat duvarı).....	110
Şekil 4.90. 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarına ait deplasman değişimleri grafiği.....	111
Şekil 4.91. 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarına ait gerilme değişimleri grafiği.....	112
Şekil 4.92. YASS değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği	114
Şekil 4.93. YASS değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği	114
Şekil 4.94. Elastisite modülü değişimine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği.....	116
Şekil 4.95. Elastisite modülü değişimine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği.....	116
Şekil 4.96. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği	118
Şekil 4.97. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği	118
Şekil 4.98. Yük değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği	120
Şekil 4.99. Yük değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği .	120
Şekil 4.100. Statik ve dinamik durumlarda güvenlik sayıları grafiği.....	121
Şekil 5.1. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı genel tasarım modeli	123
Şekil 5.2. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı demir donatı tasarım modeli	123

Şekil 5.3. İde cad statik programında ön tasarım için kullanılan genel bilgiler tablosu	
.....	124
Şekil 5.4. İstinat duvarı tahkikleri tablosu	125
Şekil 5.5. İdecad programı ile tasarımı yapılan 5 metre istinat duvarının statik ve dinamik durumlar için tahkiki.....	126
Şekil 5.6. Çalışma sahalarında tasarlanan istinat duvarlarına ait yaklaşık maliyet grafiği	
.....	130

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Alan
β	: Zeminin yatay ile yaptığı açı
C	: Kohezyon
ca	: Adezyon
cm	: Santimetre
E	: Young modülü
EA	: Eksenel rijitlik
EI	: Eğilme rijitliği
F_d	: kaydırmaya çalışan itkiler
F_R	: kaymaya karşı direnen itkiler
F_S	: Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı
σ_h	: Yatay gerilme
σ'_v	: Düşey efektif gerilme
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_A	: Suyun altındaki birim hacim ağırlık
γ_{eq}	: Eşdeğer birim hacim ağırlığı
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
γ_{sat}	: Doygun birim hacim ağırlığı
γ_{unsat}	: Doygun olmayan birim hacim ağırlığı
H	: Duvar yüksekliği
I	: Atalet momenti
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
K_{ac}	: Coulomb aktif toprak basıncı katsayısı
K_0	: Sükûnetteki toprak basıncı katsayısı
K_{0c}	: Aşırı konsolide killerin sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_p	: Pasif toprak basıncı katsayısı
K_{pc}	: Coulomb pasif toprak basıncı katsayısı
M	: Metre
M_r	: Dengeleyici moment
M_d	: Devrilme momenti
$\emptyset$	: Kayma düzleminin yatay ile yaptığı açı

ϕ	: İçsel sürtünme açısı
Φ	: Dilatansi açısı
P_a	: Aktif toprak basıncı
P_p	: Zemin pasif itkisi
q	: Sürşarj yükü
R	: Kuvvet bileşeni
δ	: Sürtünme açısı
τ	: Maksimum taşıma gücü
u	: Hidrostatik su basıncı
ν	: Poisson oranı
W	: Kama ağırlığı

Kısaltmalar

Eurocode	: Comprehensive standard code of European Union countries
FHWA	: Federal Highway Administration
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
GS	: Güvenlik Sayısı
HS	: Pekleşen Zemin Modeli
LE	: Lineer Elastik Model
MC	: Mohr Coulomb
TBDY	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TS500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TL	: Türk lirası
USACE	: United States Army Corps of Engineers
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi

1. GİRİŞ

İstinat (dayanma) yapıları, inşaat mühendisliğinde önemli bir yere sahip uygulamalardan biridir. Bu yapılar, yarma ve dolgu yüzeylerini desteklemek, heyelan ve şev akmalarını önlemek ve genellikle yol güzergâhlarını kaymalara karşı güvence altına almak amacıyla inşa edilir. Başka bir deyişle, istinat yapıları, arka kısımlarındaki doğal veya dolgudan oluşan toprak, su, kum, çakıl gibi malzemeleri ve varsa üzerlerindeki ek yükleri korumak için inşa edilir.

İnşaat mühendisliğinde, kaymaya meyilli zeminlerin kaymasını önlemek için istinat yapılarının kullanımı büyük önem taşır. İstinat duvarları, özellikle dolgu alanlarının ve şev eteklerinin korunması, yarma şevlerinde erozyon ve kayma sonucu oluşabilecek oyulma, çökme ve dökülmelerin engellenmesi amacıyla yol inşaatında sıkça başvurulmuş önemli yapılar arasında yer alır. İki farklı kot seviyesindeki zeminlerin toprak yüzeyini güvenle tutan istinat yapıları, zemin ağırlığından kaynaklanan yanal toprak basıncını belirli bir güvenlik seviyesi gözeterek karşılar. Eğik yüzeyler ile sınırlanan zeminler, kendi ağırlıkları ve çeşitli dış kuvvetlerin etkisiyle düşey yönde hareket etmeye zorlanabilirler. Şevleri etkileyen başlıca kuvvetler arasında zemin üzerindeki ağırlıklar, deprem gibi sismik kuvvetler ve yeraltı ile yerüstü sularının hareketi sonucu oluşan kuvvetler sayılabilir. Genellikle yol yapılarında, yarma ve dolgu stabilizasyonunda ve şevler arası dengede sıklıkla kullanılan bu yapılar, köprülerde ise kenar ayakları olarak işlev görür. İstinat yapılarının gerekliliği, inşaatın yapıldığı yerin özelliklerine göre değişiklik göstermektedir.

Son yıllarda ülkemizde, özellikle yoğun yağışların da etkisiyle birçok bölgede istinat duvarlarının hasar görmesi ve çökmesi olayları sıkça yaşanmaktadır. Bu durum, kontrolsüz veya mühendislik hizmeti alınmadan inşa edilen istinat duvarlarının ne tür tehlikeler doğurabileceğini açıkça göstermektedir. İstinat yapıları, özellikle eğimli arazilerde yamaç yüzeyini doğal olarak daha dik şev açılarında tutmak ve heyelan, kayma ile akma gibi toprak hareketlerini engellemek amacıyla tasarlanmış mühendislik yapılarıdır. Ancak, maalesef bu yapılar çoğu zaman basite indirgenmekte, ciddiye alınmamakta ve gerekli özen gösterilmemektedir. İnşaat mühendislerinin proje ve denetim süreçleri olmadan gerçekleştirilen imalatlar, ciddi riskler doğurmaktadır.

İstinat yapıları, aktif ve pasif toprak basınçlarının etkisi altında çalışırken, bu basınçlar statik ve dinamik olarak ayrı ayrı hesaplanabilir. İnşaat mühendisliğinin en eski problemlerinden biri olan toprak basınçları üzerine birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar

yapmıştır. Günümüzde, deprem olmaksızın oluşan statik toprak basınçlarının belirlenmesi için en yaygın kullanılan üç yöntem Coulomb, Rankine ve Cullman yöntemleridir (Das, 2013). Toprak basınçları üzerine ilk çalışmayı gerçekleştiren Coulomb (1776), göçme sırasında istinat duvarının arkasındaki üçgen zemin kamasına etki eden kuvvetlerin bu basınçları oluşturduğunu kabul ederek, statik durumda duvara etki eden toprak basınçlarını hesaplamak için yeni bir yöntem geliştirmiştir. Rankine (1857) ise, zemindeki kohezyonu dikkate alarak, istinat duvarlarına etki eden statik toprak basınçlarını hesaplamak amacıyla zemin ile arka dolgu yüzeyi arasında sürtünme olmadığı varsayımına dayanan bir yöntem oluşturmuştur.

Bu tez çalışmasının amacı, şevli bir alandaki istinat duvarının statik etkiler altındaki davranışları sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan Plaxis 2D programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bununla birlikte; şevli alandaki zemin özelliklerini belirleyen parametreler ve bu alandaki istinat duvarı parametreleri birlikte analiz edilerek değerlendirmeye sunulmuştur.

Şevli bir alanda istinat duvarı yapılması planlanmış ve istinat duvarı yapıldıktan sonra dolgu üst kotu kullanıma açılacak şekilde tasarlanmıştır. İstinat duvarı ve zemin etkileşimi analizleri yapılmıştır. İstinat duvarları kendi içinde tasarlanarak farklı tipte istinat duvar modellerinin tasarımı ve tahkik analizleri yorumlanmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, tasarlanan istinat duvarları şevli alanda yerine uygulanarak Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak hem duvar hem de zemin özellikleri ile statik analizler yapılmıştır. Tasarlanan istinat duvarları şevli alanda yerine uygulandıktan sonra yapım aşamasının her aşamasında statik olarak zeminde oluşan gerilme, deformasyon, oturma, yapıda oluşan deplasman analizleri yorumlanarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, doğal durum, son inşaat aşaması ve dinamik duruma göre şev güvenlik sayıları hesaplanarak yorumlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde tez çalışma konusu ile ilgili önceki ve güncel çalışmalara yer verilmiş, çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Güler ve Demirkan (2002) çalışmalarında, farklı zemin gruplarına oturan doğal zemin üzerinde geodüvar tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımda, geotekstil ($EI=2000$ kN/m) ve geogrid ($EI=1000$ kN/m) donatılar kullanılmıştır. Duvarın yatay deplasmanları ile donatılardaki çekme kuvvetleri, statik ve dinamik yükleme durumları altında Plaxis programı ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, donatı eksenel dayanımının artmasının duvardaki yatay deplasman miktarını azalttığı tespit edilmiştir.

Emir (2005) çalışmasında, zemini kum olan ve stabil olmayan bir şev için, geosentetik donatılı bir istinat duvarı modeli ABD Karayolları Şartnamesi'ne uygun olarak tasarlanmış ve Plaxis programı kullanılarak analiz edilmiştir. Tasarımda, duvar için farklı sıklıklarda donatılar yerleştirilmiş ve bu donatılar arasında dolgu malzemesi olarak kumlu zemin kullanılmıştır. Tensar UX1600 ($EA=1750$ kN/m, $Tu=59$ kN/m²) ve Tensar UX1700 ($EA=2350$ kN/m, $Tu=75.1$ kN/m²) tipi donatılarla yapılan analizlerde, donatı uzama rijitliğinin ve çekme dayanımının artmasının göçme güvenlik sayısını değiştirmedigi, ancak toplam deplasman miktarını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, duvar arkasına Tensar UX1700 kullanılarak yapılan donatılı dolgu durumunda göçme güvenlik sayısının arttığı ve toplam deplasmanın azaldığı belirlenmiştir.

Bilgin (2006) çalışmasında, istinat duvarlarının arkasındaki zeminin içsel sürtünme açısındaki değişiminin, duvardaki toplam aktif kuvvet üzerindeki etkisini incelemiştir. Analizlerde, zemin birim hacim ağırlığı $\gamma=17,6$ kN/m³, kohezyon değeri $c=0$ kN/m² ve içsel sürtünme açıları 28° ile 34° arasında seçilmiştir. Hesaplamalar, deprem yönetmeliği ve Eurocode-2004 kullanılarak yapılmıştır. Sonuçlarda, içsel sürtünme açısının artmasıyla hem statik hem de dinamik durumda aktif kuvvetin azaldığı, yatay gerilmelerin ve duvarın devrilme ve kayma risklerinin azaldığı, güvenlik sayılarının ise arttığı gözlemlenmiştir.

İncecik ve ark. (2006) çalışmalarında, yumuşak kil tabakası üzerine kademeli olarak inşa edilen bir yol dolgusu Plaxis programı kullanılarak incelenmiştir. Burada taşıma gücünün artırılması ve oturmaların azaltılması amacıyla geosentetikler ve taş kolonların etkisi incelenmiştir. Çalışmada, zemin yüzeyine kumdan oluşan bir dolgu uygulanmış ve dolgu içerisine örgülü geotekstil donatılar yerleştirilmiştir. Analiz

sonuçlarına göre geotekstil kullanımıyla oturmaların önemli ölçüde azaldığı ve güvenlik faktörlerinde belirgin bir artış sağlandığı görülmüştür.

Shinde ve Mandal (2007) çalışmalarında, düşey sürşarj yükü altında sınırlı dolgu bölgelerine sahip istinat duvarının deformasyon davranışını anlamak amacıyla çeşitli deneyler gerçekleştirmiştir. Bu deneyler için, gerekli tüm cihazlarla birlikte özel bir test düzeneği geliştirilmiştir. Çalışmada, panel yer değiştirmeleri ve geogrid katmanları boyunca gerilme dağılımları gözlemlenmiştir. Ayrıca, güçlendirilmiş toprak duvarın etkinliği, geogrid malzeme kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmalar, Plaxis 2D yazılımı ile yapılan sonlu elemanlar analizi ile incelenmiştir.

Basha (2008) çalışmasında, dayanma yapılarının statik ve dinamik yükler altındaki tasarımını incelemiştir. Araştırma, zemin özelliklerindeki değişimlerin tasarım üzerindeki etkilerini ortaya koymuş ve dinamik koşullar altında betonarme konsol istinat duvarlarının stabilitesini göz önünde bulundurarak yeni bir tasarım yaklaşımı önermiştir.

Örnek ve ark. (2008) çalışmasında, yumuşak kil zemin üzerine inşa edilen dairesel temelli bir duvara geogrid donatılar yerleştirilmiş ve bu donatılar arasına granüler dolgu serilmiştir. Plaxis programı kullanılarak, dolgu tabaka kalınlığı, donatı derinliği, donatılar arası mesafe, donatı uzunluğu ve sayısının taşıma gücü üzerindeki etkileri parametrik olarak incelenmiştir. Sonuçlara göre, dolgu tabakasının kalınlığının arttıkça taşıma gücünün arttığı, donatı derliğinin artırılmasıyla taşıma gücünün azaldığı görülmüştür. Ayrıca, donatılar arasındaki mesafe 5 cm'ye kadar taşımada önemli bir değişiklik yapmazken, 5 cm'yi aşan mesafelerde taşıma gücünde azalma tespit edilmiştir.

Yardımcı (2013) çalışmasında, doğal zemin üzerine iki basamaklı geogrid donatılı duvarlar tasarlanmış ve bu duvarlar arasında kohezyonlu ($c=25 \text{ kN/m}^2$, $\phi=5^\circ$) ve kohezyonsuz ($c=1 \text{ kN/m}^2$, $\phi=38^\circ$) dolgular kullanılmıştır. PLAXIS programı ile yapılan analizlerde, duvar uzunluğu ve duvarlar arası mesafenin, bu dolgular için güvenlik sayısı ve yatay deformasyon üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlara göre duvar uzunluğu ve mesafe arttıkça güvenlik sayısının arttığı, yatay deformasyonun ise azaldığı tespit edilmiştir. Kohezyonsuz dolgunun kullanılması durumunda ise güvenlik sayısı ve yatay deformasyon miktarlarının artmış olduğu belirlenmiştir.

Suliman ve ark. (2014) çalışmalarında, kumlu zemin üzerine yerleştirilecek iki katlı prototip bir geoduvvar tasarlamıştır. Bu duvarda, geotekstil donatılar kullanılmış olup donatılar arasına dolgu malzemesi yerleştirilmiştir. Duvarlar arası mesafenin ve duvar uzunluklarındaki değişimlerin neden olduğu deformasyonlar, sonlu elemanlar yöntemi

olan Plaxis programı ve limit denge analiz yöntemi olan Slide programı ile hesaplanmıştır.

Bülbül (2015) çalışmasında, bir binaya ait vaka analizi yapılarak, binanın güvenliğini sağlamak için gerekli önlemler belirlenmiştir. Bu bağlamda Plaxis 8.2 programı kullanılarak iksa sistemi tasarımı yapılmıştır. Zemin parametrelerinde özellikle kohezyon ve elastisite modülünde yapılan değişikliklerin, kesit değerleri ve deplasmanlar üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Çiçek ve ark. (2015) çalışmasında, yumuşak killer üzerine inşa edilen dik eğimli geosentetik donatılı şevin stabilitesi incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizleri ile donatı uzunluğu, sayısı ve şev eğiminin stabilizeye etkisi değerlendirilmiştir. İlk aşamada, donatı kullanılmadan yapılan inşa işlemiyle şevin sabit kalmadığı gözlemlenmiştir. Donatı sayısı arttıkça güvenlik sayısı yükselmiş, ancak donatının serilmemesi durumunda güvenlik sayısı önemli ölçüde düşmüştür. Şev eğimi azaltıldığında ise güvenlik sayısının azaldığı, ancak donatı sayısının artırılmasıyla bu düşüşün telafi edilebileceği görülmüştür.

Bajlan (2016) çalışmasında, geogrid donatılı istinat yapılarının davranışları PLAXIS 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, duvar kalınlığı, mesafe aralığı, yer altı su seviyesi durumu, donatı uzunluğu, gömülme derinliği, sürşarj yükü, ve donatı rijitliği gibi parametrelerin, istinat duvarlarının performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Arslan ve ark. (2018) çalışmalarında, farklı deprem yüklerinin betonarme konsol istinat duvarlarının maliyeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada, deprem koşulları altındaki yapıların davranışları analiz edilmiş ve farklı sismik şiddetlere göre maliyet değerlendirmeleri yapılmıştır.

Binici ve Öztürk (2019) çalışmalarında, konsol istinat duvarlarının güvenli tasarımı için duvarın geometrik özellikleri ve dolgu malzemesinin özelliklerini (birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı) incelemişlerdir. Araştırmada, sabit gövde ve temel yüksekliklerinde, dolgu birim hacim ağırlığı ve farklı zemin içsel sürtünme açıları kullanılarak taban genişliği ile duvar yüksekliği arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Sonuçlar, içsel sürtünme açısının artmasıyla aktif toprak basıncı katsayısının ve aktif itkinin azaldığını, bunun da taban genişliği gereksinimini azaltarak ekonomik bir tasarım sağladığını göstermiştir.

Tuğrul (2019) çalışmasında, farklı duvar modelleri kullanarak DBYBHY ve TBDY standartlarındaki istinat yapılarının hesap yöntemlerini karşılaştırmıştır. Dinamik zemin basınçları arasındaki farkların daha iyi anlaşılabilmesi için parametrelerde

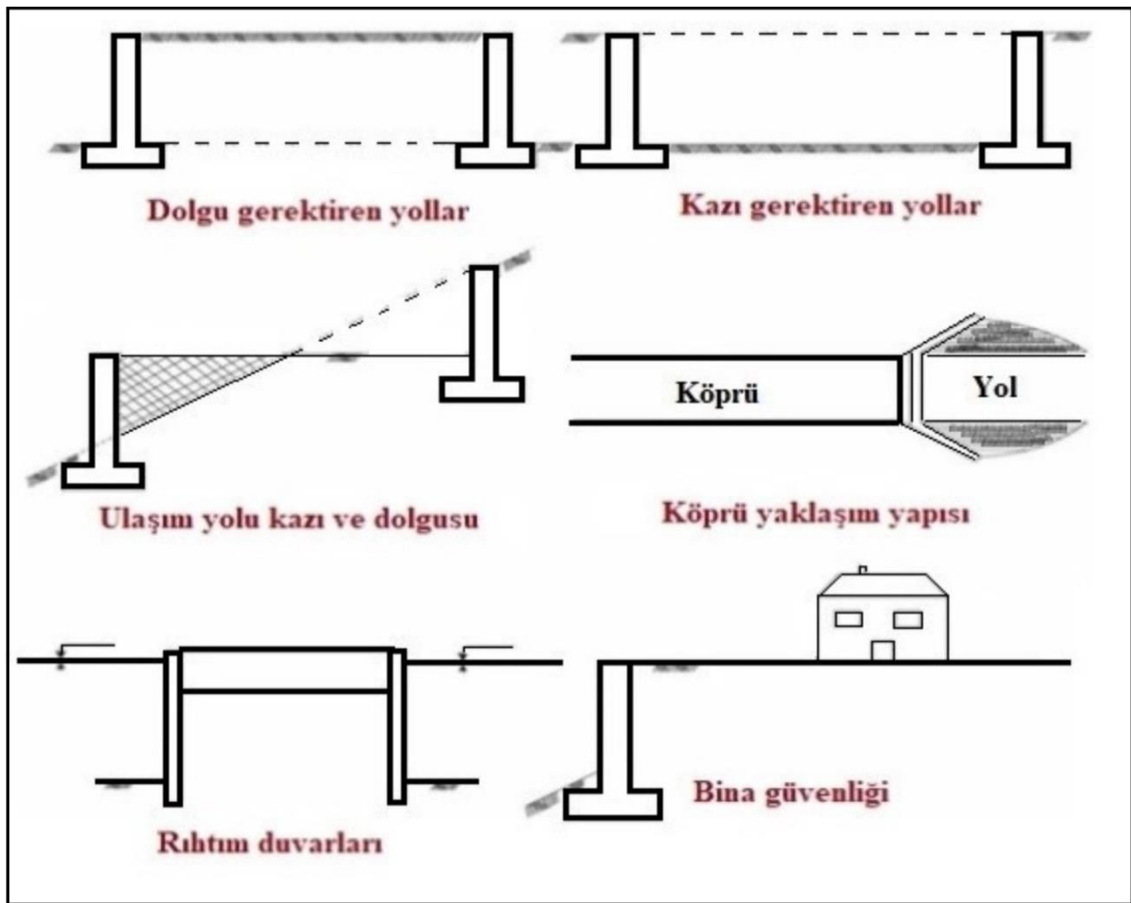
değişiklik yapılarak inceleme yapılmıştır. Çalışmada TBDY'ye göre hesaplanan dinamik zemin itkisi değerlerinin, DBYBHY'ye göre elde edilen değerlerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Schmied ve Karlsson (2021) tarafından yapılan çalışmada, betonarme konsol istinat duvarlarının tasarımı MATLAB ve çeşitli algoritmalar kullanılarak yapılmıştır. Araştırmada, istinat duvarlarının hem çevresel etkileri hem de yatırım maliyetleri değerlendirilmiştir. Çalışmada uygulanan optimizasyon yöntemleriyle maliyet ve çevresel etkilerde %10-20 arasında bir azalma sağlanabileceği belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. İstinat Duvarları

Zemin dayanma (istinat) yapıları, uygulama alanında genellikle istinat duvarları olarak anılmaktadır. Bu yapılar, doğal yamaçlarda kayma riski bulunan bölgelerde, yamaç dengesini sağlamak veya kazılar sonucunda oluşan dik şevlerin dengesini korumak amacıyla inşa edilir. Aynı zamanda, yatay toprak basıncına maruz kalan mühendislik yapılarıdır (Aytekin, 2004). Şekil 3.1’de istinat duvarı kullanım alanları gösterilmiştir.



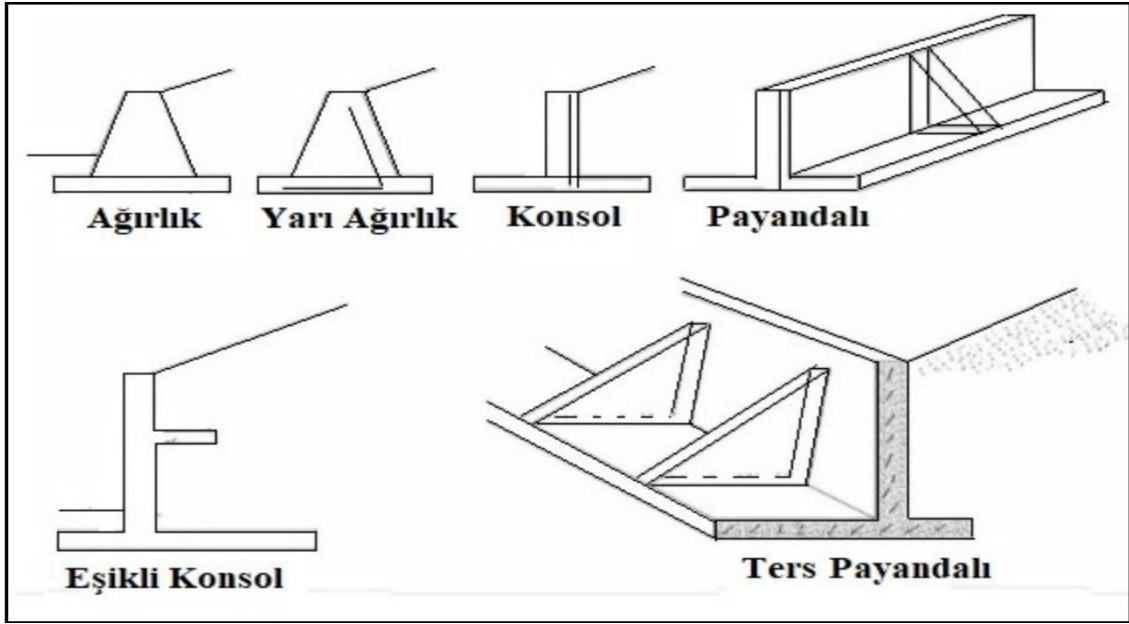
Şekil.3.1. İstinat duvarı kullanım alanları (Day, 2004)

3.2. İstinat Duvarı Tipleri

İstinat duvarları TS 7994 (1990)’e göre genel olarak rijit, yarı rijit ve esnek olmak üzere üç temel gruba ayrılabilir.

3.2.1. Rijit istinat duvarları

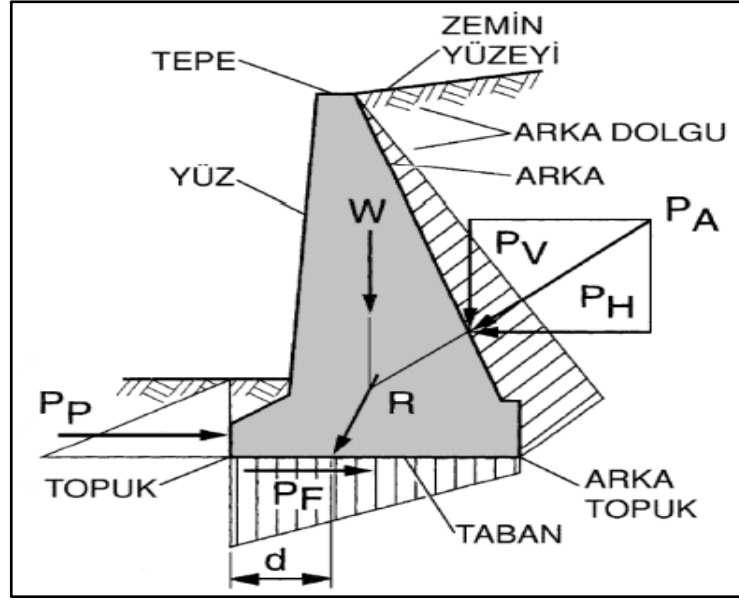
TS 7994 (1990)'e göre, bu tür dayanma yapılan kendi ağırlıkları veya kendi ağırlığı ve temel üzerindeki dolgu ağırlığı ile toprak itkisiyle dengeyi sağlamaktadır. Şekil 3.2'de görüldüğü üzere, rijit dayanma yapıları ters ve düz payandalı, konsol, eşikli konsol, ağırlık, yarı ağırlık tipi olmak üzere altı grupta sınıflandırılabilir.



Şekil.3.2. Rijit istinat duvarı tipleri (Yıldırım, 2009)

3.2.1.1. Ağırlık istinat duvarları

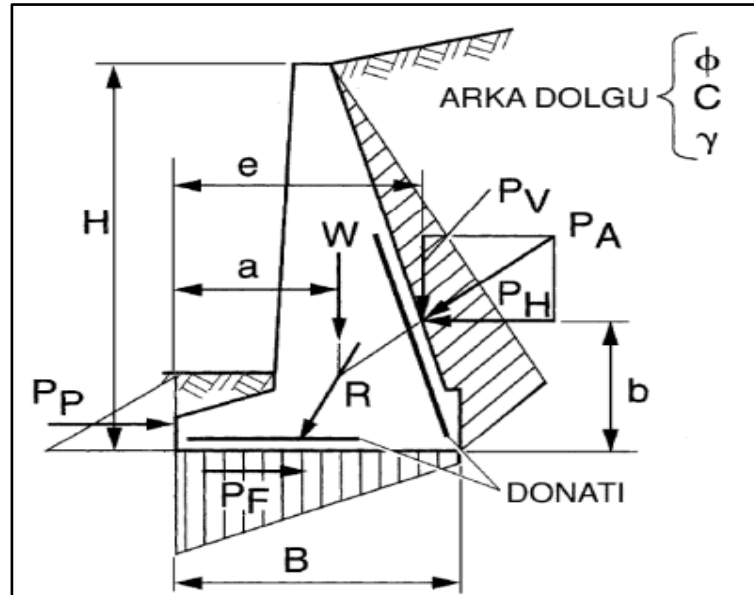
Rijit duvar türlerinden olan ağırlık duvar tipi kargir veya betondan imal edilirler. Zemin basıncını kendi ağırlığı ile karşılayan ağırlık duvarında donatı bulunmadığı için çekme gerilmesi oluşmaz. Şekil 3.3'te ağırlık istinat duvarı örneği ve duvara etkiyen yükler gösterilmiştir.



Şekil.3.3. Ağırlık istinat duvarı örneği ve etkiyen yükler (Day, 2002)

3.2.1.2. Yarı ağırlık istinat duvarları

Kagir veya betondan imal edilen yarı ağırlık duvar, rijit duvar türlerindendir. Çekme gerilmesinin olduğu yerlere donatı eklenir. İdeal yükseklikleri 4 ile 6 metre arasındadır. Şekil 3.4’te yarı ağırlık istinat duvarı örneği ve duvara etkiyen yükler gösterilmiştir.



Şekil.3.4. Yarı ağırlık istinat duvarı örneği ve etkiyen yükler (Day, 2001)

3.2.1.3. Konsol istinat duvarı

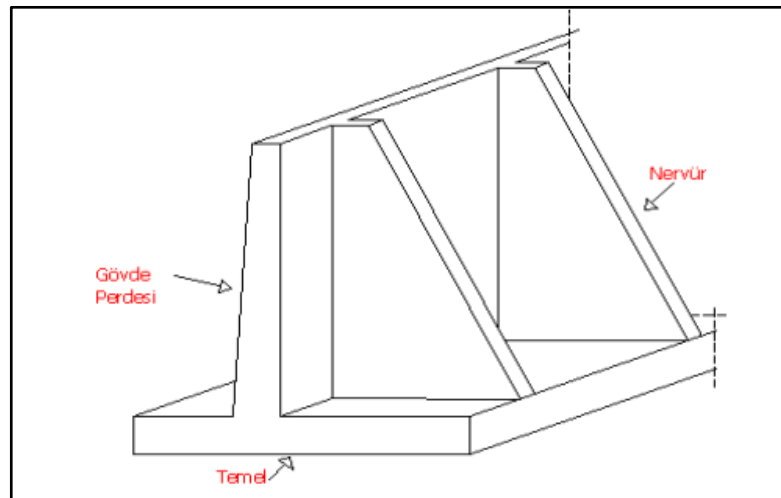
Rijit duvar türlerinden olan konsol istinat duvarları genellikle betonarme olarak inşa edilirler. Ters T, ters L ve düz L şeklinde inşa edilebilmektedir. Beton basınca donatı ise çekme dayanımına çalışmaktadır. En yaygın olarak kullanılan duvar türlerindendir. Şekil 3.5’te betonarme konsol istinat duvarı örnekleri gösterilmiştir.



Şekil.3.5. Konsol istinat duvarı örneği (MAÜ Yerleşkesi)

3.2.1.4. Payandalı istinat duvarı

Payandalı istinat duvarının ters ve düz olmak üzere iki türü bulunmaktadır. Başka bir deyişle, payandalarla güçlendirilmiş konsol duvarlardır (Şekil 3.6). Betonarme olarak inşa edilmektedir. Beton basınca donatı ise çekme dayanımına çalışmaktadır.



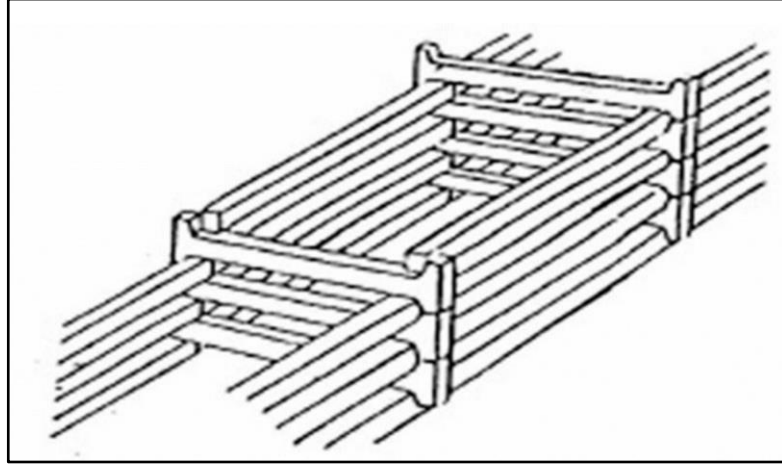
Şekil.3.6. Payandalı istinat duvarı (Tunç, 2002)

3.2.2. Yarı rijit istinat duvarları

TS 7994 (1990) standardına göre, yarı rijit istinat duvarları, rijit ve esnek duvarlar arasında yer alan, belirli bir esnekliğe sahip olan duvarlardır. Kafes, sandık, diyafram ve kazıklı perde türleri bulunmaktadır.

3.2.2.1. Kafes tipi

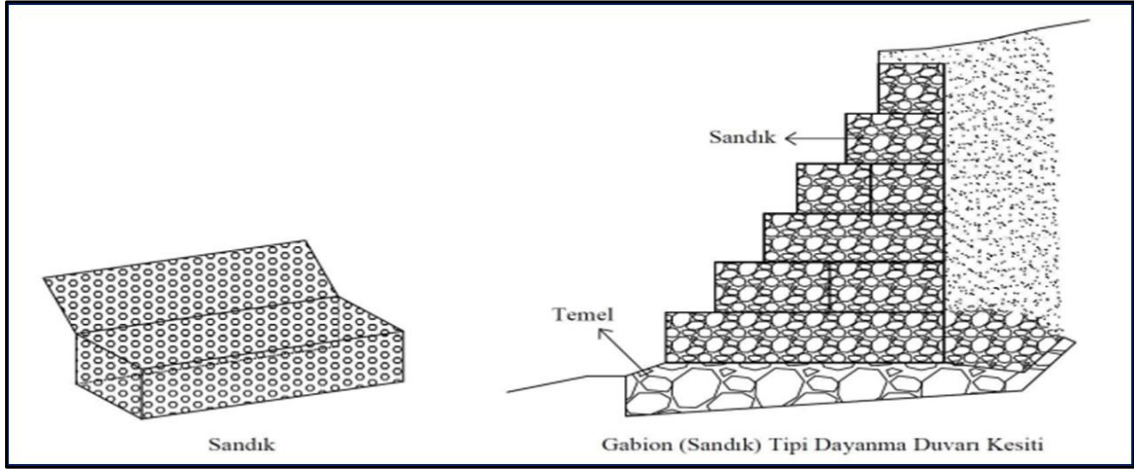
Yarı rijit istinat duvarı türlerinden olan kafes tipi duvar, metal veya betonarme kirişlerin birbirine geçmesi ile oluşmaktadır (Şekil 3.7). Kafeslerin içi taş veya daneli malzeme ile doldurulmaktadır. Drenajı kendi içinde sağlamaktadır. Ekonomik olması, hızlı ve kolay inşa edilebilir olması tercih edilebilirliğini artırmaktadır.



Şekil.3.7. Kafes tipi istinat duvarı (TS 7994, 1990)

3.2.2.2. Sandık tipi (gabion)

Kafes tipi tel örgü sandıkların içine kaya dolgu malzemesi konularak inşa edilen yarı rijit duvar türüdür. Drenajı kendi içinde sağlamaktadır. Hızlı ve kolay inşa edilebilmektedir. Ayrıca kullanım alanı geniş ve ekonomikdir. Şekil 3.8’de gabion tipi duvar örneği gösterilmiştir.



Şekil.3.8. Sandık tipi istinat duvarı (TS 7994, 1990)

3.2.3. Esnek istinat duvarları

TS 7994 (1990) standardına göre, yarı rijit istinat duvarları, rijit ve esnek duvarlar arasında yer alan, belirli bir esnekliğe sahip olan duvarlardır. Donatılı (toprakarme) ve palplanş perde türleri bulunmaktadır.

3.2.3.1. Donatılı (toprakarme) duvarlar

Esnek duvar türlerinden olan donatılı duvar sıkıştırılmış dolgu ile donatının birlikte çalışması esasına dayanmaktadır (Şekil 3.9). Son yıllarda yaygın olarak kullanılan bir uygulamadır. Dar alanlarda uygulanabilirliği, ekonomik olması, inşa süresinin kısa olması en avantajlı özellikleridir.



Şekil.3.9. Donatılı duvar (<https://sanalsantiye.com/>)

3.3. Dayanma Yapılarına Etkiyen Yanal Toprak Basıncı

Dayanma yapılarına etkiyen iki ana toprak basıncı bulunmaktadır. Bunlardan ilki deprem olmadığı durumlarda etkiyen statik toprak basıncı ve diğeri depremli durumlarda etkiyen dinamik toprak basıncıdır.

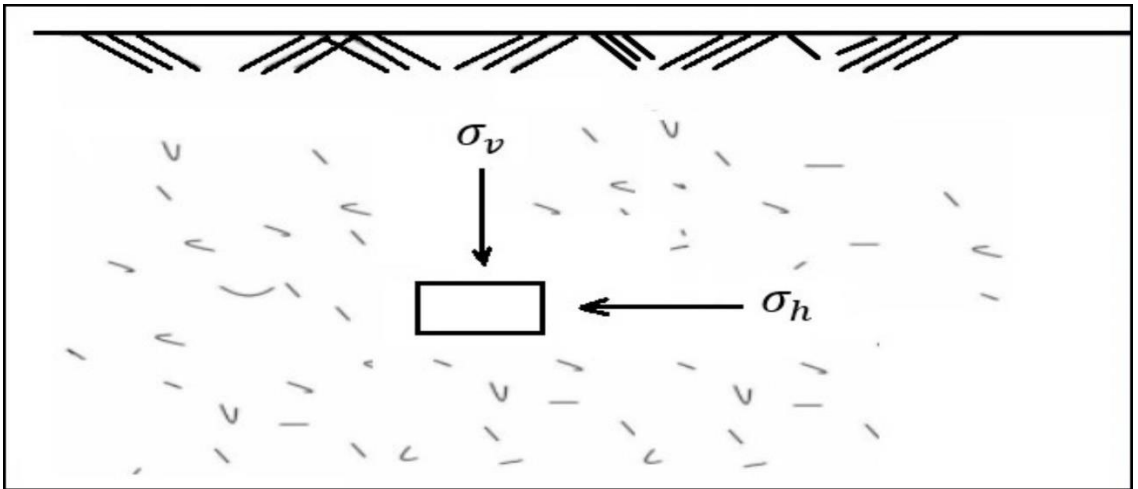
3.3.1. Yanal Toprak Basıncı

Dayanma yapılarına etkiyen yanal toprak basınçları, zeminin herhangi bir noktasındaki yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranını gösteren yanal toprak basıncı katsayıları ile hesaplanır (Şekil 3.10). Yatay toprak basınçları sükunetteki toprak basıncı, aktif toprak basıncı ve pasif toprak basıncı olarak üç durum için tanımlanır ve her durum için kullanılan toprak basıncı katsayıları farklıdır (Coduto, 2011). Duvarın arka tarafında oluşan yanal toprak basıncının şeklini ve miktarını belirleyen faktörler; istinat duvarı tipi ve duvarın hareket miktarı, zeminin kayma mukavemeti parametreleri, zeminin birim hacim ağırlığı ve zeminin drenaj koşullarıdır. Zemin kütlelerinin yanal toprak basıncı Denklem (3.1) ile hesaplanır (Coduto, 2011).

$$K = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \quad (3.1)$$

Burada;

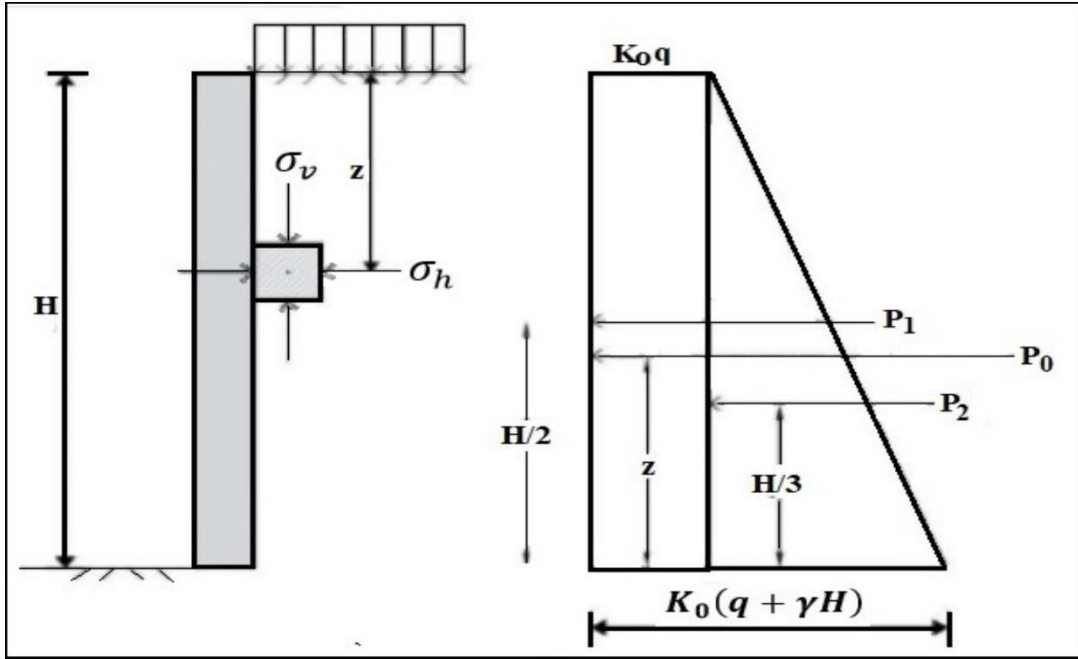
σ_h :Yatay gerilme, σ_v :Düşey gerilmedir.



Şekil.3.10. Yanal toprak basıncına etkiyen gerilmeler (Coduto, 2011)

3.3.1.1. Sükûnetteki toprak basıncı

Zemin ortamında duvarın hareket etmemesi bir başka değişle herhangi bir deplasman olmaması durumu olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.11’de sükûnetteki toprak basıncı durumu gösterilmiştir.



Şekil.3.11. Sükûnetteki toprak basıncı (Das, 2011)

Dayanma duvarının hareketine izin verilmeyerek, belirli bir z derinliğinde meydana gelecek olan yanal toprak basıncının hesaplanabilmesi için gerekli olan düşey gerilme Denklem (3.2) ile ifade edilir (Coduto, 2011).

$$\sigma_v = q + \gamma \cdot z \quad (3.2)$$

Burada;

σ_v : Düşey gerilme

q : Sürşarj yükü,

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı,

z : Duvar arkası zemin yüzünden derinliktir.

Zeminde düşey gerilmeden ve dış yüklerden dolayı yanal (yatay) toprak basıncı Denklem (3.3) ile ifade edilir (Coduto, 2011).

$$\sigma_v = K_0 \cdot \sigma'_v + u \quad (3.3)$$

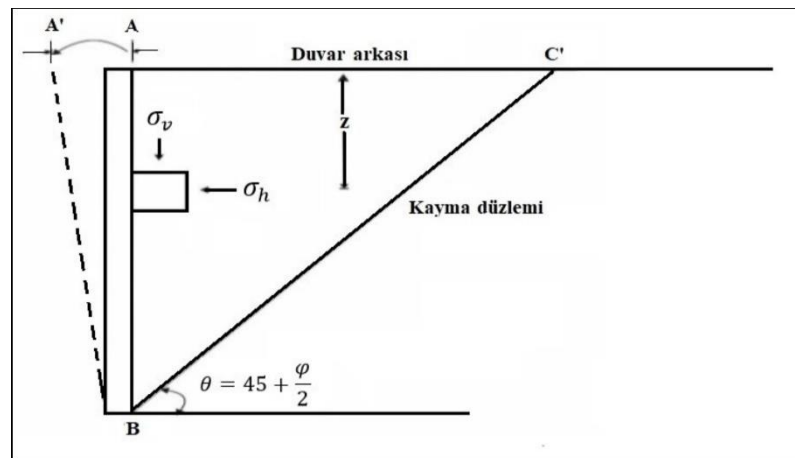
Burada;

K_0 : Sükûnetteki yanal toprak basıncı katsayısı

u : Hidrostatik su basıncı

3.3.1.2. Aktif toprak basıncı

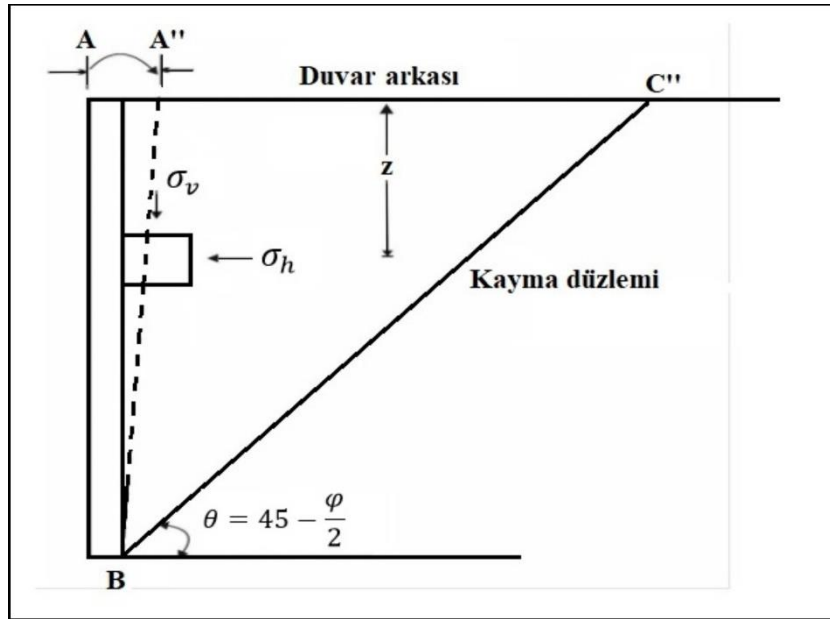
Dayanma yapısının herhangi bir biçimde öne doğru hareket etmesi durumunda, aktif toprak basıncı oluşmaktadır. Bu hareket sonucunda zeminde bir kırılma kaması ortaya çıkar ve kama duvarı hareket etmeye zorlanır. İstinat duvarlarına etki eden statik toprak basınçları, duvar ve zemin hareketlerinden etkilenmektedir. Arkasında zemin tutan ve itkiye maruz kalan duvar, dolgu dışına doğru çok az bir hareket gerçekleştirdiğinde, düşey gerilmelerde değişiklik meydana gelmezken, sükunetteki yatay zemin gerilmeleri azalmaya başlar ve belirli bir sınırı aştıktan sonra bir kayma yüzeyi oluşur. Yatay gerilmelerin en düşük değerlere düştüğü noktada ise göçme gerçekleşir. Kayma yüzeyi boyunca dışarıya doğru hareket etmeye çalışan zemin kamasının duvara uyguladığı yanal toprak basıncı, aktif toprak basıncı olarak adlandırılmaktadır. Aktif toprak basıncında oluşan kayma düzlemleri ise yatay düzlem ile $45 + \phi/2$ açısı oluşturur. Şekil 3.12’de aktif toprak basıncı durumu gösterilmiştir.



Şekil.3.12. Aktif toprak basıncı durumu (Das, 2013)

3.3.1.3. Pasif toprak basıncı

Pasif toprak basıncı, duvarın yeterli miktarda geriye doğru hareket etmesi sonucu oluşmaktadır. Bu hareketle birlikte zeminde kırılma kaması oluşur. Duvar arkasında pasif toprak basıncının doğması durumunda oluşan kırılma kaması yatay düzlem ile $45-\theta/2$ açı oluşturmaktadır. Şekil 3.13'te pasif toprak basıncı durumu gösterilmiştir.



Şekil.3.13. Pasif toprak basıncı durumu (Das, 2013)

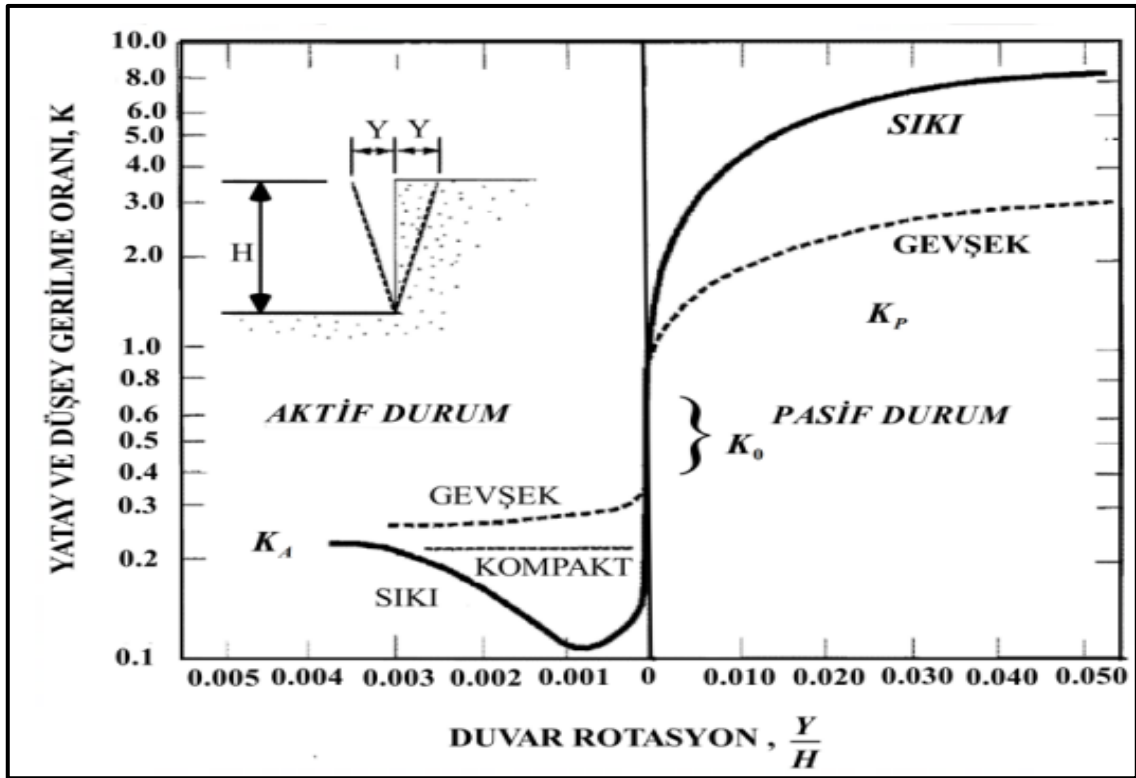
3.4. Statik Toprak Basıncı Teorileri

Aktif ve Pasif yanal basınç değerlerini hesaplayabilmek kesin bir hesap yöntemi bulunmamakla beraber bazı teorik ve grafiksel yaklaşımlar literatürde mevcuttur. Statik toprak basınçlarının hesaplanmasına dayalı ilk çalışmalar Charles-Augustin de Coulomb (1776) ve William Rankine (1857) tarafından yürütülmüştür.

3.4.1. Rankine toprak basıncı teorisi

Açılan temel çukurunun yan yüzeylerinde meydana gelen hareketlenmeler, aktif ve pasif yanal toprak basınçlarını yaratmaktadır. Şekil 3.14'te görüldüğü üzere, kazı derinliği (H) zemin sınıfına bağlı olarak zemin tabakalarının kazı alanına doğru hareketlenmesi nedeniyle aktif durumun ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Aktif zonun oluşumu için kazı derinliği (H) gereklidir; yanal hareket kazı bölgesinde, Şekil 3. 14'te

gösterildiği gibi, zemin katmanına doğru duvarın hareket etmesi durumunda pasif basınç oluşmaktadır.



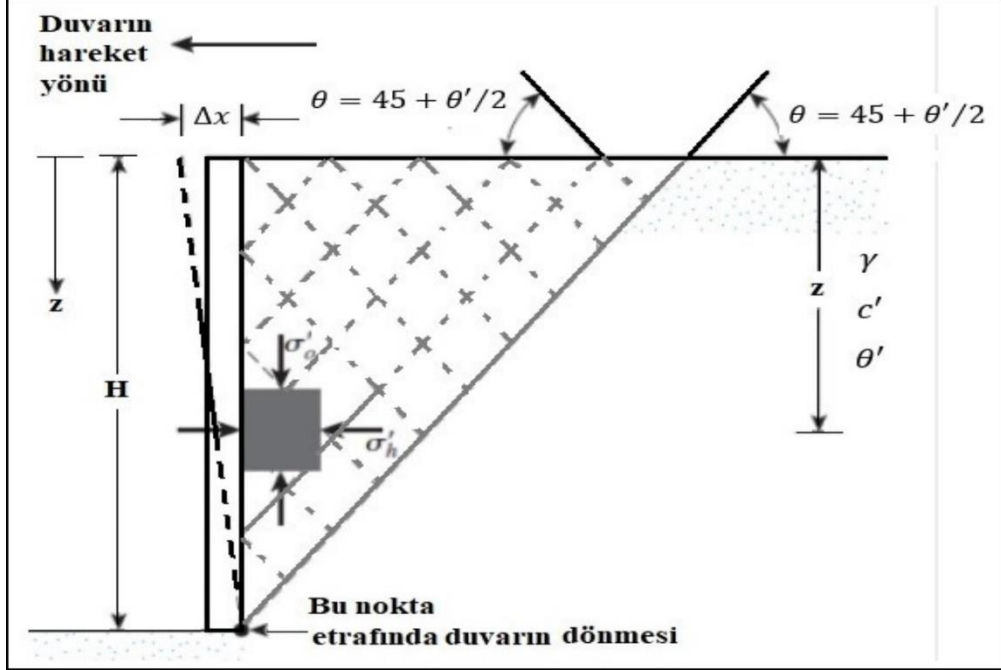
Şekil.3.14. Yanal toprak basınçlarının harekete başlama kriterleri, (Canadian Foundation Engineering Manual, 2006)

Bir zemin ortamında plastik dengeye ulaştığı andaki gerilmeleri ele alarak önce kohezyonsuz zeminler için ve daha sonra kohezyonlu zeminler için bu yöntemi uygulamıştır. Zeminin her konumundaki kırılmanın olduğu durum plastik denge, herhangi bir deformasyonun olmadığı durum ise elastik denge durumudur. Şekil 3.15'te Rankine aktif basınç durumunda düşey ve yatay gerilme ilişkisi verilmiştir.

Rankine aktif ve pasif yanal toprak basıncı teorisinin çıkarımlarında kullanılan kabuller (Rankine,1857);

- ✓ Zemin kütlesi homojen ve izotrop kabul edilmiştir. Buna göre zemin tabakasına ait kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) ve birim hacim ağırlığı (γ) sabit ve her yönde aynıdır.
- ✓ Duvar ile zemin arasında sürtünme yoktur.
- ✓ Aktif zemin kaması düzlemseldir.

- ✓ Aktif bölgenin önündeki dayanma yapısı düzlem gerinim problemi olarak çözülmektedir.
- ✓ İstinat duvarı, aktif ve pasif gerilmelerin oluşabileceği miktarda hareket eder.
- ✓ İstinat duvarına etkiyen bileşke kuvvet, dolgunun üst kot düzlem eğimine paralel olarak etki eder.



Şekil.3.15. Rankine aktif basınç durumunda düşey ve yatay gerilme ilişkisi
(Das, 2016)

Rankine aktif basınç hesap yöntemlerinde zemin plastik denge konumuna ulaştığında yatay kırılma açlarına göre aktif ve pasif durum oluşmaktadır. Aktif durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile $(45+\phi/2)^\circ$ 'lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir. Aktif durumda, zeminin üst yüzeyinden itibaren herhangi bir (z) derinliği için toprak basıncı minimum şartlarda Denklem (3.4) ile hesaplanabilir.

$$P_{as}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{as} - 2 \cdot c \cdot \sqrt{K_{as}} \quad (3.4)$$

Burada;

c : Zeminin kohezyonu

K_{as} : Statik aktif toprak basıncı katsayısı

γ : Zeminin birim hacim ağırlığıdır.

Statik toprak basıncı katsayısı olan K_{as} değeri Denklem (3.5) ile hesaplanır.

$$K_{as} = \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} = \tan^2 \left(45 - \frac{\theta}{2} \right) \quad (3.5)$$

Dayanma duvarı arkasındaki zeminin duvara etkiyen aktif toprak basıncının bileşke kuvveti duvar yüksekliği H boyunca integrali Denklem (3.6) ile hesaplanır.

$$P_{as} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{as} \quad (3.6)$$

Pasif durumda, zemin plastik denge konumuna ulaştığı zaman yatay ile $(45 - \theta/2)^\circ$ lik açı yapan düzlemler boyunca kırılma göstermektedir. Pasif durum için, zeminin üst yüzeyinden itibaren herhangi bir (z) derinliği için toprak basıncı minimum şartlarda Denklem (3.7) ile hesaplanır.

$$\sigma_{ps}(z) = \gamma \cdot z \cdot K_{ps} + 2c\sqrt{K_{ps}} \quad (3.7)$$

Statik pasif toprak basıncı katsayısı olan K_p ise Denklem (3.8) ile hesaplanır.

$$K_p = \tan^2(45 + \theta/2) = \frac{1 + \sin \theta}{1 - \sin \theta} \quad (3.8)$$

Dayanma duvarı arkasındaki zeminin duvara etkiyen pasif toprak basıncının bileşke kuvveti duvar yüksekliği H boyunca integrali Denklem (3.9) ile hesaplanır.

$$P_{ps} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot K_{ps} \quad (3.9)$$

Duvar arkası zemin üst yüzeyinin yatay ile 'i' açısı yaptığı durumlarda gösterilen yatay ile 'i' açısı yapan dolgunun toprak basıncı katsayısı statik aktif (K_{as}) ve statik pasif (K_{ps}) Denklem (3.10) ve Denklem (3.11) ile ifade edilir.

$$K_{as} = \cos i \cdot \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \theta}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \theta}} \quad (3.10)$$

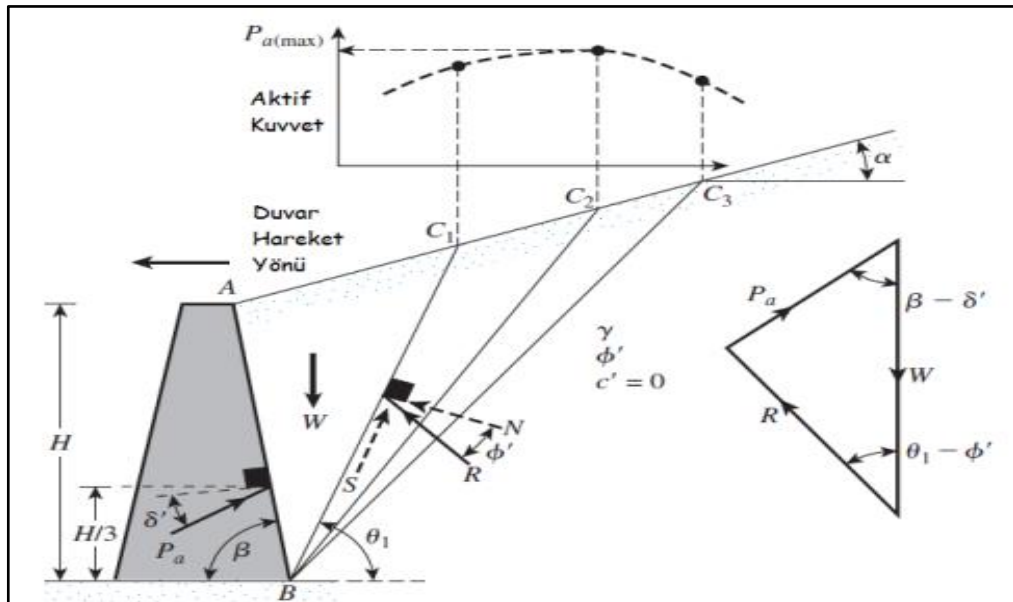
$$K_{ps} = \cos i \cdot \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \theta}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \theta}} \quad (3.11)$$

3.4.2. Coulomb toprak basıncı teorisi

Dayanma yapısına etkiyen zemin basıncının hesaplanması ile ilgili ilk çalışma Coulomb Kama Teorisi olarak bilinen Charles-Augustin de Coulomb'a (1776) aittir. Coulomb Kama Teorisinin en önemli özelliği Rankine Teorisinin aksine duvar ile duvar arkasında kalan zemin arasındaki sürtünmeyi dikkate almasıdır. Coulomb yanal toprak basıncı teorisinde minimum aktif ve maksimum pasif toprak basınçlarını kuvvetler dengesi yardımıyla hesaplanabilmektedir. Coulomb teorisindeki kabuller aşağıdaki şekildedir.

Duvar arkasındaki zemin, homojen, izotrop ve kohezyonsuzdur.

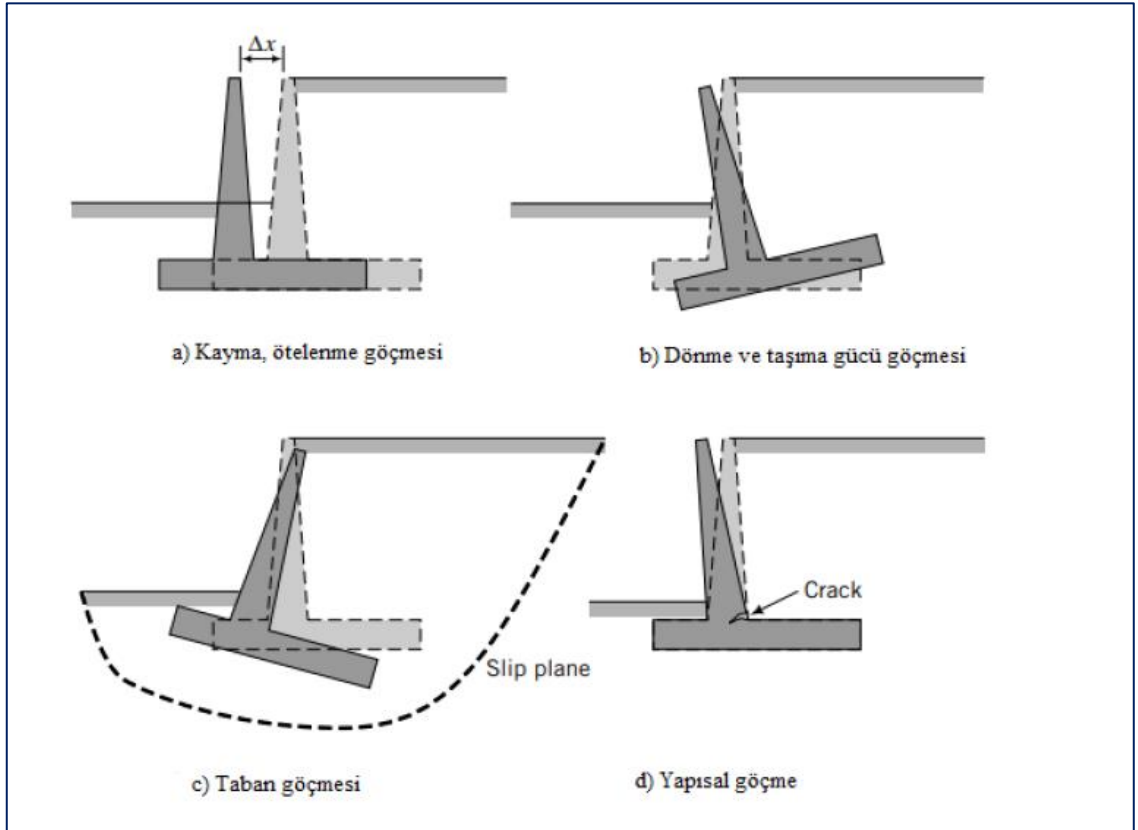
- ✓ İstinat duvarının yer değiştirmesiyle, dolguda bir kayma yüzeyi oluşur.
- ✓ Gerçekte eğri olması gereken kayma yüzeyi düzlemsel kabul edilmiştir.
- ✓ Göçme kaması rijit bir küttedir ve duvar arkası boyunca hareket ederek duvar sınırı boyunca sürtünme oluşturur.
- ✓ Duvarla zemin arasında sürtünme hesaba katılmaktadır.
- ✓ Birim yüzeydeki kayma direnci, kayma yüzeyi boyunca aynıdır.



Şekil.3.16. Coulomb aktif basıncı (Das, 2016)

3.5. İstinat Duvarlarının Stabilitesi

İstinat duvarlarına etki edecek olan aktif basınç, kohezyon basıncı, statik, dinamik ve benzeri faktörler tasarım aşamasında hesaplanarak ön boyutlandırma gerçekleştirilir. Bu ön boyutlandırma sonrası, istinat duvarının devrilme, toptan göçme, oturma, yanal ötelenmeden kaynaklanan duvar tabanındaki göçme ve temel tabanındaki taşıma gücü kapasitesinin güvenliği açısından stabilite kontrolleri yapılmaktadır. Şekil 3.17’de istinat duvarlarında stabilite durumları gösterilmiştir.

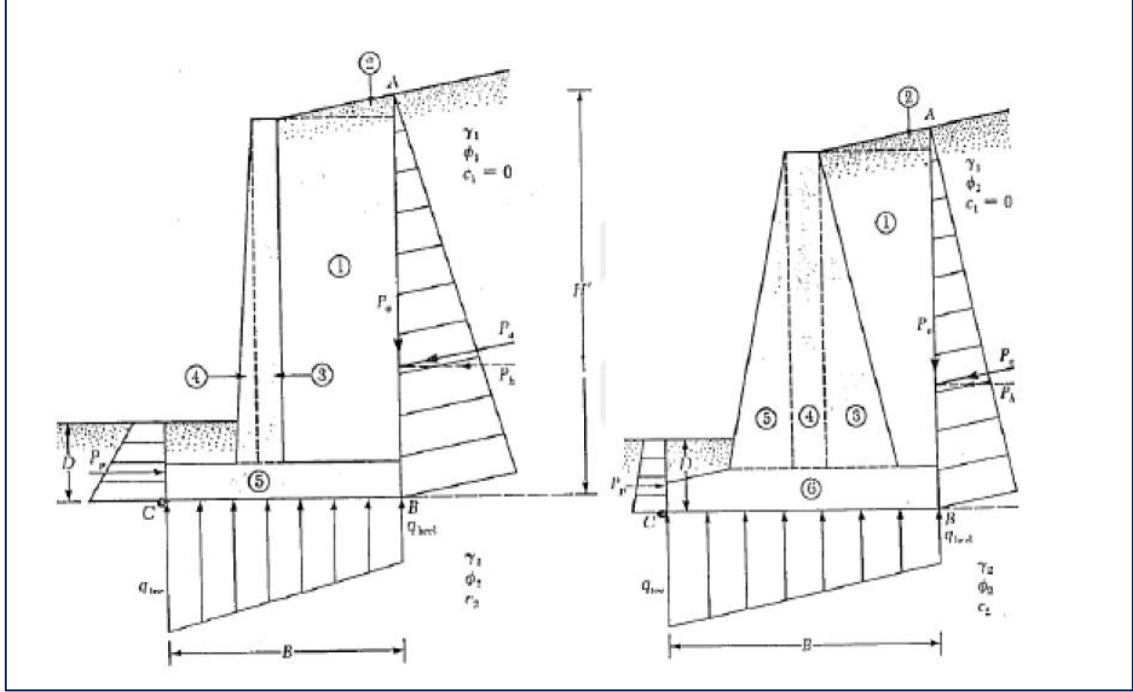


Şekil.3.17. İstinat duvarlarında stabilite durumları, a) kayma, b) dönme ve taşıma gücü göçmesi, c) taban göçmesi, d) yapısal göçme (Budhu, 2011)

3.5.1. Devrilme kontrolü

İstinat duvarının arkasındaki aktif itki ile diğer statik ve dinamik itkiler, duvarın Şekil 3.18’de gösterilen "C" noktası (topuk) etrafında devrilme eğilimi yaratmaktadır. Bu devrilmeye karşı koyan kuvvetler, duvarın ağırlığı ve duvar ampatmanı üzerindeki zemin ağırlığı ile dengelenmektedir. "C" noktası etrafında devrilmeye direnen kuvvetlerin momentinin, "C" noktası etrafında devirmeye çalışan kuvvetlerin momentine oranından

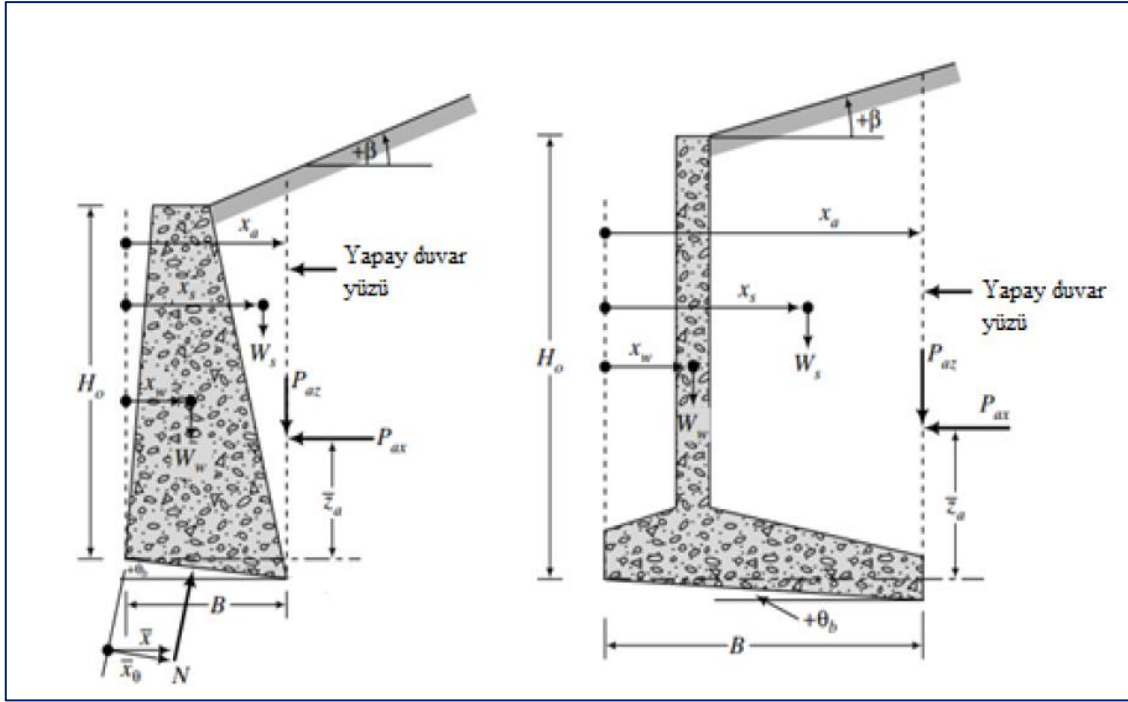
elde edilen katsayının, Yeni TB DY 2018 yönetmeliğine göre 2.50 güvenlik katsayısından büyük olması gerekmektedir. Diğer taraftan, Das, 2010'a göre bu güvenlik katsayısının 1.50'den fazla olması beklenmektedir.



Şekil.3.18. Rankine'in teorisine göre duvar devrilme kontrolünde oluşan kuvvetler (Das, 1984)

3.5.2. Kayma kontrolü

İstinat duvarlarının kaymaya karşı yeterli güvenlikte olması gereklidir. Kayma stabilitesinin sağlanması için duvarın temelindeki kaymaya karşı koyan itkiler, duvarı kaydırmaya çalışan itkilerden büyük olmalıdır. Kayma kontrolünde kullanılacak güvenlik katsayısı TB DY 2018'e göre 1.50'dir (FR: kaymaya karşı direnen itkiler, Fd: kaydırmaya çalışan itkiler, B: temel taban genişliği, c: kohezyon, Pa: aktif basınç, Pp: pasif basınç). Şekil 3.19'da dayanma yapılarının kayma kontrolü için genel durumu verilmiştir.



Şekil.3.19. Kayma kontrolü için ağırlık istinat duvarında ve konsol istinat duvarında genel durum (Budhu, 2011)

3.5.3. Taşıma gücü kapasite kontrolü

İstinat duvarının temelinden zemine uygulanan maksimum basıncın, izin verilen temel taşıma gücünü aşmaması gerekmektedir. Taşıma gücünde güvenliğin sağlanabilmesi için q_{max} (temelden zemine uygulanan maksimum basınç) $< q_u$ (izin verilen maksimum taşıma gücü) şartının sağlanması şarttır.

3.5.4. 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 doymuş 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.

3.5.5. Güvenlik sayısı

Güvenlik sayısı, şev stabilitesini değerlendirmek için kullanılan temel parametrelerden biridir. Kayma dayanımının kayma gerilmesine oranı olarak tanımlanmaktadır (Das, 2010). Güvenlik sayısı 1 den büyükse şevin stabil durumda olduğu, 1 den küçük veya 1'e eşitse kayma riski bulunduğu kabul edilmektedir. Güvenlik sayısı hesaplama yöntemlerine, limit denge yöntemi ve sayısal yöntemler örnek olarak gösterilebilmektedir. Limit denge yöntemleri; Bishop yöntemi, Janbu yöntemi, Morgenstern-Price ve Spencer yöntemidir. Sayısal yöntemler ise; Sonlu elemanlar yöntemi ve sonlu farklar yöntemidir.

Güvenlik Sayısı Sınırları:

- **1.0 – 1.3:** Genellikle kritik durumda olan, kısa vadeli stabiliteye sahip şevlerdir.
- **1.3 – 1.5:** Normal koşullar altında kabul edilebilir sınırdan olan şevlerdir.
- **1.5 ve üzeri:** Güvenli kabul edilen şevlerdir. Uzun vadeli stabilite için bu değer tercih edilmektedir.

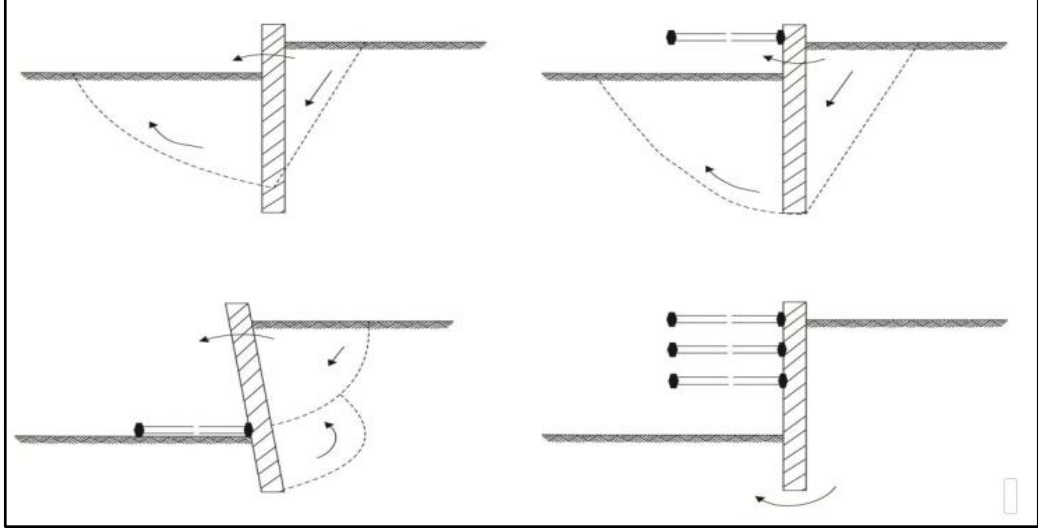
Çizelge 3. 1 Güvenlik katsayısı kriterleri

GS Aralığı	Şev Durumu	Kaynaklar
1.0 - 1.3	Kritik stabilite, kısa vadeli güvenlik	Terzaghi (1996), USACE, Duncan & Wright (2005)
1.3 - 1.5	Kabul edilebilir sınır, ancak uzun vadede izlenmeli	Eurocode 7, FHWA (2006), Bowles (1996)
≥ 1.5	Uzun vadeli stabilite sağlanmış, güvenli şev	USACE, Eurocode 7, Duncan & Wright (2005)

3.6. İstinat Duvarlarında Hasar Tipleri

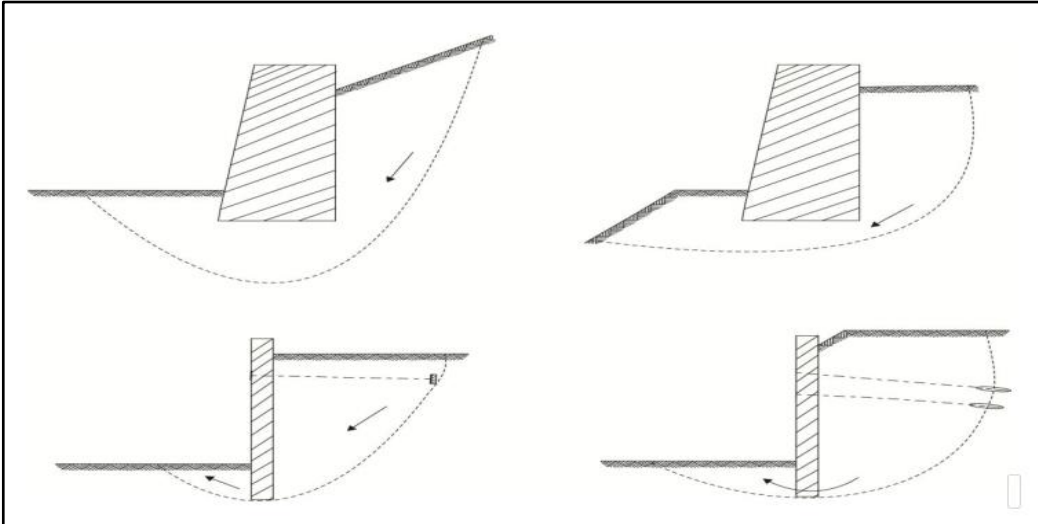
Ağırlık duvarları genellikle kayma ve dönme biçiminde ya da toplam duraysızlık gibi rijit gövde mekanizmalarıyla göçme eğilimi gösterir. Duvarın arkasındaki yanal toprak basınçlarının, duvarın tabanındaki kayma direncinden daha büyük bir itki oluşturması durumunda kayma meydana gelir. Şekil 3.20'de görüldüğü gibi, moment

dengesinin sağlanamadığı durumlarda yapının devrilme riski söz konusudur. Ayrıca, Şekil 3.21’de gösterildiği gibi, duvarın tabanında oluşan taşıma gücü kayıplarının bir arada gerçekleşmesi neticesinde hasar durumları ortaya çıkabilir.



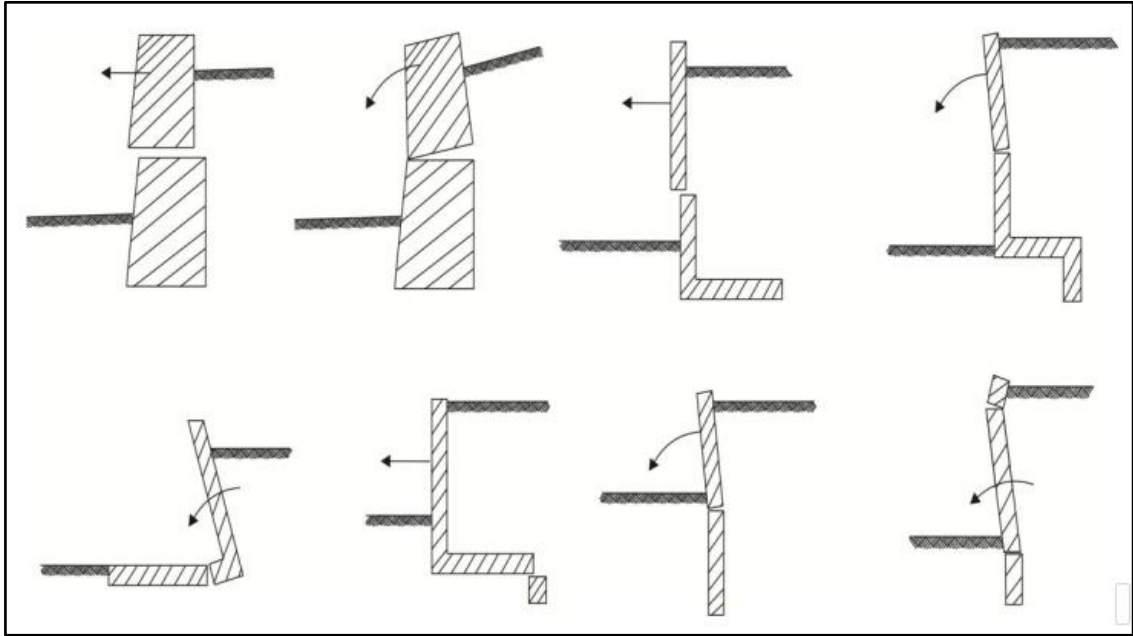
Şekil.3.20. Dönme problemlerinden kaynaklanan göçme türleri (Visone, 2008)

Izgaralı duvarlar, sandık duvarlar ve mekanik olarak stabilize edilmiş duvar gibi bileşik duvar sistemleri, çeşitli içsel mekanizmalar sayesinde, kesilme, sıyrılma veya çekme gibi durumlarla yenilebilir veya değiştirilebilir (Kramer, 1996).



Şekil.3.21. Yapının stabilitesinden kaynaklanan göçme türleri (Visone, 2008)

Kuşaklı duvarlar genellikle toplam duraysızlık, yan yatma, eğilme yenilmesi ve/veya kuşak elemanlarının yenilmesi ile göç eder. Bu duvarların eğilmesinde tipik olarak, bodrum ve köprü ampatmanı duvarlarının çoğu zaman tepesinde olmak üzere, kuşağın duvar üzerinde bağlı olduğu noktada bir dönme meydana gelir. Yeterince derin olmayan ankrajlı duvarlar, topuklarında ‘ileri tepme’ mekanizmasıyla eğilebilir. Ankrajlı duvarlar, yenilme mekanizması muhtemelen farklı olmasına rağmen, konsol duvarlar gibi eğilme şeklinde yenilebilir. Kuşak elemanlarının yenilmesi; ankrajın sıyrılması, çubuk yenilmesi veya köprü katlanması biçiminde olabilir. Arka dolgu oturmaları, çubuk veya ankraj kökü gibi kuşak elemanları üzerinde ilave boyuna ve enine yükleme uygulayabilir (Kramer, 1996).



Şekil.3.22. Yapının stabilitesinden kaynaklanan kırılma türleri (Visone, 2008)

3.7. İstinat Duvarlarında Drenaj

İstinat duvarlarındaki en önemli problemlerden biri olarak kabul edilmekte olan drenaj, suyun doğal veya yapay metodlarla uzaklaştırılması için yapılan çalışmalardır. Drenajı yeterli düzeyde yapılamayan istinat duvarlarında hasar oluşabilmekte ve hatta göçme meydana gelebilmektedir. Duvar arkasında bulunan suyun tahliye edilebilmesi için öncelikle duvar arkasındaki dolgu malzemelerin kohezyonsuz olarak seçilmesi, duvara şaşırtmalı olarak barbakanların konulması ve dolgu altında kalan temel ile duvar birleşim bölgesine drenaj borularının konulması gerekmektedir.

3.8. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, Zeinkiewicz (1977) tarafından sürekli sistemlerin genel çözüm yöntemi olarak matematiksel ifadelerle tanımlanmıştır. Bu yöntem, sürekli bir sistemi matematiksel olarak modellemeyi amaçlar. Karmaşık ve hesaplaması zahmetli mühendislik problemlerine makul bir yaklaşımla çözüm arayan sayısal bir yöntemdir. Yöntemin temeli, fiziksel bir sistemin matematiksel bir şekilde ifade edilmesine dayanır.

3.8.1.PLAXIS sonlu elemanlar programı

PLAXIS, geoteknik mühendisliğinde hem statik hem de dinamik yükler altında bulunan karmaşık geometriye sahip sistemlerin deformasyon ve stabilite analizi için kullanılan bir yazılımdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından, yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolaylıkla analiz edilebilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Plaxis programı ile sürekli bir ortam sonlu elemanlara indirgenerek çözüm gerçekleştirilmektedir. Bu program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında gerek duyulan zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği gibi konularda ve malzeme farklılıkları olan durumlarda kullanılabilmektedir. PLAXIS yazılımı, veri girişinin yapıldığı (input), hesaplamaların gerçekleştirildiği (calculation), elde edilen sonuçların ve dokümanların çıkarıldığı çıkış (output) ve sonuçlara dair grafiklerin çizildiği (curve) modül olmak üzere dört arayüzden oluşmaktadır. PLAXIS programında kullanılan zemin davranışı yaklaşımları arasında Lineer elastik model, Mohr-Coulomb zemin modeli ve Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) yer almaktadır (Plaxis, 2012b).

3.8.1.1. Lineer elastik model (Lineer elastik model) (LE)

Bu yaklaşım, izotropik lineer elastik malzemelerin davranışlarının Hooke kanununa uygunluğuna dayanmaktadır. Zeminin davranışını belirleyen temel parametreler, elastisite modülü ve Poisson oranıdır. Bu tür bir yaklaşım genellikle zemin içerisinde bulunan rijit yapıların modellenmesinde kullanılmaktadır (Plaxis, 2012b).

3.8.1.2. Hardening soil model (Pekleşen zemin modeli) (HS)

Bu yaklaşım, sürtünme sertleşmesi plastisitesi formülü çerçevesinde oluşturulmuş olan hiperbolik ve elastoplastik bir modeli temsil etmektedir. Hardening soil modeli (HS), Schanz (1998) ve Schanz ve arkadaşları (1999) tarafından geliştirilmiştir. Bu model, temel basınç altında kalıcı kompaksiyonun ifade edilmesi amacıyla basınç sertleşmesini de içermektedir. İkinci dereceden olan bu model, kum ve çakıl davranışını yansıtmanın yanı sıra, aşırı konsolide olmuş kil ve silt gibi daha yumuşak zeminlerin de davranışlarını yansıtmaktadır (Plaxis, 2012b).

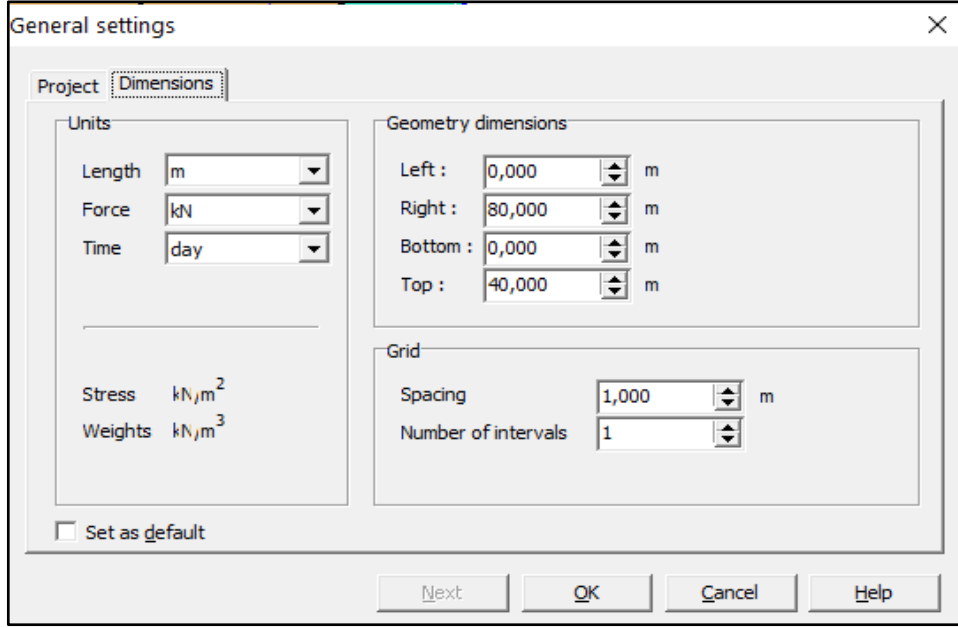
3.8.1.3. Mohr-Coulomb model (MC)

Zemin içindeki herhangi bir düzlemde bir noktadaki kayma gerilmesi, kayma mukavemetine eşit hale gelirse, o noktada yenilme meydana gelecektir. Kesme mukavemeti τ_f , Coulomb tarafından kohezyon c , kesme açısı ϕ ve yenilmedeki normal gerilme σ_f ile doğrusal bir fonksiyon olarak ifade edilmiştir. Bir toprak kütleindeki kayma gerilmelerine yalnızca katı parçacıkların iskeleti tarafından direnç gösterilebildiğinden, bu ifade efektif gerilmeler açısından Denklem (3.12) tanımlanır.

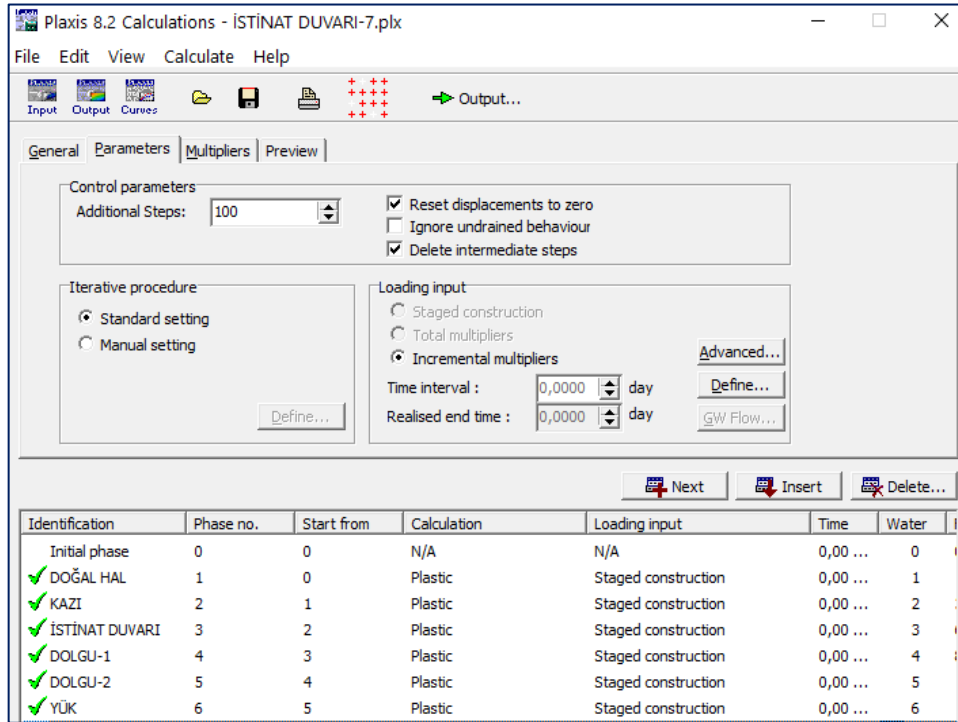
$$\tau_f = c' + \sigma_f' \tan \phi' \quad (3.12)$$

Denklem (3.12), kayma gerilmesi ve efektif normal gerilmenin kritik bir kombinasyonunun geliştiği zemindeki herhangi bir noktada göçmenin meydana geleceğini ortaya koymaktadır. Eğer normal efektif gerilme sıfır ise, o zaman kayma direnci sıfır ve etkin kohezyon da sıfır olacaktır. Bu parametreler sadece kayma mukavemeti ve efektif normal gerilme arasında doğrusal bir ilişki tanımlayan sabitlerdir (Craig, 2004).

Bu yaklaşım zemin davranışının modellenmesinde en sık kullanılan zemin davranışı yaklaşımlarından biridir. Bununla birlikte, Mohr-Coulomb (MC) modeli oldukça basit ve iyi bilinen bir doğrusal elastik-tam plastik modeldir. Mohr-Coulomb (MC) modelinin doğrusal elastik kısmı Hooke yasasına dayanmaktadır. Plastik kısım ise Mohr-Coulomb yenilme kriterine dayanmaktadır (Plaxis, 2012b). Şekil 3.23'te plaxis programında yer alan genel ayarlar menüsü, Şekil 3.24'te ise hesap aşamaları örneği gösterilmiştir.



Şekil.3.23. Plaxis 2D programında genel ayarlar menüsü örneği



Şekil.3.24. Plaxis 2D programında hesap aşaması örneği

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

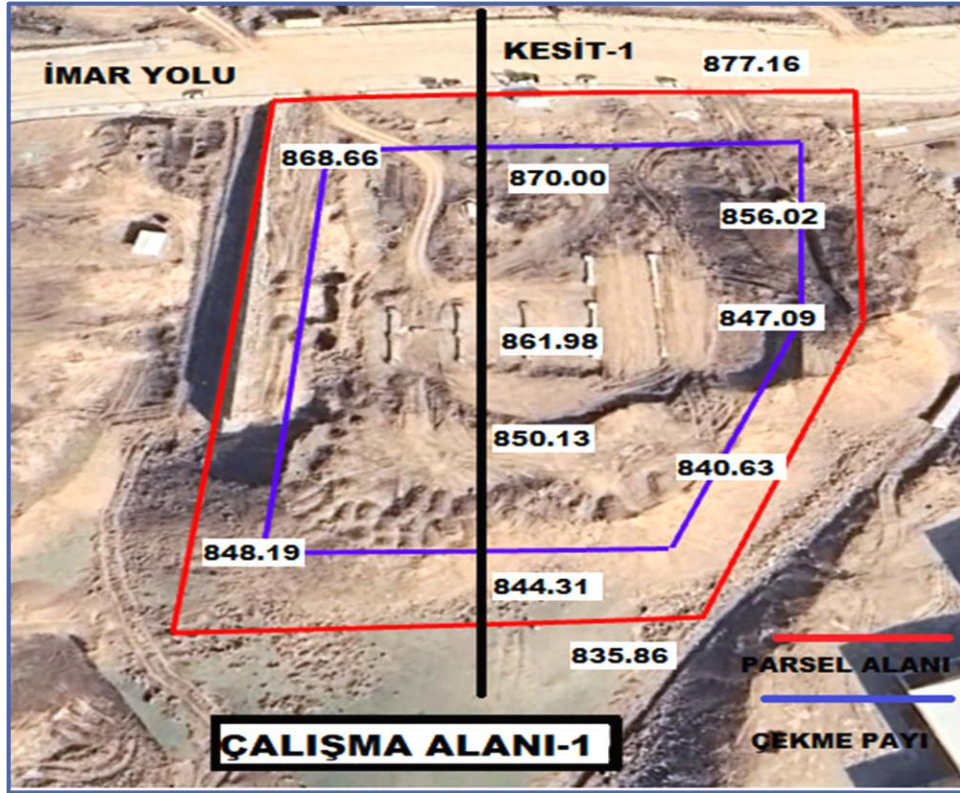
Bu tez çalışmasında, mühendislik yapılarının değerlendirmesinde önemli bir yere sahip olan istinat (dayanma) duvarları için geoteknik problemlerin modellenmesinde ve analizinde yaygın olarak kullanılan sonlu elemanlar yöntemi ile çalışan PLAXIS 2D programı kullanılmıştır. Bununla birlikte istinat duvarlarının statik analizleri ve tasarımları İde CAD Statik programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, maliyet analizleri ise Oska yazılım programı aracılığı ile detaylı bir şekilde yapılmıştır.

Tez kapsamında, şev stabilitesi ve istinat duvarlarının etkileri incelenmiş, oluşan deplasmanlar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen Çalışma sahası-1, Çalışma sahası-2 ve Çalışma sahası-3 için İde CAD Statik programı ile farklı yükseklik ve parametrelerde istinat duvarları tasarlanmış, tasarlanan duvarların ve çalışma sahalarına ait şevli zemin kesitlerinin PLAXIS 2D bilgisayar yazılımı ile modelleri oluşturulmuştur. Modeller, zemin etüt raporu, statik proje ve mimari proje eklerinden alınan verilere göre oluşturulmuş ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışma sahası-1, Çalışma sahası-2 için gerçek saha verileri kullanılarak zemin ve duvar tasarımları oluşturulmuştur. Çalışma sahası-3’de ise belirlenen senaryo durumlarına göre istinat duvarı tasarımları yapılmış ve bu tasarımlar değerlendirilmiştir. Modellenen zemin ve duvar tasarımlarının şev durumuna ilişkin göçme güvenlikleri, duvar deformasyonları ve farklı zemin parametrelerine göre analizleri gerçekleştirilmiş, sonuçları yorumlanmıştır. Bununla birlikte farklı duvar yükseklikleri için zemin durumundaki değişimlerin etkileri de incelenmiştir. Tüm bu çalışmalar, farklı zemin koşullarında şev stabilitesini sağlamak ve yapı güvenliğini artırmak için uygun mühendislik çözümleri sunmayı amaçlamıştır.

4.1. Çalışma sahası-1 geoteknik bilgileri

İnceleme alanının (Şekil 4.1) toplam arsa alanı 20.806.82 m² olmakla birlikte, parsel kenar uzunlukları 122-170 m’dir. İnceleme alanının en yüksek kotu 877 m ve en düşük kotu ise 835 m’dir. En yüksek kotun bulunduğu parsel sınırında 25 m imar yolu bulunmaktadır. Bununla birlikte çalışma sahasında çekme mesafeleri, yol kenarlarında 20 m, diğer kenarlarda 12 m’ dir. Parsel içerisinde temel boyutları 70*75 m, bina temel derinliği 1.50 m olacak şekilde fabrika yapılması tasarlanmıştır. Yapının oturacağı temel kotu 847 m kotudur. Arazinin yapısına göre imar yolunun bulunduğu en yüksek kot olan 877 m kotundan 30 metre daha derinde bulunmaktadır. İmar yolu ile yeni yapılacak yapı

arasındaki kot farkının ve doğal eğimin fazla olmasından dolayı yapının zarar görmemesi adına şevli bölgede palyelendirme ve istinat duvarı gibi birtakım önlemlerin alınması gerekmektedir. Plaxis 2D programı ile elde edilen tasarımda Yük-1 olarak adlandırılmakta olan yol yükü 30 kN/m^2 , Yük-2 olarak adlandırılan yapı yükü ise 305 kN/m^2 olarak hesaplara dahil edilmiştir. İnceleme alanında arazide yapılan gözlemsel araştırmalar ve temel sondaj kuyularından elde edilen sonuçlara göre, zemin birimleri; 0.00-0.50 m arası bitkisel toprak, 0.50-3.00 m inorganik kil, 3.00-7.50 m arası sert kil olarak belirlenmiştir. Sondaj çalışmaları sırasında yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Çalışma sahasında yapılan zemin etüt araştırmalarında, yerel zemin sınıfı ZD olarak tespit edilmiştir. Çalışma sahası için, farklı derinliklerde bulunan iki tabaka halindeki zeminde PLAXIS (2D) programı ile modeller oluşturulmuştur. Aynı saha için üç farklı alternatif kesit çalışması yapılarak ve her bir kesit için ayrı ayrı olmak üzere farklı boyutlarda (5 m ve 10 m) istinat duvarları tasarlanmıştır. Alternatif kesit çalışmalarında kazı eğimleri değiştirilerek, yapının uygulanabileceği üç farklı kesit türü tasarlanmıştır. Bu kesitlerde, şev yüksekliği fazla olan zeminin stabilitesini artırmak ve olası kaya düşmelerini önlemek için şevli zeminde palye çalışmaları yapılmış olup yapı ile doğal zemin arasındaki bölgede farklı yüksekliklerde istinat duvarları tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan üç kesit çalışmasında da farklı şev eğimleri uygulanmıştır. Yapının zarar görmemesi adına şevli alan ile yapı sınırı arasına beş metrelik ve on metrelik iki farklı istinat duvarı tasarlanıp birbirleri ile kıyaslanarak değerlendirilmiş ve en uygun çalışma belirlenmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte; zeminin doğal halindeki durumu, istinat duvarının yapıldığı ana kadar ve sonrasındaki her bir inşaat aşaması için zeminin ve duvarın davranışı incelenerek yorumlanmıştır.

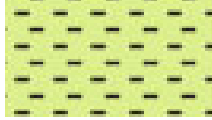
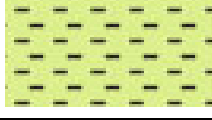


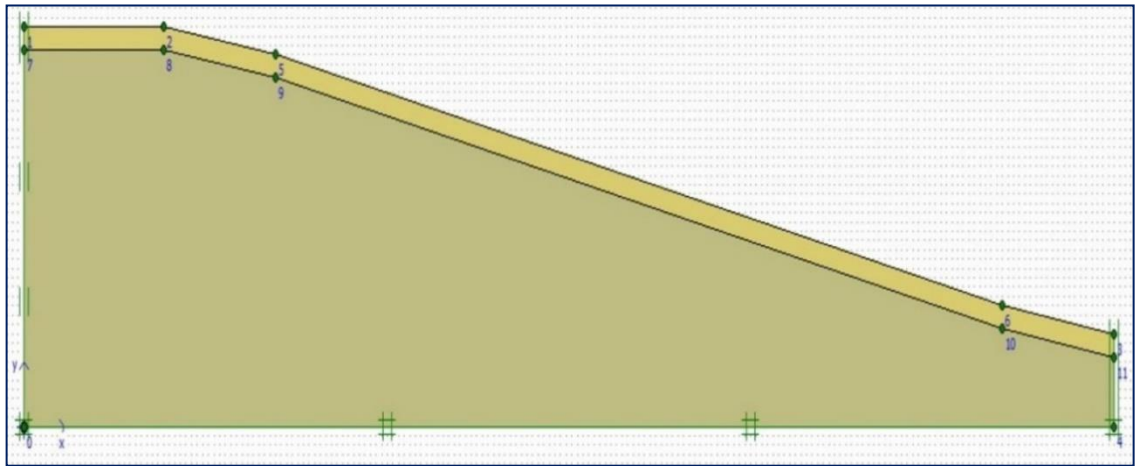
Şekil 4.1. Çalışma sahası-1 kroki planı

4.1.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler

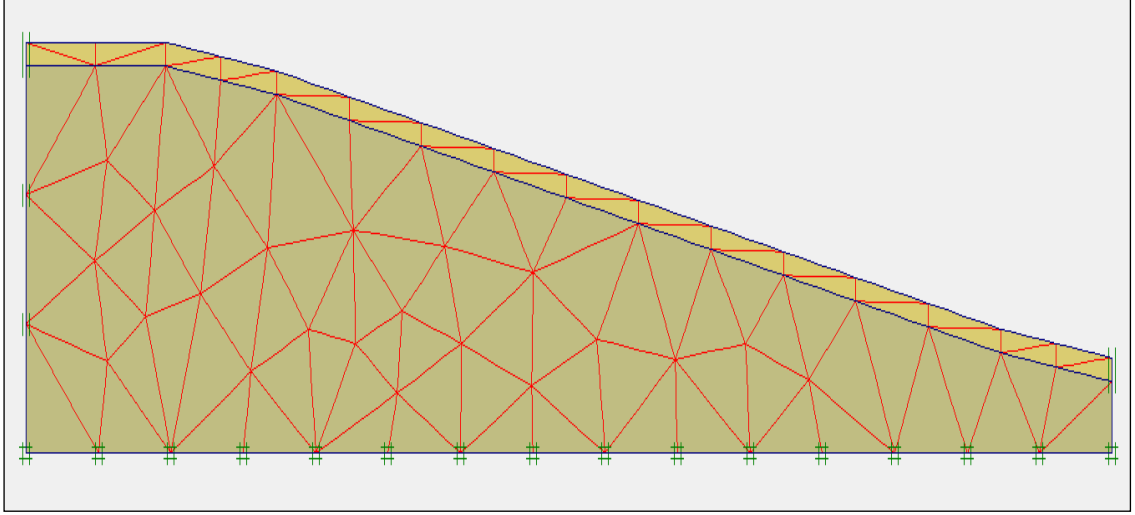
Çalışma sahası-1 için tasarlanan üç farklı alternatif çalışma, inceleme alanındaki zeminin doğal hal durum koşullarında incelenmiştir. Zeminin doğal hali için elde edilen modellerde kullanılan zemin parametrelerinin özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda Şekil 4.2’de geometri modeli ve Şekil 4.3’te ise 15 düğümlü sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Referans değerlere göre hesaplanan toplam deplasman ve yatay deplasman değeri 4.75×10^{-3} m (Şekil 4.4) ve düşey deplasman değeri ise 1.44×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Plaxis (2D) programında doğal haldeki şev için güvenlik sayısı 1.552 olarak hesaplanmıştır. Doğal ortam zemin kesiti için hesaplanan güvenlik sayısının kriter olarak görülmekte olan 1.5 eşik değerinden daha büyük olduğu, dolayısıyla zeminin doğal durumunda güvenli olduğu anlaşılmaktadır. Arazinin doğal durumunda toplam ve yatay deformasyonlar; eğimli arazinin orta bölgesinde en yüksek değere ulaşırken düşey deformasyonun en büyük değerinin ise arazinin tepe noktasında olduğu gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışma sahası-1 doğal zemin parametrelerinin özellikleri

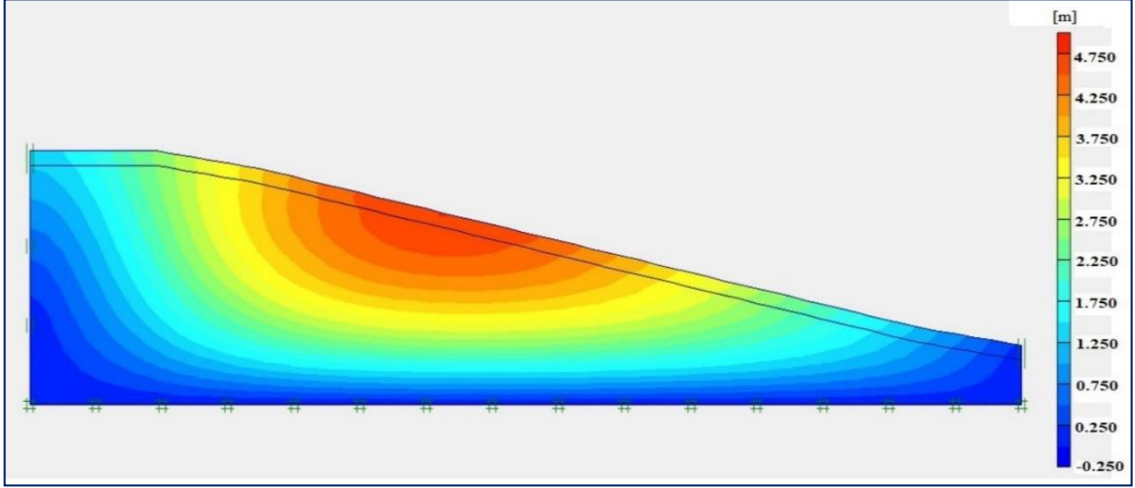
Malzeme	Litoloji	Malzeme Modeli	Parametreler	Değerler (Kil/Sert Kil)
Kil		Mohr-Coulomb Model (MCM)	İçsel sürtünme açısı (ϕ^o)	3.00
				3.00
Sert Kil		Mohr-Coulomb Model (MCM)	Birim hacim ağırlığı (γ)	18.8
				18.8
DOĞAL DURUM			Doygun birim hacim ağırlığı(γ_{sat})	19.7
				19.7
			Kohezyon (c) (kN/m ²)	69
				75
			Poisson oranı (ν)	0.38
				0.38
			Elastisitemodülü (E) (kN/m ²)	2.863*10 ⁵
				8.276*10 ⁵



Şekil 4.2. Çalışma sahası-1 doğal durumda geometri modeli



Şekil 4.3. Çalışma sahası-1 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli



Şekil 4.4. Çalışma sahası-1 doğal durumda toplam deformasyon ve yatay deformasyon modeli

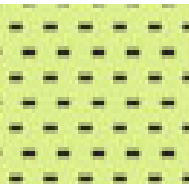
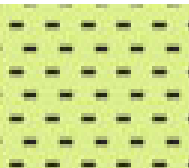
4.1.2. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 1. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler

Çalışma sahası-1 için, farklı derinliklerde 2 tabaka halinde bulunan zemin kesitinin modelleri PLAXIS (2D) programı ile oluşturulmuştur. Aynı saha için üç farklı alternatif kesit çalışması yapılarak ve her bir kesit için 5 m ve 10 m boyutlarında olmak üzere istinat duvarları tasarlanmıştır. Bu kesite göre tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarları; tasarlanan zemin modelinin hesap aşamalarındaki tüm durumlara göre toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon ve efektif gerilme değişimleri incelenerek yorumlanmıştır.

4.1.2.1. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

Çalışma sahası-1 kapsamında tasarlanan 1.alternatif çalışmada 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait modeller ve analizler gerçekleştirilmiştir. Burada, zeminin doğal halindeki durumu ve istinat duvarının yapıldığı ana kadar herbir inşaat hesap aşaması için zeminin davranışı incelenmiştir. Bu kesite göre tasarlanan 5 m istinat duvarı ve zemin kesitinin toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon ve efektif gerilme değişimleri inşaat aşamalarına ve modelin son durumuna göre incelenerek yorumlanmıştır. 1.alternatif çalışmaya ait 5 metre istinat duvarı tasarımında PLAXIS 2D programında kullanılan zeminin malzeme özellikleri Çizelge 4.2’de, istinat duvarı parametreleri ise Çizelge 4.3’te verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda Şekil 4.5’te geometri modeli ve Şekil 4.6’da ise 15 düğümlü sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışma sahası-1 zemin parametrelerinin özellikleri

Malzeme	Litoloji	Malzeme Modeli	Parametreler	Değerler (Dolgu/Kil/ Sert Kil)
Dolgu		Mohr-Coulomb Model (MCM)	İçsel sürtünme açısı (ϕ^o)	3
				3
Kil		Mohr-Coulomb Model (MCM)		3
Sert Kil		Mohr-Coulomb Model (MCM)	Birim hacim ağırlığı (γ)	18.8
				18.8
				18.8
				19.7

	Doygun birim hacim ağırlığı(γ_{sat})	19.7
	Kohezyon (c) (kN/m^2)	69
	Poisson oranı (ν)	0.38
	Elastisite modülü (E) (kN/m^2)	$2.863 \cdot 10^5$
		$2.863 \cdot 10^5$
		$8.276 \cdot 10^5$

Çizelge 4.3. Çalışma sahası-1, istinat duvarı parametreleri (5 metre)

İstinat duvarı	EA (Eksenel rijitlik) (Axialstiffness)(kN/m)	EI (Eğilme rijitliği) (Bendingstiffness) (kNm^2/m)	Type	Poisson oranı (ν)	Ağırlık (W)
İstinat temel	5.4×10^7	1.125×10^6	Elastic	0.20	3.6
İstinat gövde	6×10^7	1.25×10^8	Elastic	0.20	5.0

$$EA = E \times h \times b$$

$$EI = E \times (b \times h^3 / 12)$$

$$E = 3 \times 10^7 \text{ kN/m}^2 \text{ (TS500' e göre C25 betonun elastisite modülü)}$$

Temel;

$$A_{\text{Temel}} = b \times h = 3.6 \times 0.5 = 1.80 \text{ m}^2$$

$$EA_{\text{Temel}} = 1.80 \times 3 \times 10^7 = 5.4 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

$$I_{\text{Temel}} = (b \times h^3 / 12) = (3.6 \times 0.5^3 / 12) = 0.0375 \text{ m}^4/\text{m}$$

$$EI_{\text{Temel}} = 0.0375 \times 3 \times 10^7 = 1.125 \times 10^6 \text{ kNm}^2/\text{m}$$

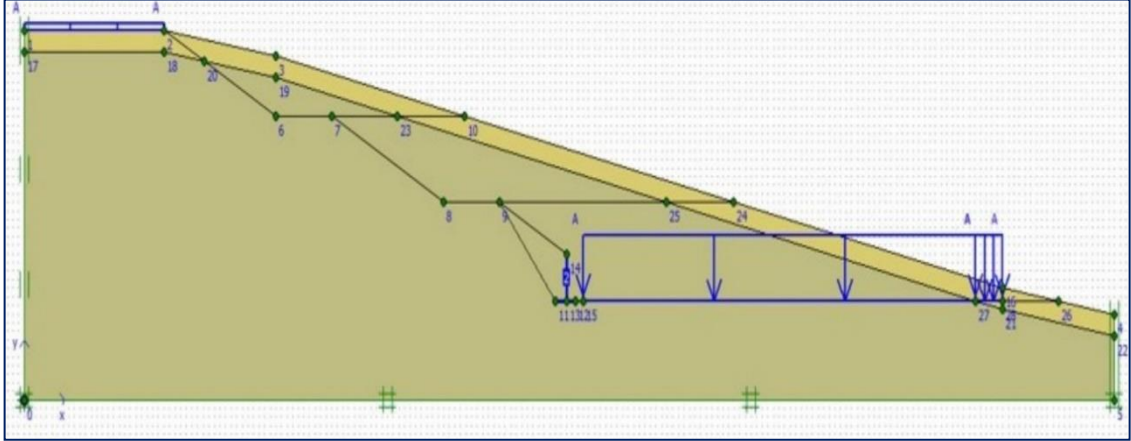
Gövde;

$$A_{\text{Gövde}} = b \times h = 0.4 \times 5 = 2 \text{ m}^2$$

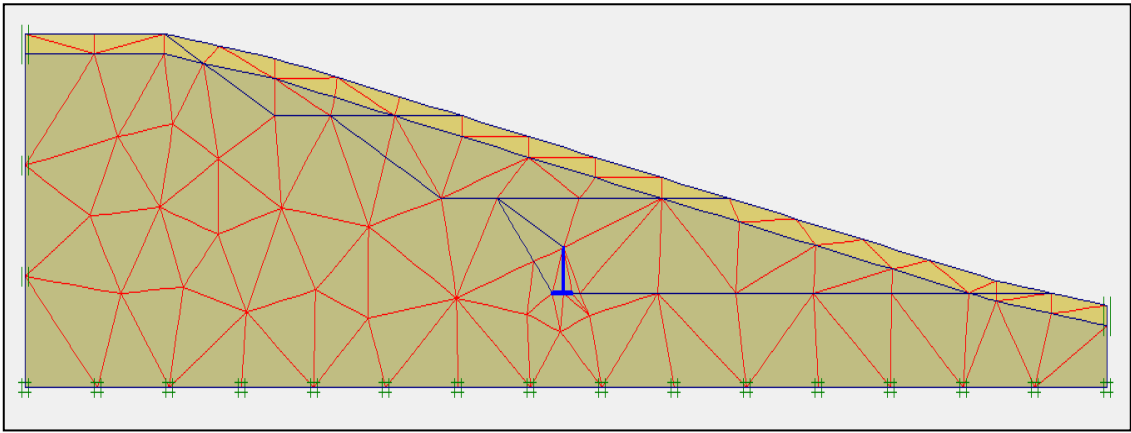
$$EA_{\text{Gövde}} = 2 \times 3 \times 10^7 = 6 \times 10^7 \text{ kN/m}$$

$$I_{\text{Gövde}} = (b \times h^3 / 12) = (0.4 \times 5^3 / 12) = 4.167 \text{ m}^4/\text{m}$$

$$EI_{\text{Gövde}} = 4.167 \times 3 \times 10^7 = 1.25 \times 10^8 \text{ kNm}^2/\text{m}$$



Şekil 4.5. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli

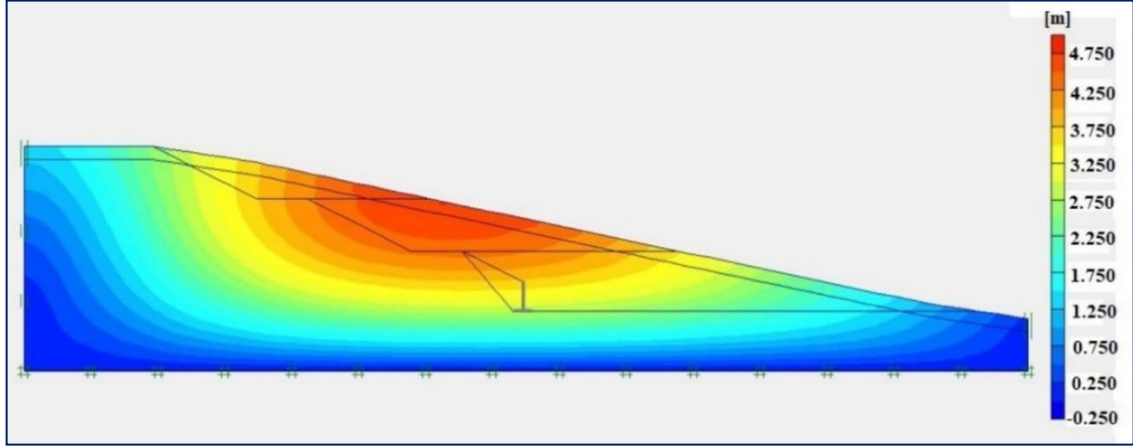


Şekil 4.6. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli

4.1.2.1.1. 5 metre istinat duvarında doğal zemin durumu için yapılan analizler

Referans değerlere göre doğal durumdaki zeminde hesaplanan toplam deplasman değeri 4.75×10^{-3} m (Şekil 4.7), yatay deplasman değeri 4.75×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 1.44×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Toplam deplasmanın küçük bir değer olması, zeminin doğal durumunda belirgin bir deformasyona maruz kalmadığını göstermektedir. Yatay deplasmanın toplam deplasmanla aynı değerde olması ise

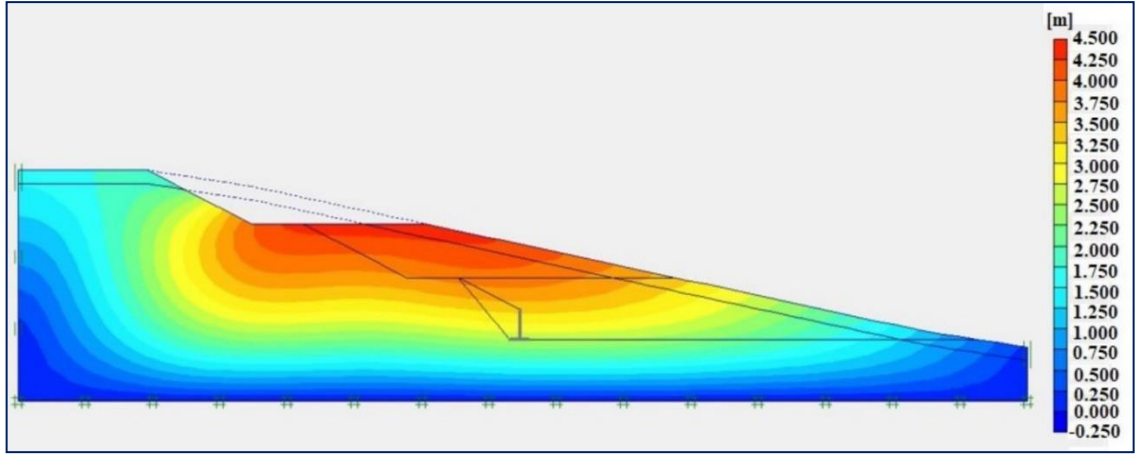
deformasyonun büyük ölçüde yatay yönlü olduğunu göstermektedir. Düşey deformasyon değerinin çok daha düşük olması zeminin taşıma kapasitesinin yüksek olduğunu göstermektedir. Toplam ve yatay deformasyonlar; eğimli arazinin orta kısımlarında en yüksek değere ulaşırken düşey deformasyonun en büyük değerinin ise arazinin tepe noktasında olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. 1. Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait doğal durumda toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.2. 5 metre istinat duvarında Kazı-1 aşamasında yapılan analizler

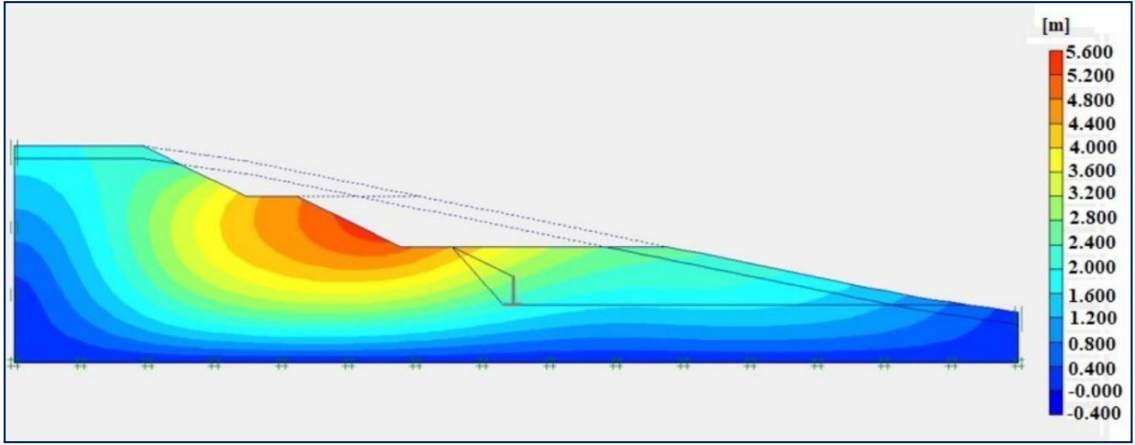
Çalışma sahası-1, 1. alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının Kazı-1 inşaat aşamasında, PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 4.45×10^{-3} m (Şekil 4.8), yatay deplasman değeri 4.45×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 1.87×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Kazı-1 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerleri, zeminin doğal durumuyla karşılaştırıldığında; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenmiştir. Hesaplanan düşey deformasyon değerinde ise bir miktar artış olduğu belirlenmiştir. Plaxis (2D) programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen modellere göre, toplam deformasyon ve yatay deformasyonların şevli bölgenin orta kesimlerinde en yüksek değerlerde olduğu, düşey deformasyonunun ise kazı bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.8. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-1 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.3. 5 metre istinat duvarında Kazı-2 aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının Kazı-2 inşaat aşamasında PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 5.39×10^{-3} m (Şekil 4.9), yatay deplasman değeri 4.62×10^{-3} m, düşey deplasman değeri ise 2.94×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Kazı-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerleri zeminin doğal durumuyla karşılaştırıldığında, yatay deformasyon değerlerinde bir miktar azalma gözlemlenirken, toplam deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinde ise bir miktar artış olduğu görülmüştür. Kazı-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerleri, bir önceki aşama olan Kazı-1 inşaat aşaması ile karşılaştırıldığında, toplam deformasyon, yatay deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Plaxis (2D) programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen modellere göre, toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu yerin Kazı-2’de bulunan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun ise Kazı-2 bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

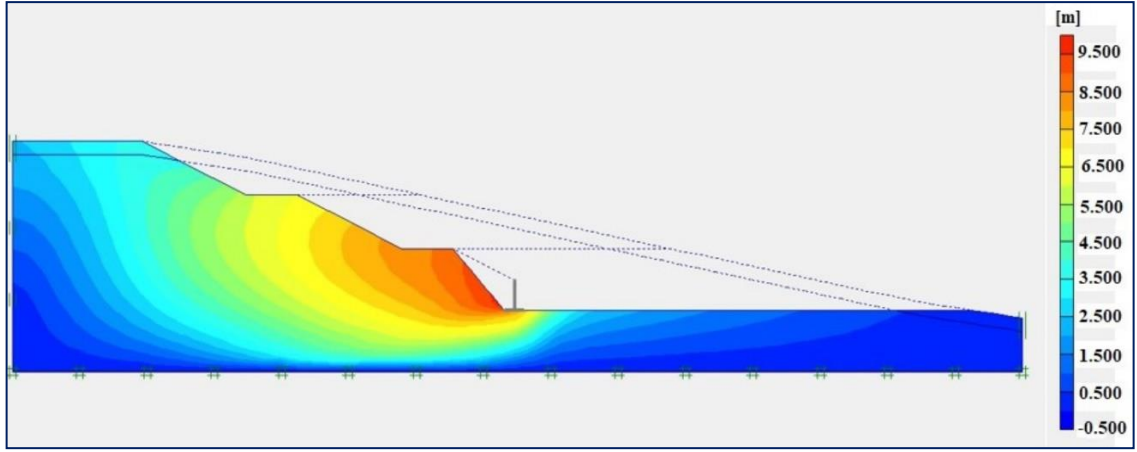


Şekil 4.9. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-2 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.4. 5 metre istinat duvarında Kazı-3 aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının Kazı-3 inşaat aşamasında PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 9.85×10^{-3} m (Şekil 4.10), yatay deplasman değeri 9.12×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 6.55×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır.

Kazı-3 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin ise yaklaşık 4,5 kat arttığı görülmektedir. Kazı-3 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyonun ve gerilme değerlerinin bir önceki inşaat aşaması olan Kazı-2 inşaat aşaması ile karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon, yatay deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu bölgenin Kazı-3 bölgesinde kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun Kazı-3 bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmektedir.

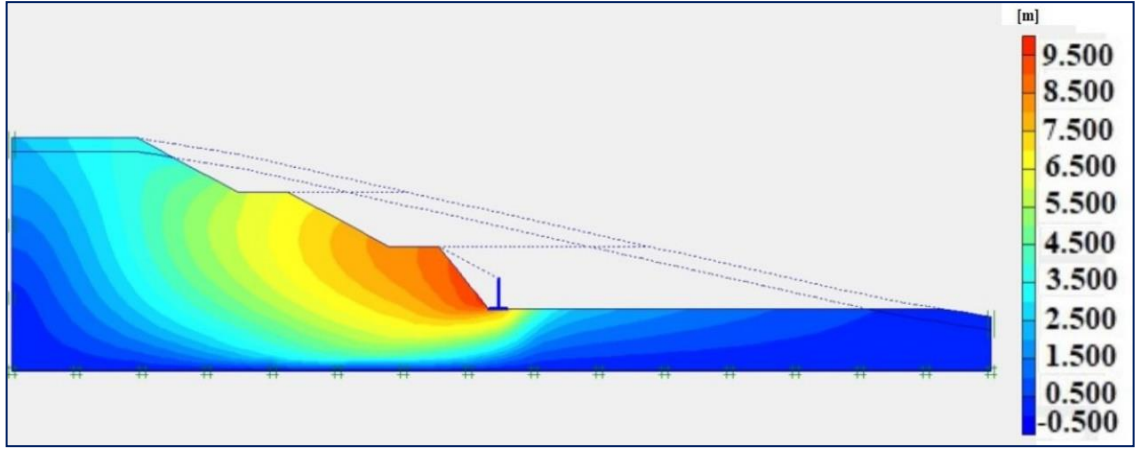


Şekil 4.10. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait kazı-3 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.5. 5 metre istinat duvarında istinat duvarı hesap aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının, istinat duvarı inşaat aşamasında PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde hesaplanan toplam deplasman değeri 9.86×10^{-3} m (Şekil 4.11), yatay deplasman değeri 9.14×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 6.50×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır.

İstinat duvarı inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin ise yaklaşık 4.5 kat arttığı görülmektedir. İstinat duvarı inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin bir önceki inşaat aşaması olan Kazı-3 inşaat aşaması ile karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon, yatay deformasyon, ve düşey deformasyon değerlerinin neredeyse aynı olduğu gözlemlenmiştir.Yapılan incelemeler neticesinde toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu bölgenin Kazı-3 bölgesinde kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun da istinat duvarının yapıldığı Kazı-3 bölgesinde en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir.

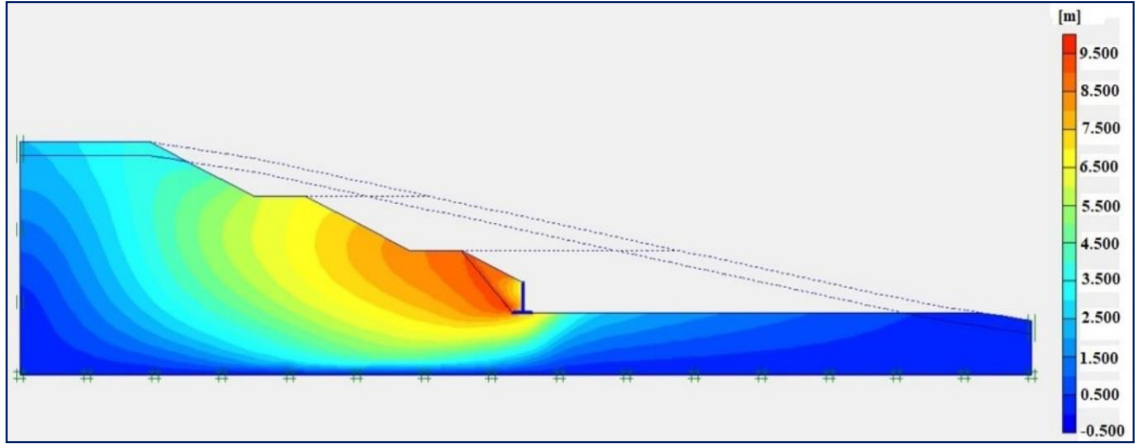


Şekil 4.11. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait duvar aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.6. 5 metre istinat duvarında dolgu aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının dolgu inşaat aşamasında durumunun PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde hesaplanan toplam deplasman değeri 9.72×10^{-3} m (Şekil 4.12), yatay deplasman değeri 9.26×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 5.91×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır.

Dolgu inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin yaklaşık 4 kat arttığı görülmektedir. Dolgu inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin bir önceki inşaat aşaması olan İstinat Duvarı inşaat aşaması ile karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinde bir miktar azalma olduğu, yatay deplasman değerinin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu yerin Kazı-3 bölgesinde kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun istinat duvarı tabanı ve dolgu bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

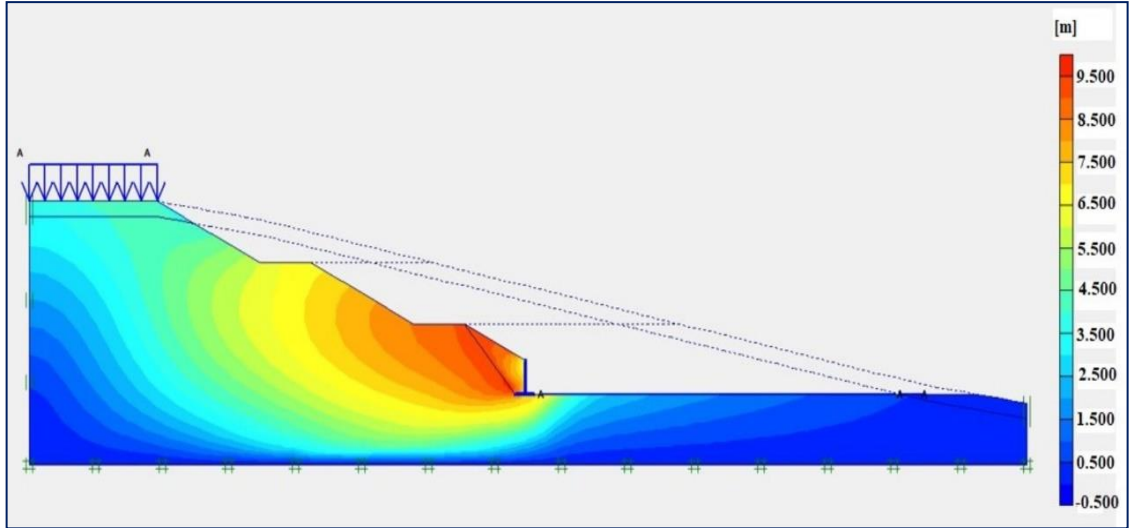


Şekil 4.12. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait dolgu aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.7. 5 metre istinat duvarında Yük-1 aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının Yük-1 inşaat aşaması durumunda PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde hesaplanan toplam deplasman değeri 9.81×10^{-3} m (Şekil 4.13), yatay deplasman değeri 9.36×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 5.90×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır

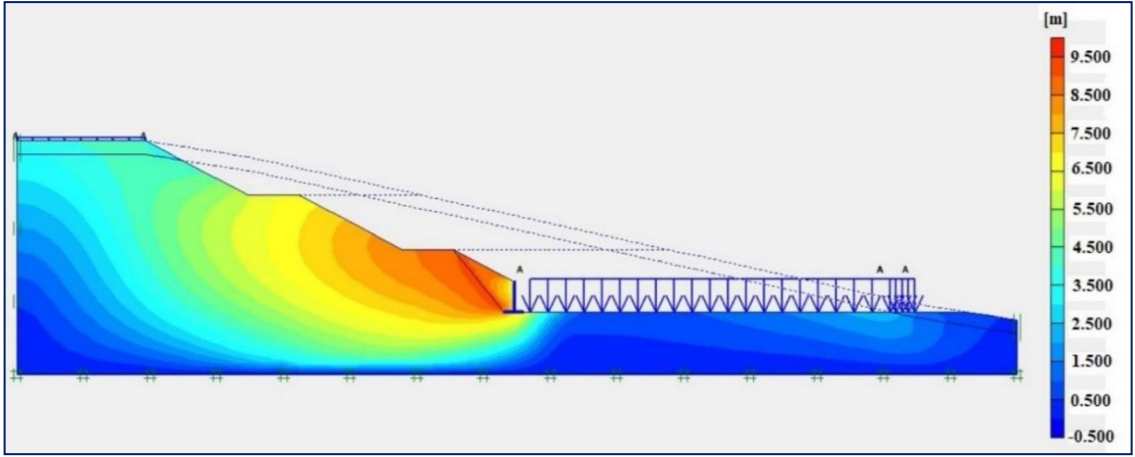
Yük-1 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin yaklaşık 4 kat artışın olduğu gözlemlenmiştir. Yük-1 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin bir önceki inşaat aşaması olan dolgu inşaat aşaması ile karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde bir miktar artış olduğu, düşey deplasman değerinin aynı olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu yerin Kazı-3 bölgesinde kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun istinat duvarı tabanı ve dolgu bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.



Şekil 4.13. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yük-1 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.8. 5 metre istinat duvarında Yük-2 aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının Yük-2 inşaat aşaması olan bir başka deyişle inşaatın tamamlanma aşaması durumunda PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde toplam deplasman değeri 9.50×10^{-3} m (Şekil 4.14), yatay deplasman değeri 9.05×10^{-3} m, düşey deplasman değeri 5.96×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Yük-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık iki kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin yaklaşık 4 kat artışın olduğu tespit edilmiştir. Yük-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerleri Yük-1 inşaat aşaması ile karşılaştırıldığında, toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde bir miktar azalma olduğu, düşey deplasman değerlerinin de aynı olduğu belirlenmiştir. Plaxis (2D) programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen modellere göre, toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu bölgenin Kazı-2 ve Kazı-3 arasında kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun ise istinat duvarı tabanı ve dolgu bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

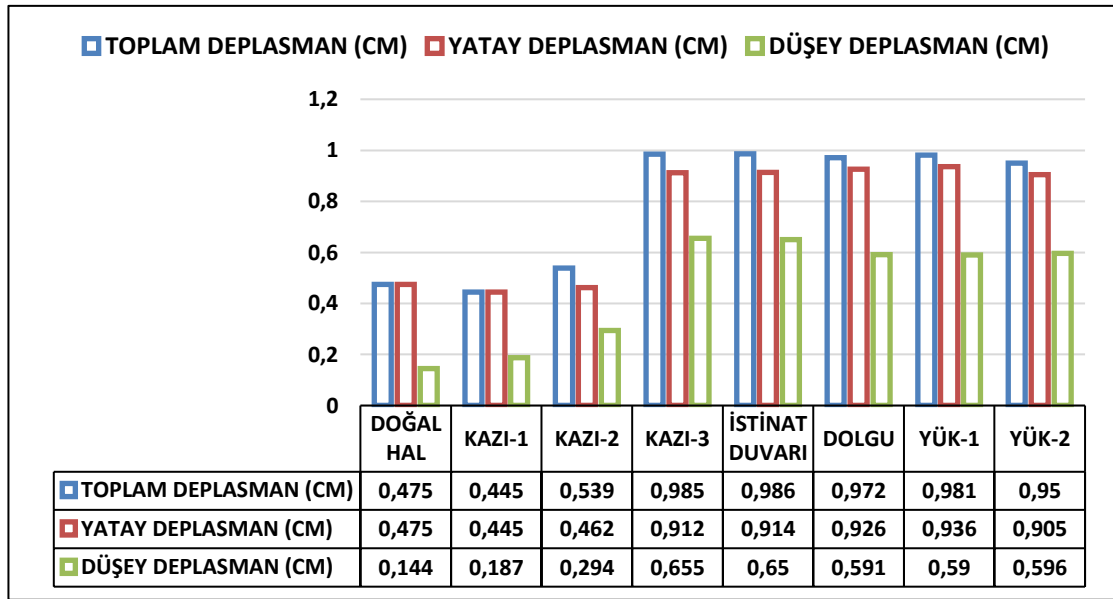


Şekil 4.14. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yük-2 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.1.9. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarının; toplam, yatay ve düşey deplasman değişimleri incelendiğinde, Kazı-3, İstinat duvarı, Dolgu, Yük-1 ve Yük-2 inşaat aşamalarında en yüksek değerlerde olduğu görülmüştür (Şekil 4.15). Kazı-3 inşaat aşamasında tüm değerlerde belirgin bir artışın meydana geldiği, toplam ve yatay deplasmanların yaklaşık iki kat arttığı, düşey deplasmanın ise 4.5 kat civarında arttığı görülmüştür. Son kazı aşamasındaki şev eğiminin diğer şev eğimlerine göre daha fazla olduğu dolayısıyla Kazı-3 inşaat aşamasındaki deplasman değişimlerin fazla miktarda olduğu tespit edilmiştir.

Toplam deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Kazı-3 ve İstinat duvarı aşaması olmakla birlikte 0.985-0.986 cm ve en düşük toplam deplasman değeri ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olarak hesaplanmıştır. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Yük-1 olmakla birlikte 0.936 cm ve en düşük yatay deplasman değeri ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olarak hesaplanmıştır. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Kazı-3 ve İstinat duvarı aşaması olmakla birlikte 0.655 cm ve en düşük düşey deplasman değerinin ise doğal haldeki zemin durumunda 0.144 cm olarak hesaplanmıştır.



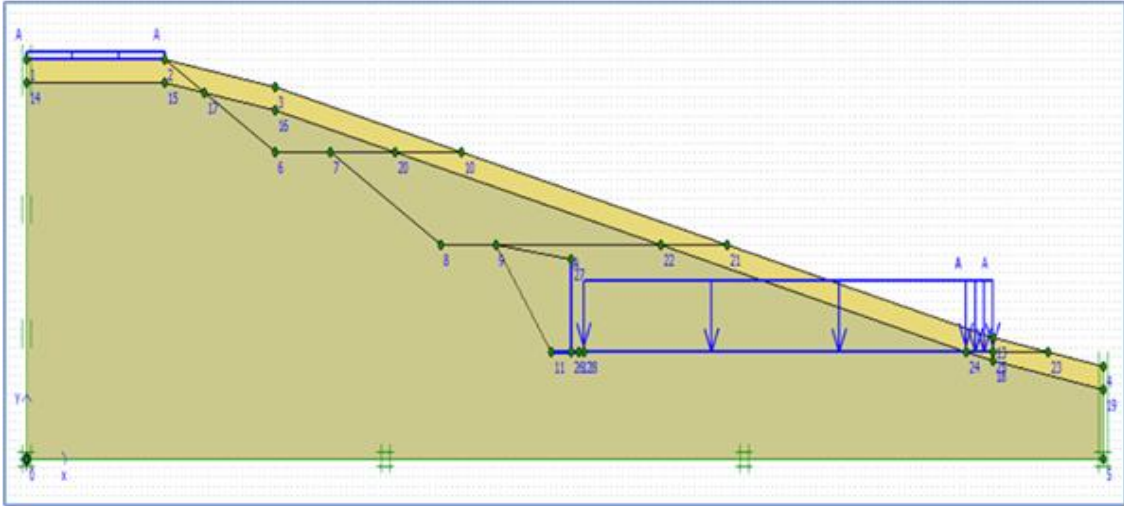
Şekil 4.15 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.2.2. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

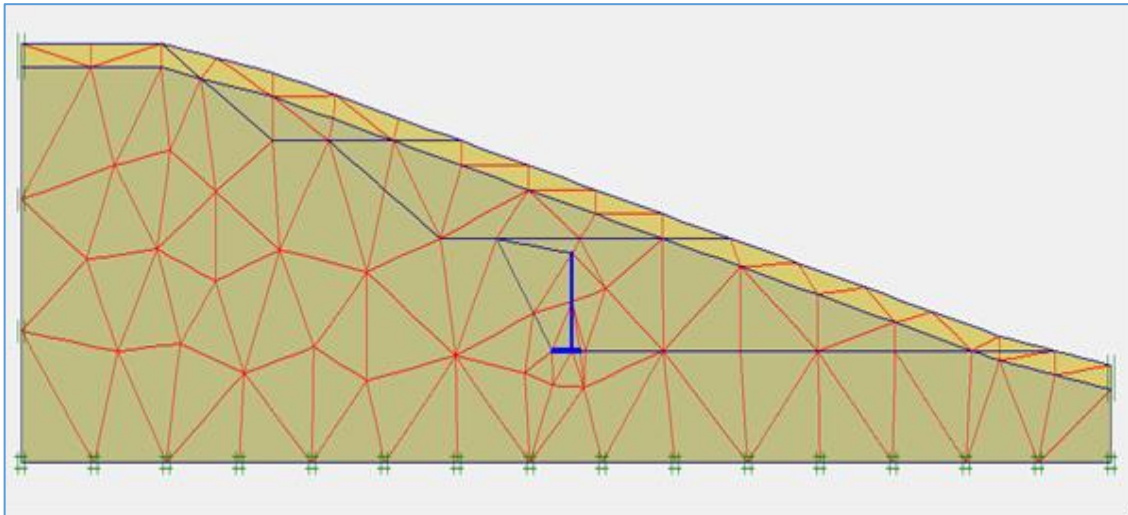
Çalışma sahası-1 için tasarlanan 1.alternatif çalışmaya ait 10 metre istinat duvarı tasarımında PLAXIS 2D programında kullanılan zeminin malzeme özellikleri Çizelge 4.2’de, istinat duvarı parametreleri ise Çizelge 4.4’te verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 4.16’da geometri modeli ve Şekil 4.17’de ise sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çalışma sahası-1, istinat duvarı parametreleri (10 metre)

İstinat duvarı	EA (Eksenelrijitlik) (Axialstiffness) (kN/m)	EI (Eğilme rijitliği) (Bendingstiffness) (kNm ² /m)	Type	Poisson oranı (ν)	Ağırlık (W)
İstinat temel	$7.5 \cdot 10^7$	$1.56 \cdot 10^6$	Elastic	0.25	5.0
İstinat gövde	$1.282 \cdot 10^8$	$9.645 \cdot 10^8$	Elastic	0.25	10.0



Şekil 4.16. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait geometri modeli

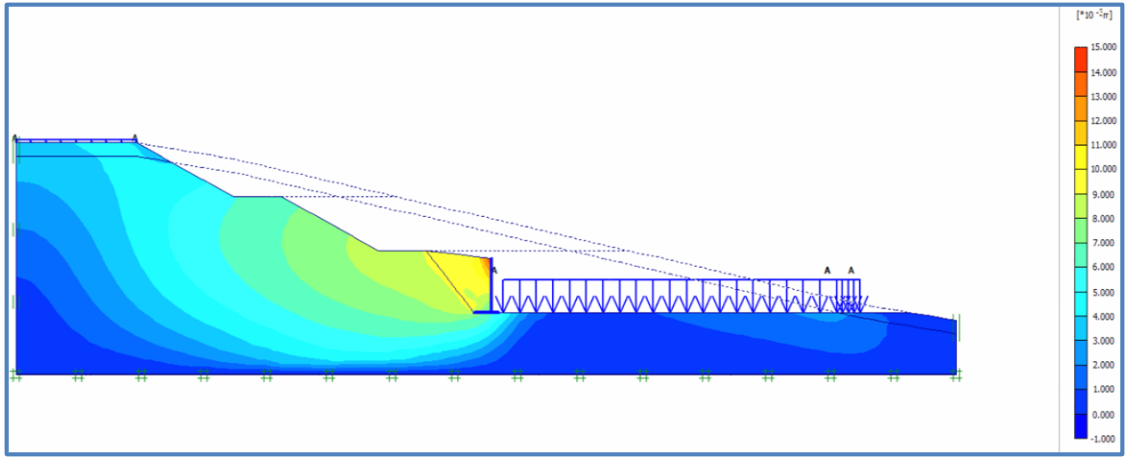


Şekil 4.17. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli

4.1.2.2.1. 10 metre istinat duvarında Yük-2 aşamasında yapılan analizler

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 metre istinat duvarının Yük-2 inşaat aşaması durumunda PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 14.43×10^{-3} m (Şekil 4.18), yatay deplasman değeri 13.77×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri ise 5.14×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Yük-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde yaklaşık 3 kat bir artışın olduğu, düşey deformasyon değerinde yaklaşık 3.5 kat artış

olduğu belirlenmiştir. Yük-2 inşaat aşamasında hesaplanan deformasyon değerlerinin bir önceki inşaat aşaması olan Yük-1 inşaat aşaması ile karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon, yatay deformasyon değerlerinde bir miktar artış olduğu, düşey deformasyon değerlerinde yaklaşık aynı değerlerde olduğu gözlemlenmiştir. Plaxis (2D) programı ile yapılan analizler sonucunda elde edilen modellere göre, toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu bölgenin Kazı-2 ve Kazı-3 arasında kalan şevli bölge olduğu, düşey deformasyonun ise istinat duvarı tabanı ve dolgu bölgesinde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

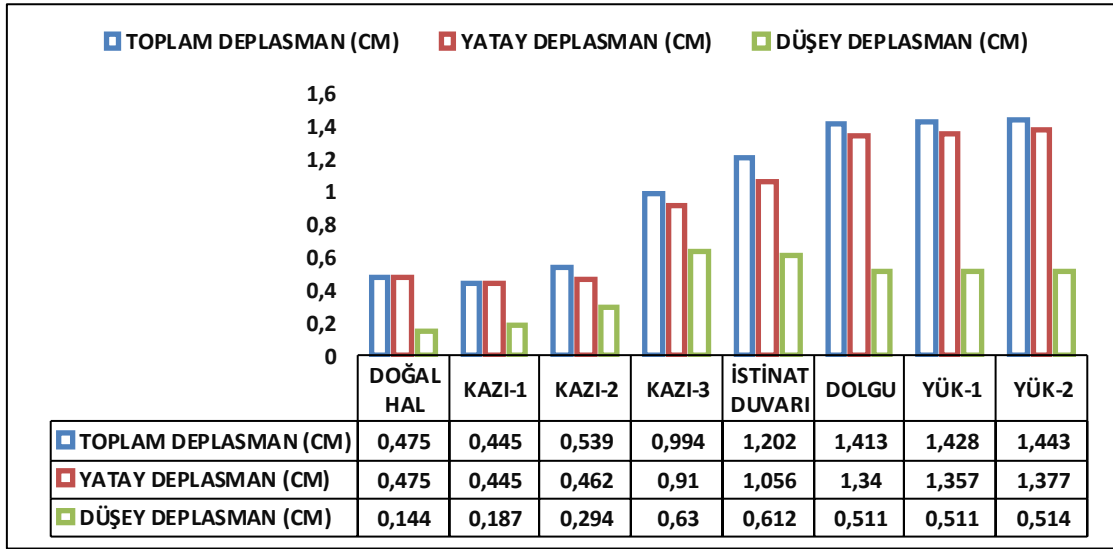


Şekil 4.18. 2. Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait yük-2 aşamasında toplam deformasyon modeli

4.1.2.2.2. Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 10 metre istinat duvarının; toplam ve yatay deplasman değişimleri incelendiğinde, Dolgu, Yük-1 ve Yük-2 inşaat aşamalarında en yüksek değerlerde olduğu görülmüştür. Düşey deplasman değişimleri incelendiğinde ise Kazı-3 ve İstinat Duvarı inşaat aşamalarında en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. (Şekil 4.19). Kazı-3 inşaat aşamasında tüm değerlerde gözle görülür bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Toplam ve yatay deplasmanların yaklaşık iki kat arttığı, düşey deplasmanın yaklaşık 4.4 kat civarında arttığı görülmüştür. Son kazı aşamasındaki şev eğiminin diğer şev eğimlerine göre daha fazla olduğu bu yüzden Kazı-3 inşaat aşamasındaki deplasmanlardaki değişimlerin fazla miktarda olduğu görülmektedir. Deplasmanın en yüksek değerlerinin Yük-2 inşaat aşaması olan bir başka deyişle inşaatın tamamlandığı son aşamada olduğu görülmektedir. Toplam deplasman

değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Yük-2 yani son aşama olup 1.443 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük toplam deplasman değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olduğu görülmektedir. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Yük-2 aşaması olup 1.377 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük yatay deplasman değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olduğu görülmektedir. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Kazı-3 aşaması olup 0.63 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük düşey deplasman değerinin ise doğal haldeki zeminde 0.144 cm olduğu görülmektedir.



Şekil 4.19. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.2.3. 1. Alternatif çalışma 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarına ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1, 1.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının inşaat aşamasındaki deplasman değişimlerinde (Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Şekil 4.20) toplam deplasman değerlerinin Kazı-3, İstinat Duvarı, Dolgu, Yük-1 ve Yük-2 inşaat aşamalarında arttığı gözlemlenmiştir. Buna paralel olarak yatay deplasman değerlerinin de aynı şekilde artış gösterdiği, ancak düşey deplasmanın daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Son inşaat aşaması olan Yük-2 durumunda; 10 m istinat duvarının toplam ve yatay deplasman değerlerinin 5 m istinat duvarı değerlerine göre daha büyük olduğu, düşey deplasman değerinin ise daha küçük olduğu anlaşılmaktadır. Efektif gerilme değerlerinin ise her iki istinat duvarı tasarımında da neredeyse aynı değerlerde

olduğu görülmektedir. 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının toplam deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait Yük-2 aşaması olup 1.443 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük toplam deplasman değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olduğu görülmektedir. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait Yük-2 aşaması olup 1.377 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük yatay deplasman değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 0.445 cm olduğu görülmektedir. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 5 metrelik istinat duvarına ait Kazı-3 aşaması olup 0.655 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük düşey deplasman değerinin ise doğal haldeki zeminde 0.144 cm olduğu görülmektedir. Efektif gerilmenin en yüksek olduğu inşaat aşaması 5 metrelik istinat duvarına ait Yük-2 aşaması olup 829.17 kN/m² olarak hesaplanmıştır. En düşük efektif gerilme değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 775.58 kN/m² olduğu görülmektedir. Toplam deplasman ve yatay deplasman değerlerinin 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında daha fazla olduğu, düşey deplasman ve efektif gerilme değerlerinin ise 5 metrelik ve 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

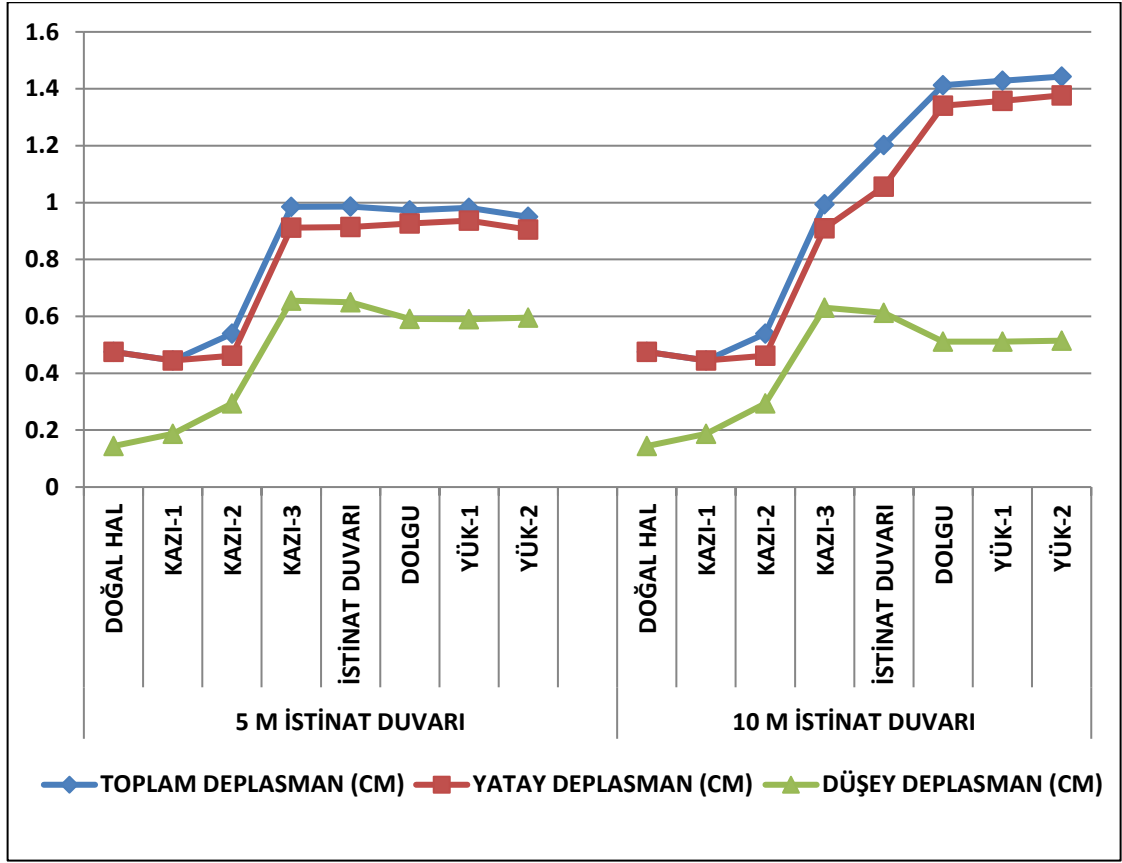
Çizelge 4.5. 1.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m ²)
Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	790.47
Kazı-1	0.445	0.445	0.187	775.58
Kazı-2	0.539	0.462	0.294	779.50
Kazı-3	0.985	0.912	0.655	810.89
İstinat Duvarı	0.986	0.914	0.650	810.97
Dolgu	0.972	0.926	0.591	810.93
Yük-1	0.981	0.936	0.590	829.08
Yük-2	0.950	0.905	0.596	829.17

Çizelge 4.6. 1.Alternatif çalışma, 10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m ²)
Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	790.47
Kazı-1	0.445	0.445	0.187	775.58
Kazı-2	0.539	0.462	0.294	779.50
Kazı-3	0.994	0.910	0.630	810.84
İstinat Duvarı	1.202	1.056	0.612	810.85

Dolgu	1.413	1.340	0.511	810.73
Yük-1	1.428	1.357	0.511	828.68
Yük-2	1.443	1.377	0.514	828.76



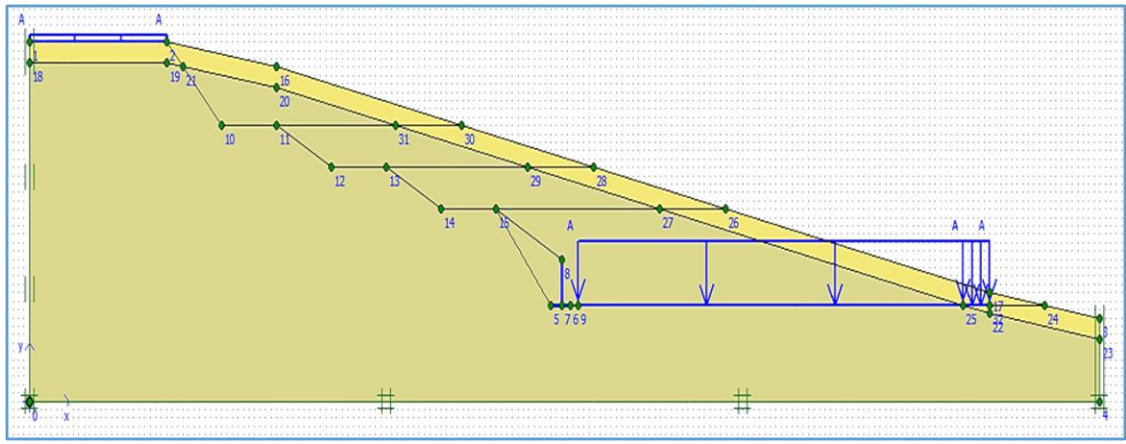
Şekil 4.20. 1.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.3. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 2. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler

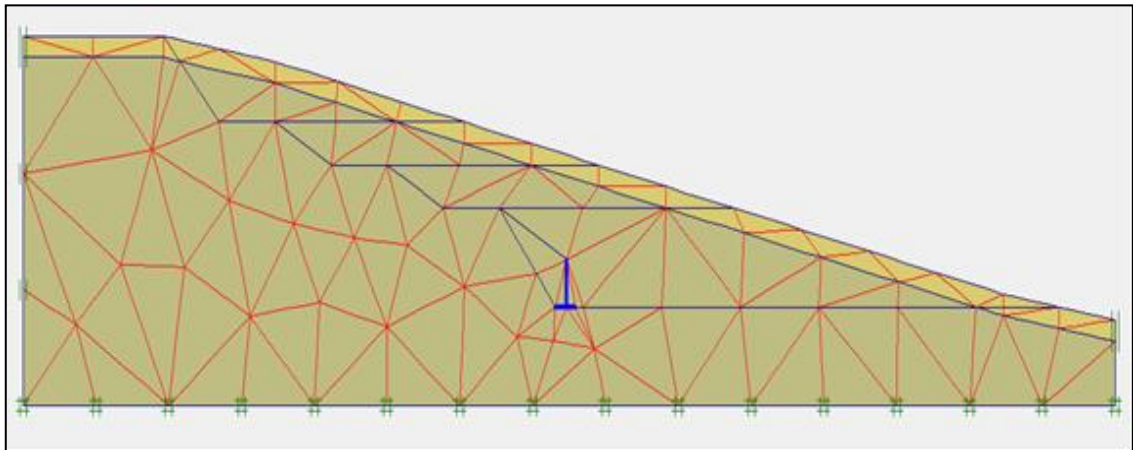
Çalışma sahası-1 için, farklı derinliklerde 2 tabaka halinde bulunan zemin kesitinin modelleri PLAXIS (2D) programı ile oluşturulmuştur. Aynı saha için üç farklı alternatif kesit çalışması yapılarak ve her bir kesit için ayrı ayrı olmak üzere farklı boyutlarda (5m ve 10m) istinat duvarları tasarlanmıştır. Bu kesite göre tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarları; tasarlanan zemin modelinin hesap aşamalarındaki tüm durumlara göre toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon ve efektif gerilme değişimleri incelenerek yorumlanmıştır.

4.1.3.1. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

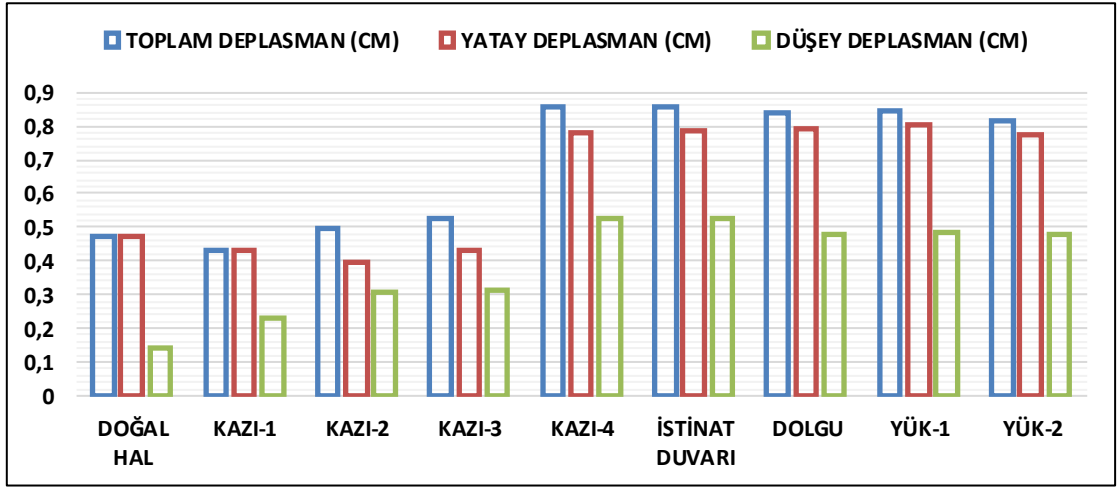
Çalışma sahası-1 kapsamında tasarlanan 2.alternatif çalışmada 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait farklı modeller ve analizler gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 4.21’de geometri modeli ve Şekil 4.22’de ise sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarı inşaat hesap aşamalarında hesaplanan deplasman değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.23’te verilmiştir.



Şekil 4.21. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli



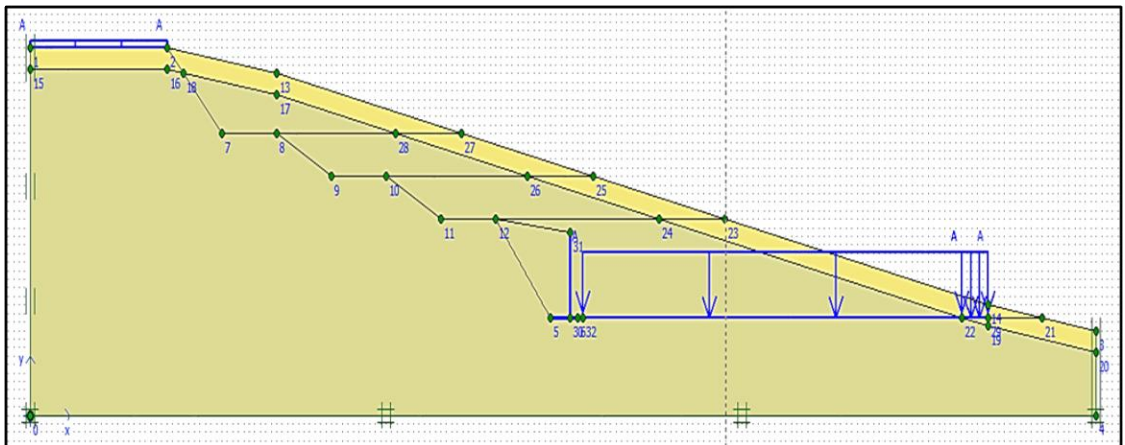
Şekil 4.22. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli



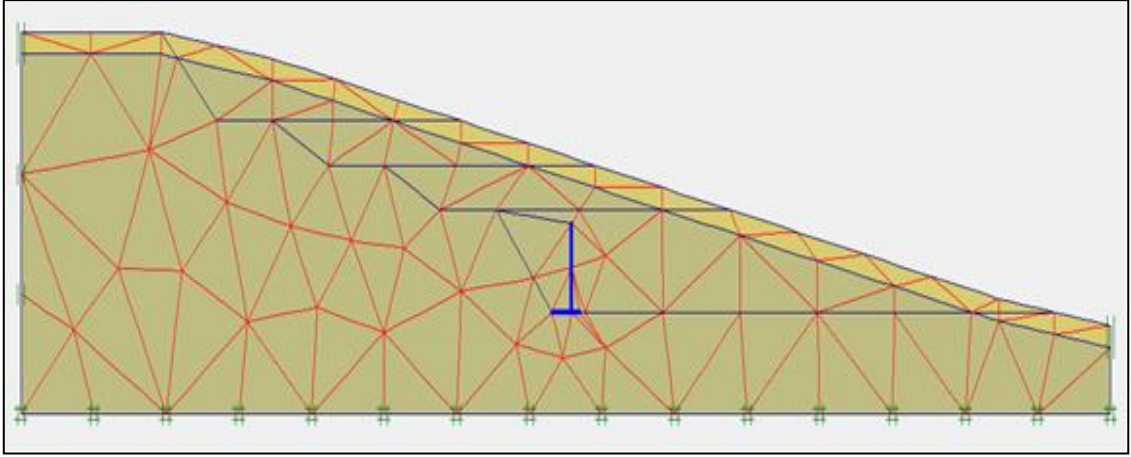
Şekil 4.23. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.3.2. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

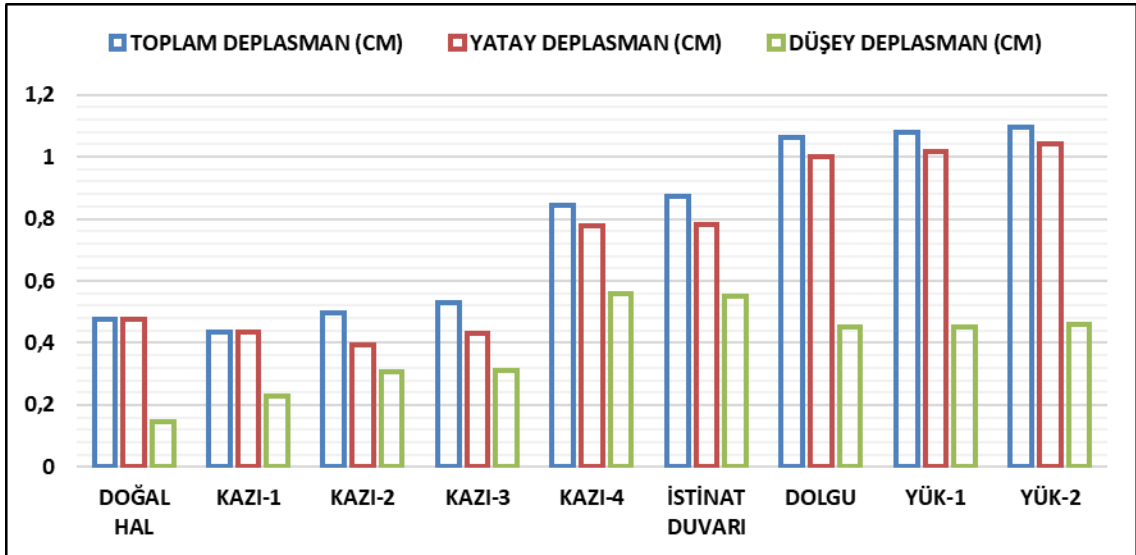
Çalışma sahası-1 kapsamında tasarlanan 2.alternatif çalışmada 10 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait farklı modeller ve analizler gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 4.24'te geometri modeli ve Şekil 4.25'te ise sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 10 metre istinat duvarı inşaat hesap aşamalarında hesaplanan deplasman değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.24. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait geometri modeli



Şekil 4.25. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli



Şekil 4.26. 2.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.3.3. Çalışma sahası-1, 2.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1 için tasarlanan ikinci çalışmada 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının inşaat aşamasındaki deplasman değişimleri (Çizelge 4.7 , Çizelge 4.8 , Şekil 4.27 ve Şekil 4.28) tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarında toplam deplasman değerlerinin kazı-4, istinat duvarı, dolgu, yük-1 ve yük-2 inşaat aşamalarında arttığı gözlemlenmiştir. Buna paralel olarak yatay deplasman değerlerinin de aynı şekilde artış gösterdiği, ancak düşey deplasmanın daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Son inşaat

aşaması olan yük-2 durumunda; 10 m istinat duvarının toplam ve yatay deplasman değerlerinin 5 m istinat duvarı değerlerine göre daha büyük olduğu, düşey deplasman değerinin ise daha küçük olduğu anlaşılmaktadır. Efektif gerilme değerlerinin ise her iki istinat duvarı tasarımında da neredeyse aynı değerlerde olduğu görülmektedir. 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının inşaat aşamasındaki toplam deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait yük-2 aşaması olup 1,094 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük toplam deplasman değerinin ise kazı-1 inşaat aşamasında 0,434 cm olduğu görülmektedir. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait yük-2 aşaması olup 1,04 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük yatay deplasman değerinin ise kazı-2 inşaat aşamasında 0,394 cm olduğu görülmektedir. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait kazı-4 aşaması olup 0,56 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük düşey deplasman değerinin ise doğal haldeki zeminde 0,144 cm olduğu görülmektedir. Efektif gerilmenin en yüksek olduğu inşaat aşaması 5 metrelik istinat duvarına ait yük-1 aşaması olup 808,72 kN/m² olarak hesaplanmıştır. En düşük efektif gerilme değerinin ise kazı-1 inşaat aşamasında 769,34 kN/m² olduğu görülmektedir. Toplam deplasman ve yatay deplasman değerlerinin 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında daha fazla olduğu, düşey deplasman ve efektif gerilme değerlerinin ise 5 metrelik ve 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

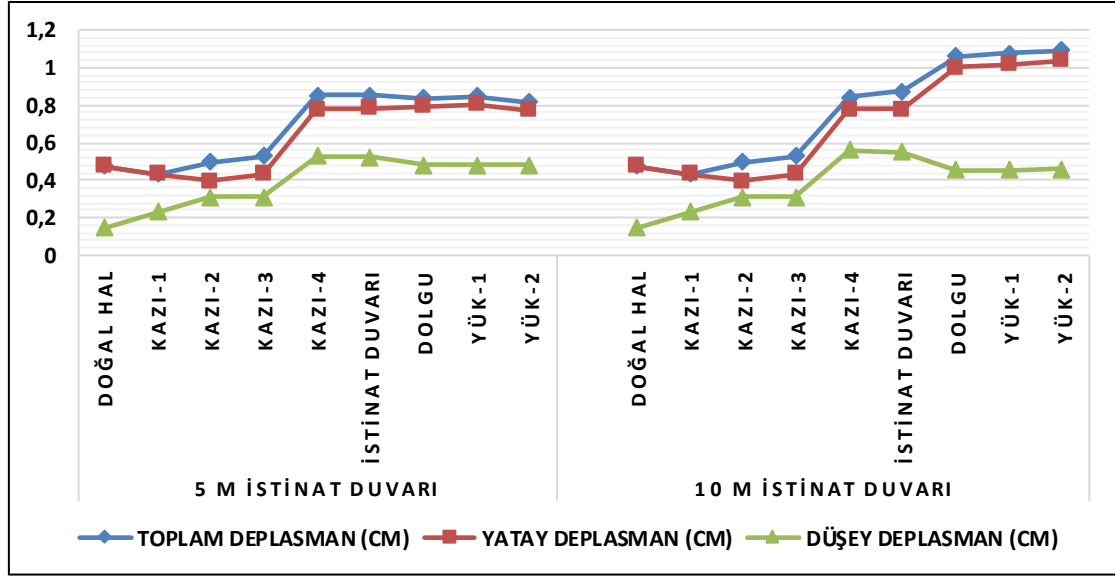
Çizelge 4.7. 2.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m²)
Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	79047
Kazı-1	0.434	0.434	0.228	769.34
Kazı-2	0.497	0.394	0.308	772.02
Kazı-3	0.528	0.430	0.310	773.43
Kazı-4	0.854	0.781	0.528	786.52
İstinat Duvarı	0.854	0.783	0.524	786.67
Dolgu	0.839	0.794	0.480	786.84
Yük-1	0.847	0.804	0.482	808.72
Yük-2	0.815	0.772	0.481	808.68

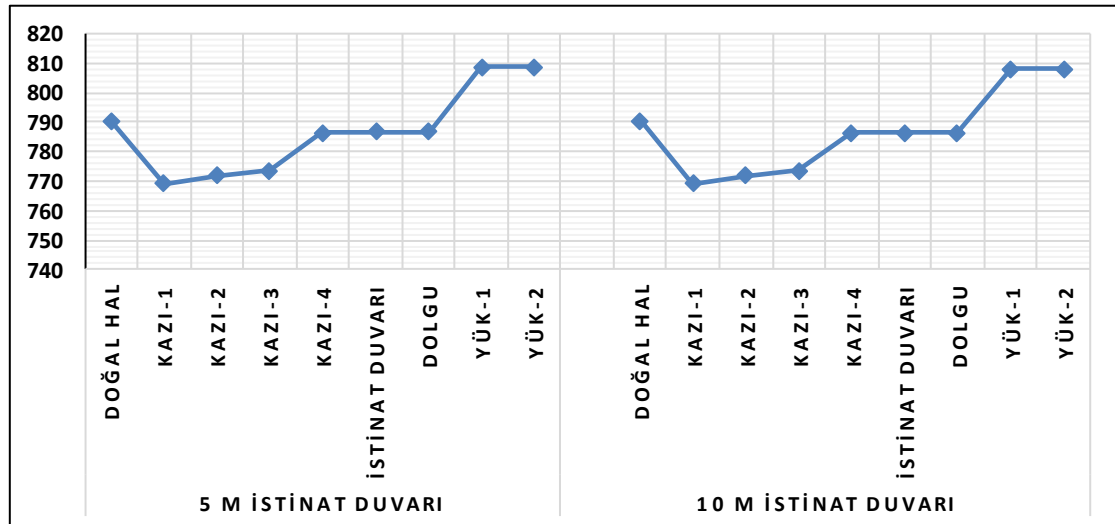
Çizelge 4.8. 2.Alternatif çalışma,10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m²)
-------------------------------	------------------------------	-----------------------------	-----------------------------	---

Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	790.47
Kazı-1	0.434	0.434	0.228	769.34
Kazı-2	0.497	0.394	0.308	772.02
Kazı-3	0.528	0.430	0.310	773.43
Kazı-4	0.844	0.779	0.560	786.27
İstinat Duvarı	0.872	0.780	0.551	786.41
Dolgu	1.062	1.001	0.453	786.51
Yük-1	1.077	1.017	0.453	808.13
Yük-2	1.094	1.040	0.459	808.07



Şekil 4.27. 2. Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

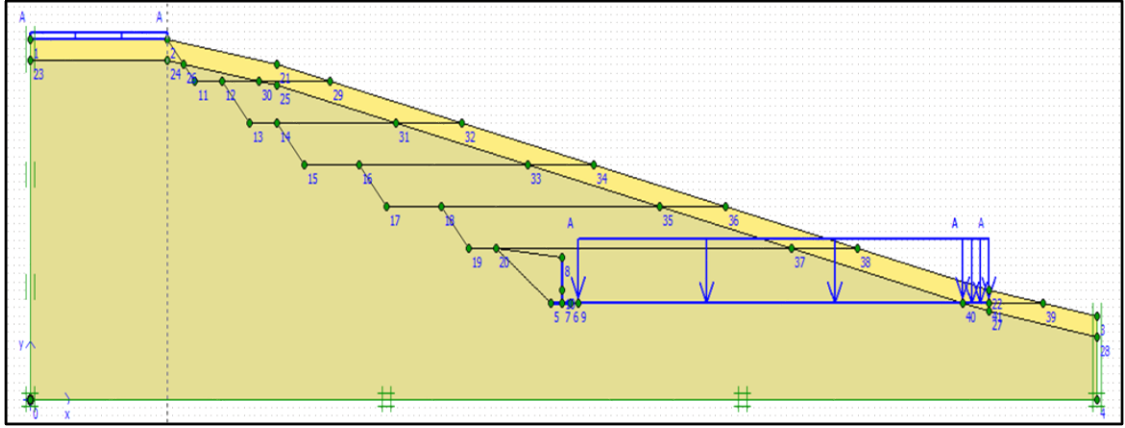


Şekil 4.28. 2. Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki efektif gerilme değişimleri grafiği

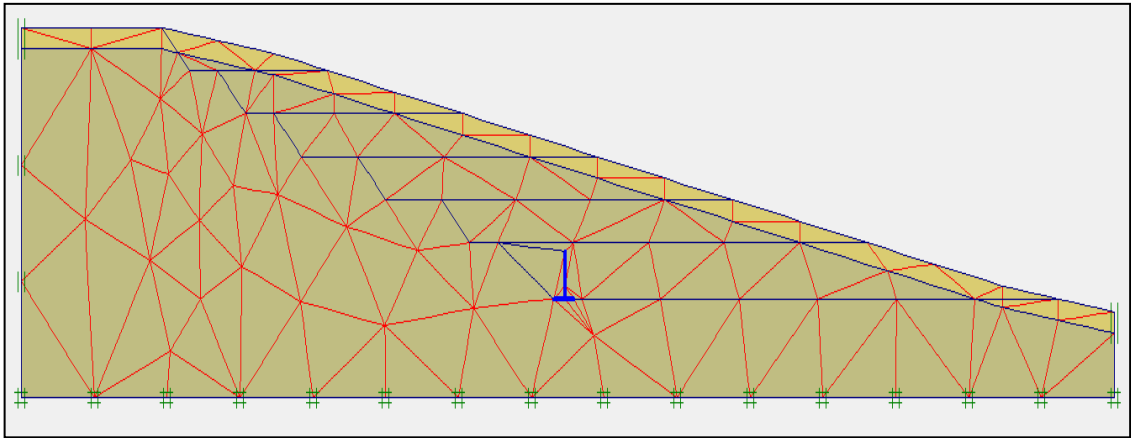
4.1.4. Çalışma sahası-1 için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait 2. alternatif çalışmadan elde edilen modeller ve analizler

4.1.4.1. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

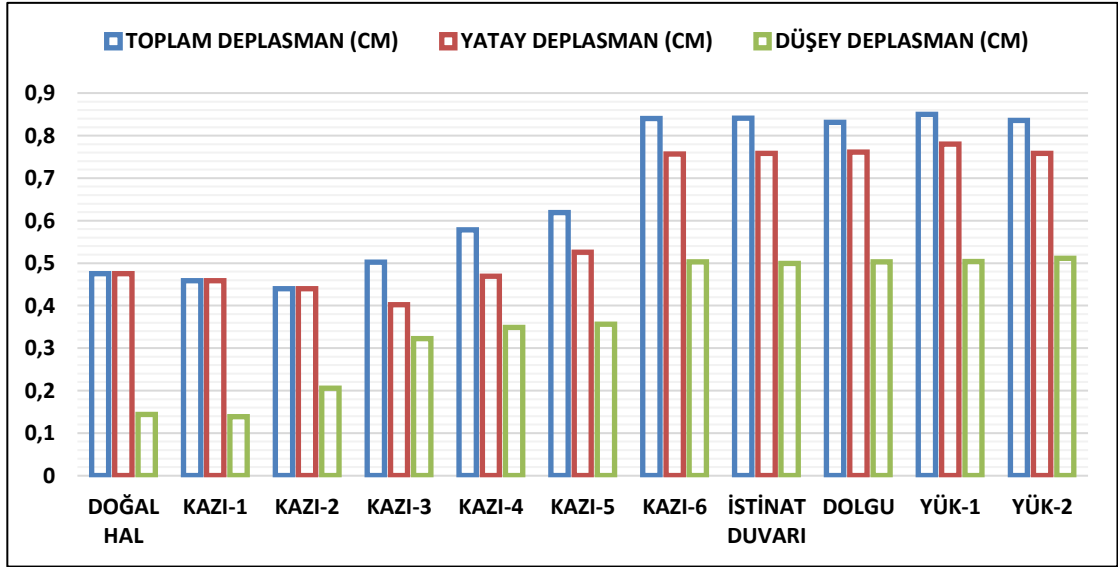
Çalışma sahası-1 kapsamında tasarlanan 3.alternatif çalışmada 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait farklı modeller ve analizler gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 4.29'da geometri modeli ve Şekil 4.30'da ise sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre istinat duvarı inşaat hesap aşamalarında hesaplanan deplasman değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.29. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli



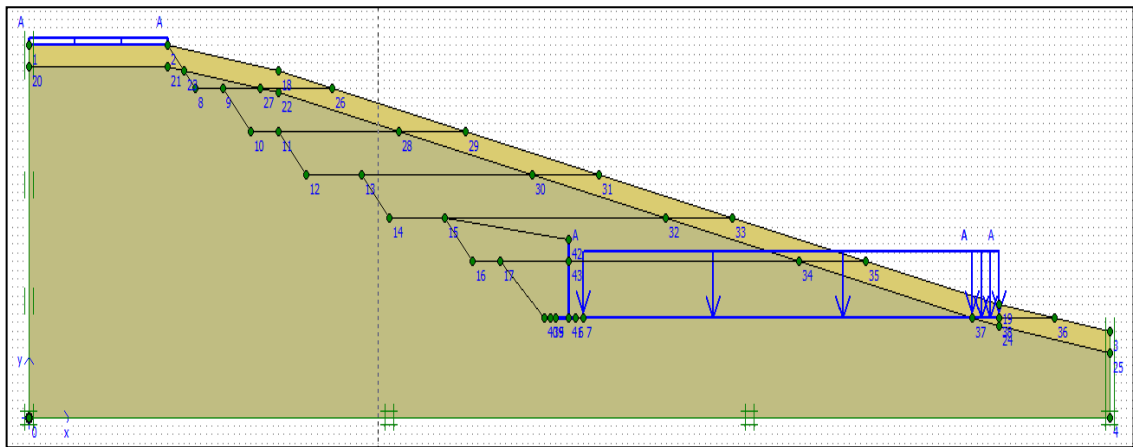
Şekil 4.30. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli



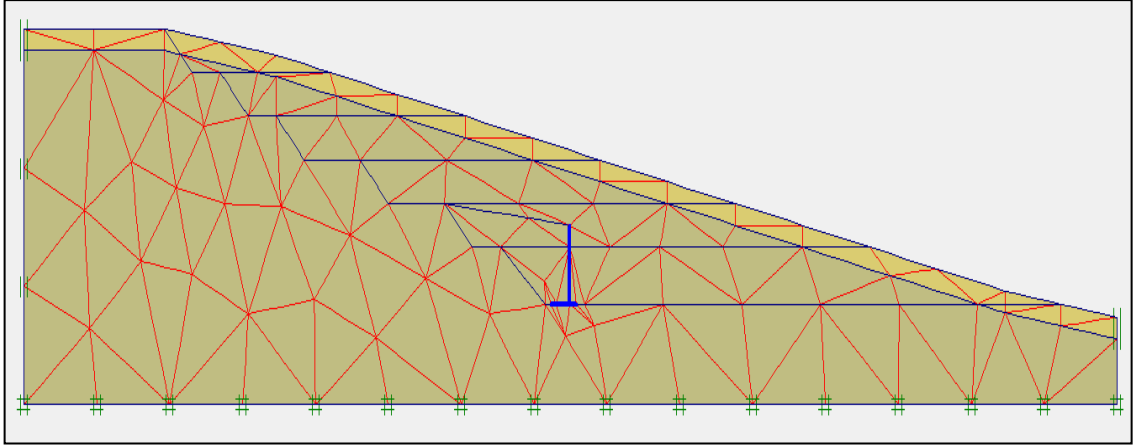
Şekil 4.31. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.4.2. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

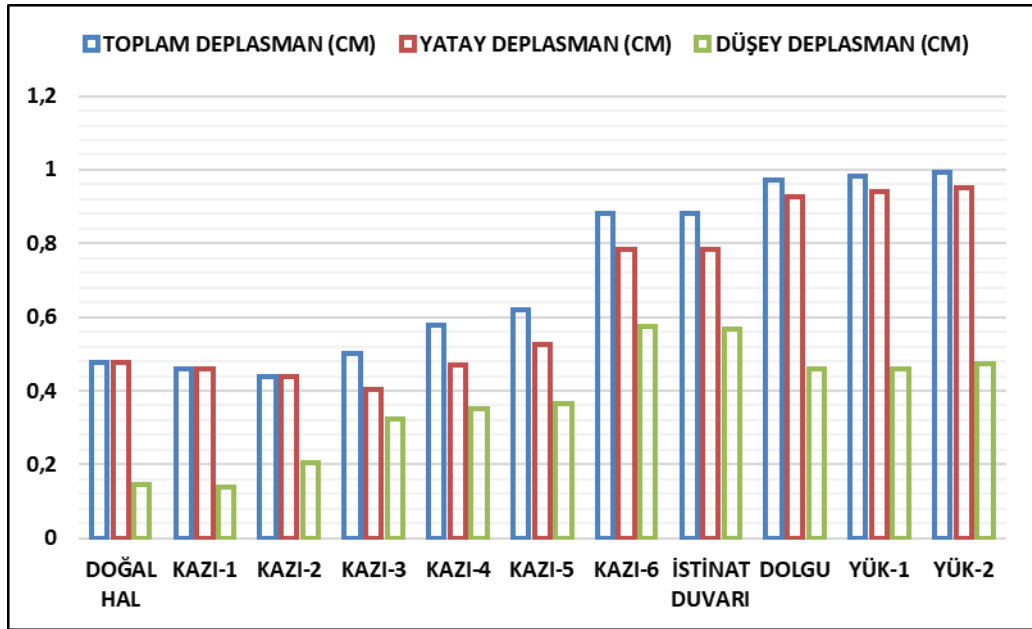
Çalışma sahası-1 kapsamında tasarlanan 3.alternatif çalışmada 10 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait farklı modeller ve analizler gerçekleştirilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analizler sonucunda, Şekil 4.32’de geometri modeli ve Şekil 4.33’te ise sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 10 metre istinat duvarı inşaat hesap aşamalarında hesaplanan deplasman değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.34’de verilmiştir.



Şekil 4.32 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli



Şekil 4.33 3. Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli



Şekil 4.34. 3. Alternatif çalışma için tasarlanan 10 m istinat duvarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.1.4.3. Çalışma sahası-1, 3.alternatif çalışma için tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarının analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1 için tasarlanan üçüncü çalışmada 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının inşaat aşamasındaki deplasman değişimleri (Çizelge 4.9, Çizelge 4.10, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36) tasarlanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarında toplam deplasman değerlerinin kazı-3 inşaat aşamasından itibaren arttığı, dolgu, yük-1 ve yük-2 inşaat aşamalarında en yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Buna paralel olarak yatay deplasman değerlerinin de aynı şekilde artış gösterdiği, ancak düşey deplasmanın daha

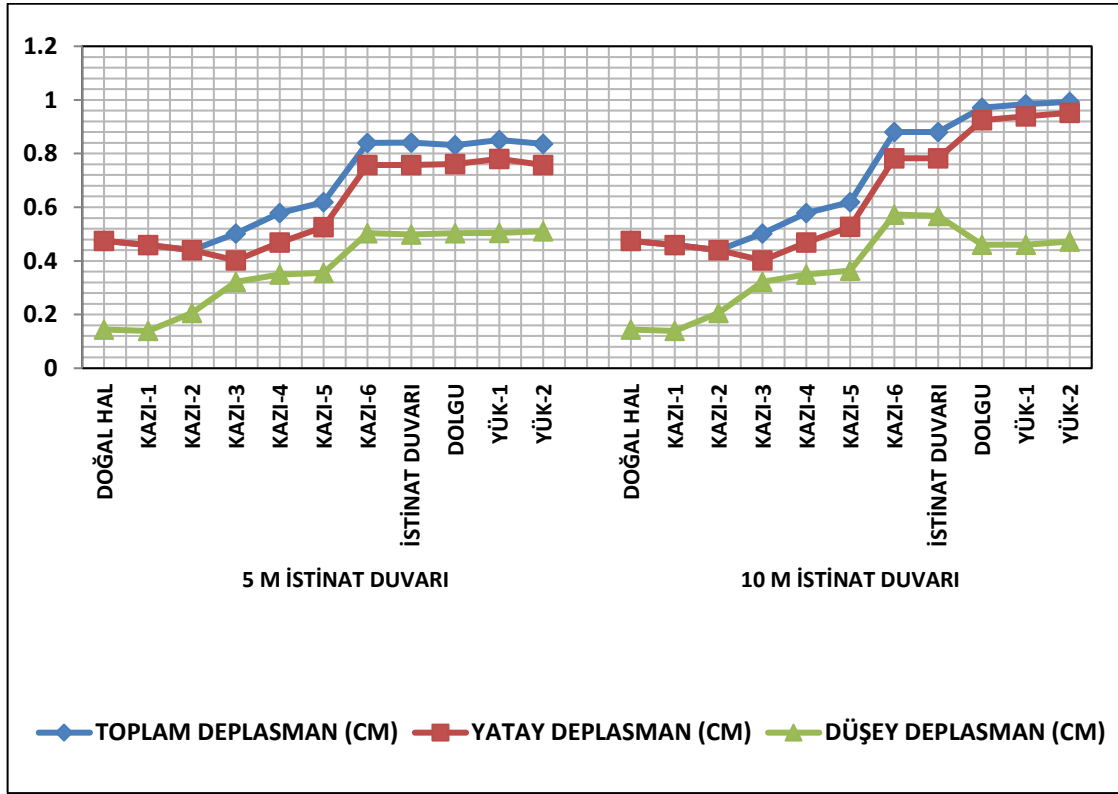
düşük olduğu tespit edilmiştir. Son inşaat aşaması olan yük-2 durumunda; 10 m istinat duvarının toplam ve yatay deplasman değerlerinin 5 m istinat duvarı değerlerine göre daha büyük olduğu, düşey deplasman ve efektif gerilme değerlerinin ise daha küçük olduğu görülmektedir. 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının inşaat aşamasındaki toplam deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait yük-2 aşaması olup 0,993 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük toplam deplasman değerinin ise kaz-2 inşaat aşamasında 0,44 cm olduğu görülmektedir. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait yük-2 aşaması olup 0,952 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük yatay deplasman değerinin ise kaz-3 inşaat aşamasında 0,402 cm olduğu görülmektedir. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması 10 metrelik istinat duvarına ait kazı-6 aşaması olup 0,573 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük düşey deplasman değerinin ise kazı-1 inşaat aşamasında 0,139 cm olduğu görülmektedir. Efektif gerilmenin en yüksek olduğu inşaat aşaması 5 metrelik istinat duvarına ait yük-2 aşaması olup 840,37 kN/m² olarak hesaplanmıştır. En düşük efektif gerilme değerinin ise 10 metrelik istinat duvarına ait kazı-2 inşaat aşamasında 773,83 kN/m² olduğu görülmektedir. Toplam deplasman ve yatay deplasman değerlerinin 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında daha fazla olduğu, düşey deplasman ve efektif gerilme değerlerinin ise 10 metrelik istinat duvarı aşamalarında daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. 3.Alternatif çalışma, 5 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

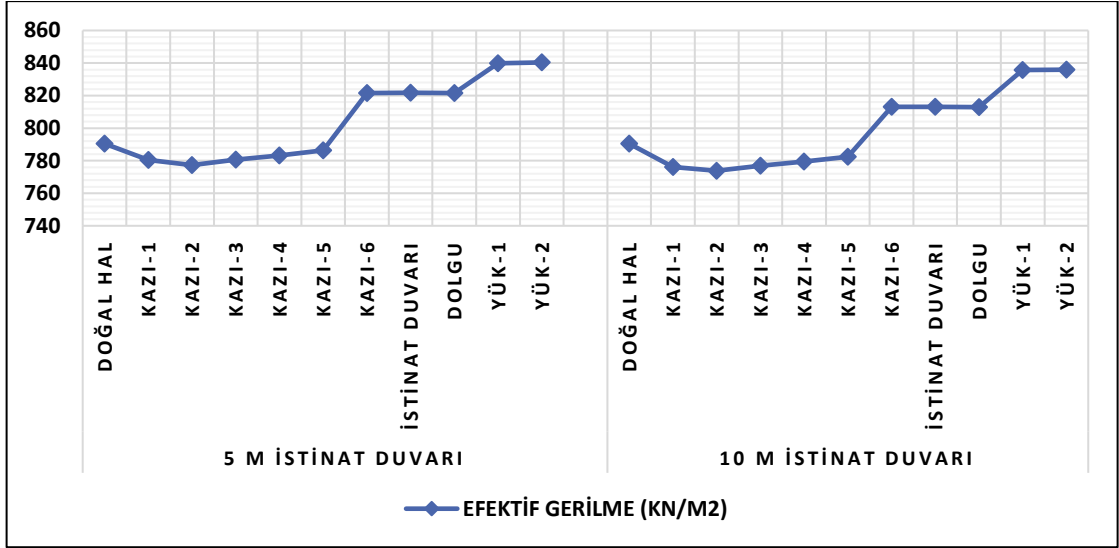
İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m²)
Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	790.47
Kazı-1	0.459	0.459	0.139	780.41
Kazı-2	0.440	0.440	0.206	777.28
Kazı-3	0.502	0.402	0.322	780.63
Kazı-4	0.578	0.469	0.349	783.24
Kazı-5	0.619	0.526	0.356	786.33
Kazı-6	0.840	0.757	0.503	821.61
İstinat Duvarı	0.841	0.758	0.499	821.65
Dolgu	0,831	0.761	0.503	821.63
Yük-1	0.850	0.780	0.504	839.88
Yük-2	0.836	0.758	0.511	840.37

Çizelge 4.10. 3.Alternatif çalışma, 10 metre istinat duvarı inşaat aşamalarında deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m ²)
Doğal Hal	0.475	0.475	0.144	790.47
Kazı-1	0.459	0.459	0.139	776.17
Kazı-2	0.440	0.440	0.206	773.83
Kazı-3	0.502	0.402	0.322	777.00
Kazı-4	0.578	0.469	0.350	779.42
Kazı-5	0.619	0.527	0.364	782.34
Kazı-6	0.880	0.783	0.573	813.07
İstinat Duvarı	0.880	0.783	0.568	813.10
Dolgu	0.971	0.925	0.460	812.81
Yük-1	0.984	0.939	0.460	835.64
Yük-2	0.993	0.952	0.472	835.86



Şekil 4.35. 3.Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği



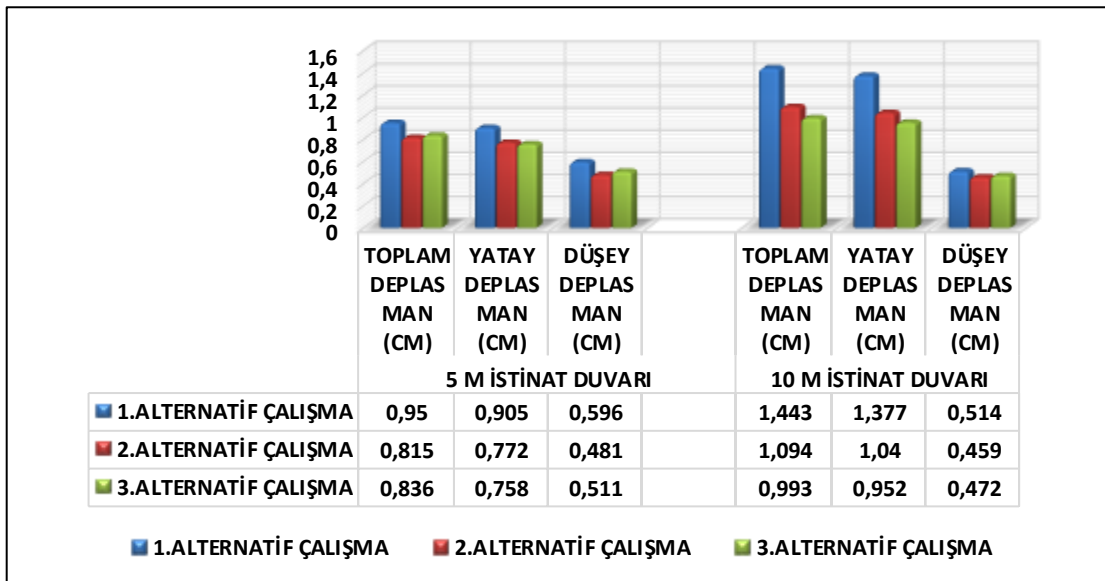
Şekil 4.36. 3. Alternatif çalışma için tasarlanan 5 m ve 10 m istinat duvarlarına ait inşaat aşamalarındaki efektif gerilme değişimleri grafiği

4.1.5. Çalışma sahası-1 için tasarlanan tüm çalışmaların değerlendirilmesi

Çalışma sahası-1 için tasarlanan 1.alternatif çalışma, 2.alternatif çalışma ve 3.alternatif çalışmada gerçekleştirilen 5 metre ve 10 metre istinat duvarı tasarımlarının son hesap aşamasına göre oluşan toplam deplasman, yatay deplasman ve düşey deplasman değerleri Şekil 4.37’de gösterilmiştir. Yapılan incelemeler neticesinde, 5 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek toplam deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 0.95 cm, en düşük toplam deplasman değeri ise 2.alternatif çalışmada 0.815 cm olarak hesaplanmıştır. 10 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek toplam deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 1.443 cm, en düşük toplam deplasman değeri ise 3.alternatif çalışmada 0.993 cm olarak hesaplanmıştır. 5 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek yatay deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 0.905 cm, en düşük toplam deplasman değeri ise 3.alternatif çalışmada 0.758 cm olarak hesaplanmıştır. 10 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek yatay deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 1.377 cm, en düşük yatay deplasman değeri ise 3.alternatif çalışmada 0.952 cm olarak hesaplanmıştır. 5 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek düşey deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 0.596 cm, en düşük toplam deplasman değeri ise 2.alternatif çalışmada 0.481 cm olarak hesaplanmıştır. 10 metre istinat duvarının son hesap aşamasına göre en yüksek düşey deplasman değeri 1.alternatif çalışmada 0.514 cm, en düşük yatay deplasman değeri ise 2.alternatif çalışmada 0.459 cm olarak hesaplanmıştır.

Çalışma sahası-1 için tasarlanan üç farklı alternatif çalışmada toplam deplasman değişimlerine göre yapılan incelemelerde 5 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 2.alternatif çalışma olduğu, 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın ise 3.alternatif çalışma olduğu belirlenmiştir. Yatay deplasman değişimlerine göre yapılan incelemelerde 5 metre ve 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 3.alternatif çalışma olduğu, düşey deplasman değişimlerine göre yapılan incelemelerde ise 5 metre ve 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 2.alternatif çalışma olduğu tespit edilmiştir.

Wu ve Prakash (1999), çalışmalarında istinat duvarlarının yatay yönde ne kadar deformasyona uğrayabileceğini inceleyerek bu sınırı duvar yüksekliğinin % 2'si (0.02H) olarak belirlemişlerdir. Ayrıca deformasyonun duvar yüksekliğinin % 10'una (0.1H) ulaşması durumunda yapının göçme riski taşıyabileceğini belirtmişlerdir. Buna göre, Çalışma sahası-1'de uygulanan 5 metre ve 10 metre istinat duvarlarının limit deformasyonları sırasıyla 10 cm ve 20 cm olarak hesaplanmıştır. Çalışma sahası-1'de hesaplanan tüm deformasyonlar incelendiğinde, maksimum deformasyonun 1.alternatif çalışmaya ait 10 metrelik istinat duvarında ve değerinin 1.443 cm olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere, Çalışma sahası-1 için yapılan analizlerde, meydana gelen tüm deformasyonların limit deformasyon değerinden düşük olduğu ve güvenli durumda olduğu görülmüştür. Elde edilen analiz sonuçları ve Wu ve Prakash (1999) tarafından yapılan analiz sonuçlarının birbirlerini desteklediği söylenebilir.



Şekil 4.37. Çalışma sahası-1 de yapılan tüm çalışmalarda 5 metre ve 10 metre istinat duvarı son hesap aşamalarına göre gerçekleşen deplasman değişimleri grafiği

4.2. Çalışma sahası-2 geoteknik bilgileri

Bu çalışma kapsamında zemin araştırmalarının yapıldığı bölge, Mardin ili, Artuklu ilçesinde bulunan Mardin Artuklu Üniversitesi yerleşke sınırlarında yer almaktadır. Çalışma sahasında yapılmış olan zemin araştırmalarında hazırlanan zemin etüt raporuna göre; arazi eğiminin % 10-20 aralığında olduğu, heyelan riskinin olmadığı, kaya düşme riskinin bulunmadığı, sıvılaşma riskinin olmadığı ve yeraltı suyuna rastlanmadığı anlaşılmaktadır. İnceleme alanında yapılan zemin etüt araştırmalarına ve temel sondaj kuyularından elde edilen sonuçlara göre, zemin, 50 cm bitkisel örtü tabakası ve tek tabaka halinde kırıklı çatlaklı kireçtaşı olarak belirlenmiştir. İnceleme alanı içerisinde yer alan ikinci çalışma sahasının toplam oturum alanı 5003.8 m² 'dir. İnşaat alanı 13.347 m² ve peyzaj alanı 20.000 m² olmak üzere toplam alanı 33.347 m² dir. Çalışma alanındaki sahanın en yüksek kotu 976.00 m ve en düşük kotu ise 955.00 m'dir. En yüksek kot ile en düşük kotun bulunduğu sınırlarda 25 m genişliğinde yol bulunmaktadır. Plaxis 2D programı ile elde edilen tasarımda Yük-1 olarak adlandırılmakta olan yol yükü 15 kN/m² olarak hesaplara dahil edilmiştir. Bina çevresinde 20.000 m² alana sahip peyzaj alanı bulunmaktadır. Arazinin eğimli olması ve binanın bu eğime göre projelendirilmesi neticesinde peyzaj projesinde de bu durum göz önünde bulundurularak kot farkı bulunan alanlar değerlendirilip bina ile uyumlu kademeli peyzaj alanları oluşturulmuştur. İncelenen kesit içerisinde 3 metre yüksekliğinde bir adet ve 5 metre yüksekliğinde iki adet betonarme istinat duvarı bulunmaktadır (Şekil 4.38, Şekil 4.39).



Şekil 4.38. Çalışma sahası-2 kroki planı



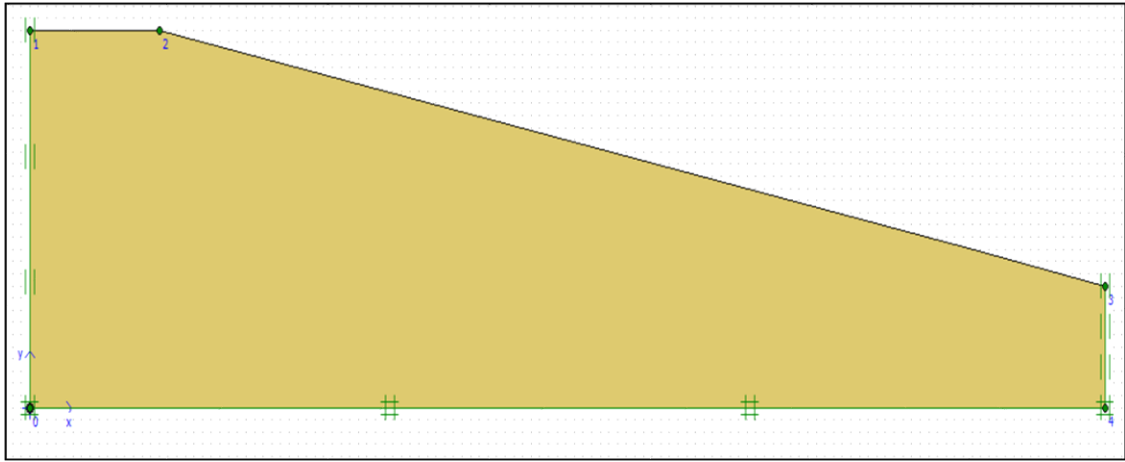
Şekil 4.39. Çalışma sahası-2 şantiye görünümüleri

4.2.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler

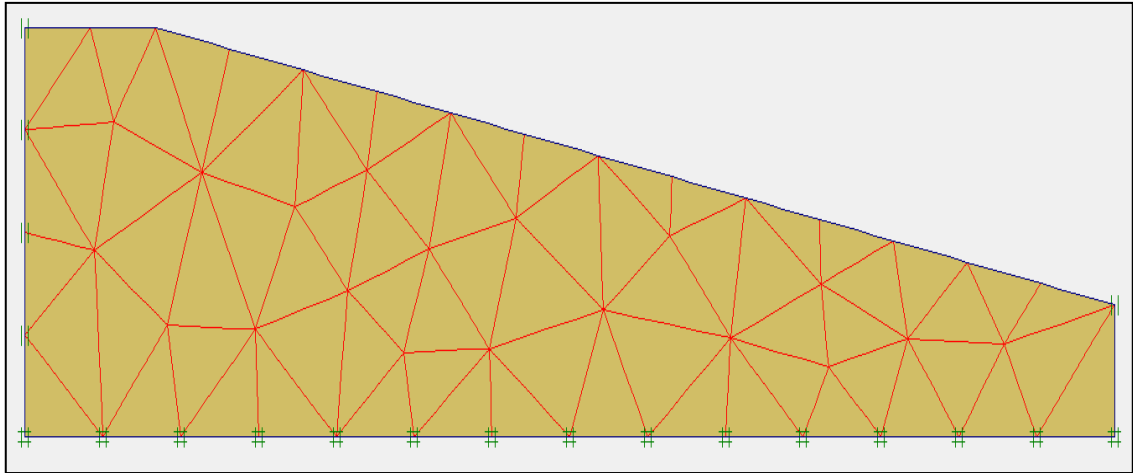
Çalışma sahası-2 alanına ait doğal haldeki zeminin durumu incelenmiştir. Zeminin doğal hali için yapılan modellerde kullanılan zemin parametrelerinin özellikleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda, Şekil 4.40’ta geometri modeli ve Şekil 4.41’de sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir. Referans değerlere göre doğal halde toplam deplasman değeri 567.35×10^{-6} m (Şekil 4.42), yatay deplasman değeri 567.25×10^{-6} m, düşey deplasman değeri 147.71×10^{-6} m ve efektif gerilme değeri 578.13 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Deplasman değerleri incelendiğinde oluşan deformasyonların çok küçük değerlerde olduğu görülmektedir. Toplam ve yatay deformasyonlar; eğimli arazinin orta kısımlarında en yüksek değere ulaşırken düşey deformasyonun en büyük değerinin ise arazinin tepe noktasında olduğu gözlenmektedir. Güvenlik katsayısı hesap tablosuna göre güvenlik sayısı 4.674 olarak hesaplanmıştır. Zemin kesitinde hesaplanan güvenlik sayısının kriter olarak görülmekte olan 1.5 eşik değerinden daha büyük olduğu, dolayısıyla zeminin doğal durumunda güvenli olduğu anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.11. Çalışma sahası-2 doğal zemin parametrelerinin özellikleri

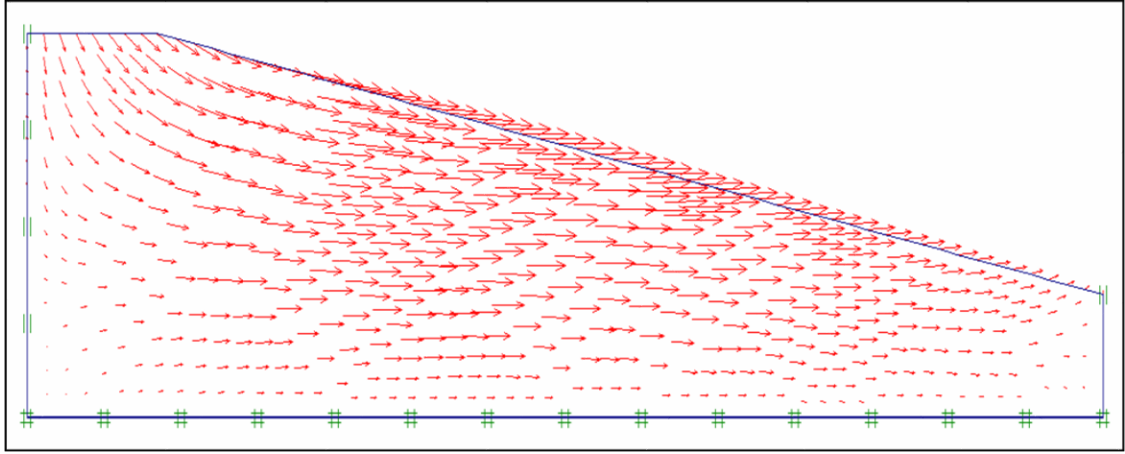
Malzeme Modeli	Kireçtaşı
	Mohr-Coulomb Model (MCM)
Malzeme Tipi	Drenajlı
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	35
Birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m ³)	19.2
Doygun birim hacim ağırlığı (γ_{sat}) (kN/m ³)	20
Kohezyon (c) (kN/m ²)	20
Poisson Oranı (ν)	0,33
Elastisite modülü (E) (kN/m ²)	$1.49 \cdot 10^6$



Şekil 4.40. Çalışma sahası-2 doğal durumda geometri modeli



Şekil 4.41. Çalışma sahası-2 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli



Şekil 4.42. Çalışma sahası-2 doğal durumda toplam deformasyon modeli

4.2.2. Çalışma sahası-2 PLAXIS 2D programı ile yapılan analizler ve elde edilen modeller

İkinci çalışma sahası PLAXIS (2D) programı ile modellenerek çalışma sahasında mevcut durumda bulunan bir adet 3 metre ve iki adet 5 metre betonarme istinat duvarının ve zeminin davranışı incelenmiştir. Zeminin doğal halindeki durumu, istinat duvarlarının yapıldığı ve inşaatın tamamlandığı ana kadar her bir inşaat aşaması için zeminin davranışları değerlendirilmiştir. Bu bölümde, Çalışma sahası-2 için tasarlanan zemin kesitinin inşaat aşamalarına göre ve son duruma göre toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon ve efektif gerilme değişimleri incelenerek yorumlanmıştır. Ayrıca modelde bulunan üç adet istinat duvarı için ayrı ayrı kesitler oluşturularak analizleri gerçekleştirilip yorumlanmıştır. Çalışma sahası-2'ye ait zeminin malzeme özellikleri Çizelge 4.12'de, istinat duvarı parametreleri ise Çizelge 4.13'te verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda, Şekil 4.43'te geometri modeli ve Şekil 4.44'te sonlu elemanlar ağı (mesh) verilmiştir.

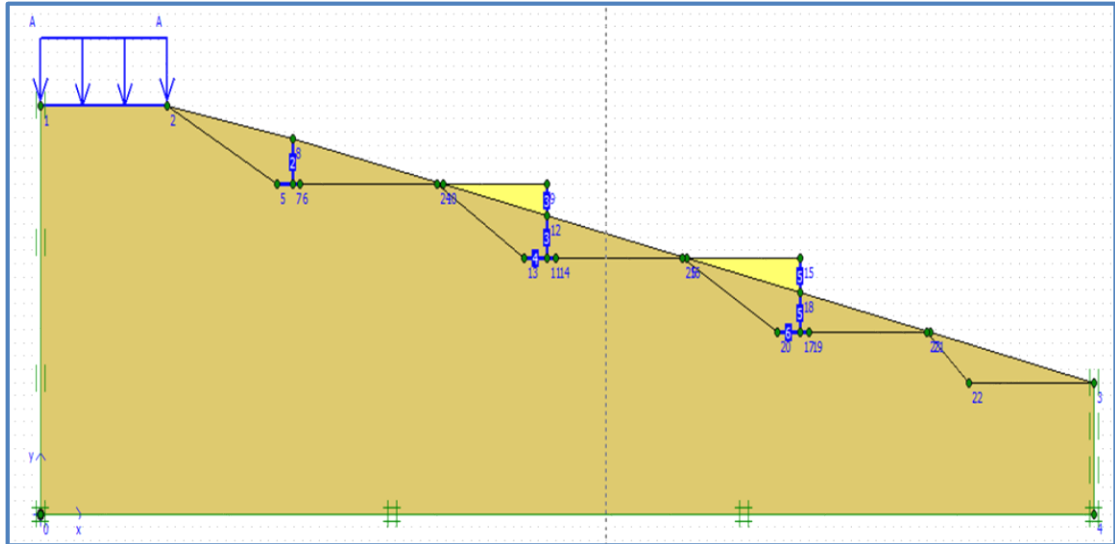
Çizelge 4. 12. Çalışma sahası-2 zemin parametrelerinin özellikleri

	Dolgu	Kireçtaşı
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	10	35

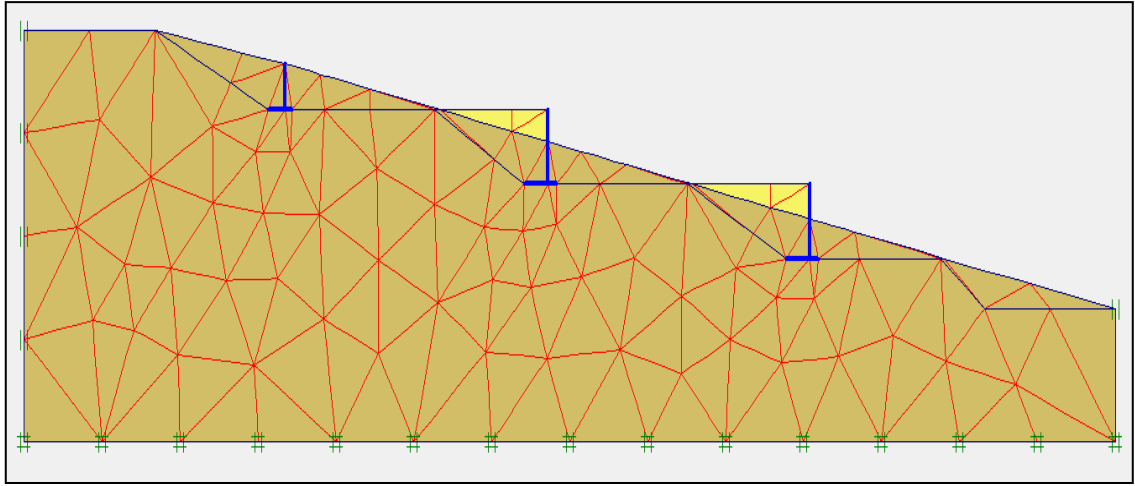
Birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m³)	16	19.2
Doygun birim hacim ağırlığı(γ_{sat}) (kN/m³)	17	20
Kohezyon (c) (kN/m²)	50	20
Poisson Oranı (ν)	0,30	0,33
Elastisite modülü (E) (kN/m²)	15000	1.49*10 ⁶

Çizelge 4.13. Çalışma sahası-2 istinat duvarı parametreleri

İstinat duvarı	EA (Eksenelrijitlik) (kN/m)	EI (Eğilme rijitliği) (kNm ² /m)	Type	Poisson oranı (ν)	Ağırlık (W)
Temel (3m)	3.645*10 ⁷	6.15*10 ⁵	Elastic	0.25	3.0
Gövde (3m)	3.15*10 ⁷	2.36*10 ⁷	Elastic	0.25	3.0
Temel (5m)	6.66*10 ⁷	1.2*10 ⁶	Elastic	0.25	4.5
Gövde (5m)	6.75*10 ⁷	1.4*10 ⁸	Elastic	0.25	5.0



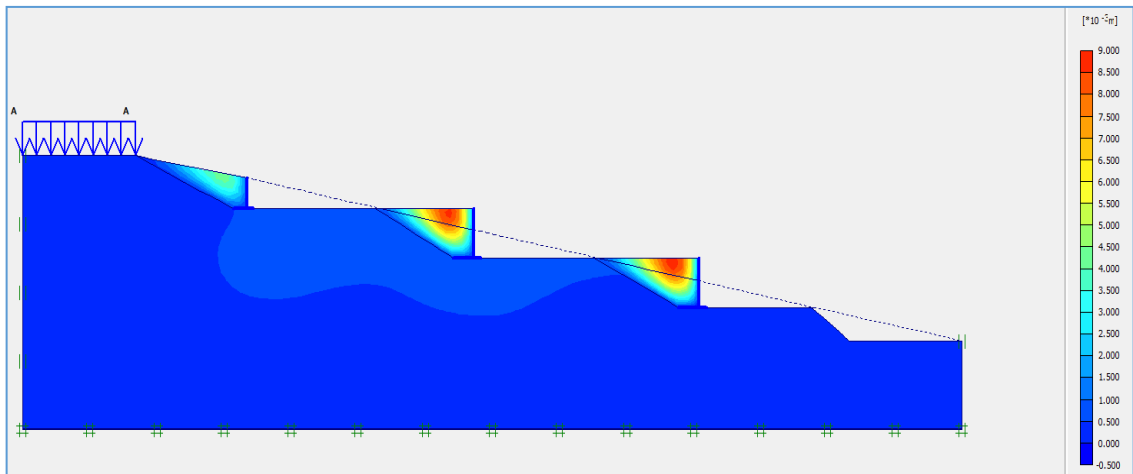
Şekil 4.43. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait geometri modeli



Şekil 4.44. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait sonlu elemanlar ağı modeli

4.2.2.1. Yük- Son durum için yapılan analizler

Çalışma sahası-2 yük (inşaatin tamamlandığı son aşama) aşamasında, PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 8.91×10^{-3} m (Şekil 4.45), yatay deplasman değeri 3.14×10^{-3} m, düşey deplasman değeri 8.88×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. Yük inşaat aşamasında hesaplanan deformasyonun zeminin doğal durumuyla karşılaştırılması durumunda; toplam deformasyon, yatay deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Modele göre yapılan incelemeler neticesinde toplam deformasyon, yatay deformasyon ve düşey deformasyon değerlerinin en yüksek olduğu bölgenin dolgu-2 ve dolgu-3 bölgeleri olduğu görülmektedir.



Şekil 4.45. Çalışma sahası-2 için tasarlanan istinat duvarlarına ait yük-son durum aşamasında toplam deformasyon modeli

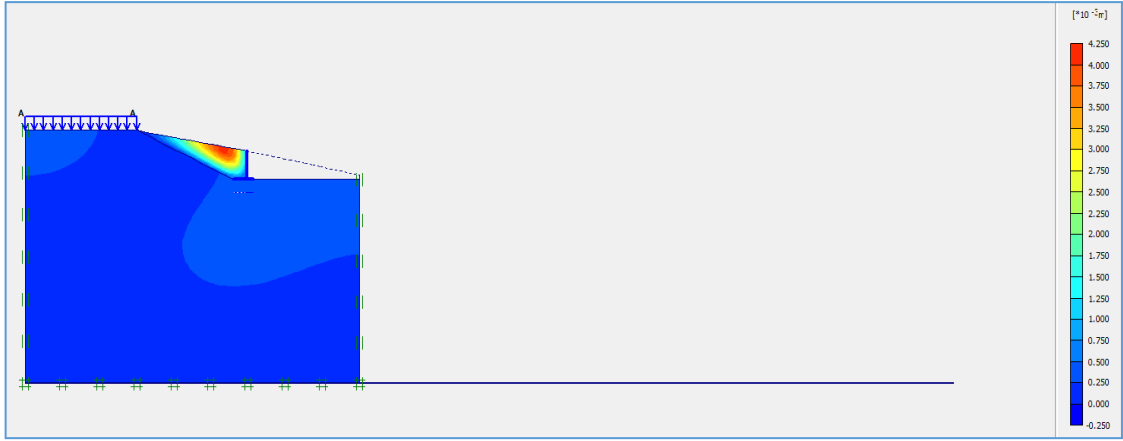
4.2.2.2. Kesit-1 (3 m), Kesit-2 (5 m) ve Kesit-3 (5 m) istinat duvarı için yapılan analizler

Çalışma sahası-2’de 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarının bulunduğu bölgelerin kesitleri ayrı ayrı alınarak son aşamaya göre toplam deformasyonları hesaplanmıştır. Burada, kesit oluşturularak deformasyon ve gerilme hesabı yapılmasındaki en önemli etken şevli bölgenin tamamından bağımsız olarak istinat duvarı çevresinde oluşan deformasyon ve gerilmenin daha ayrıntılı hesaplanmasıdır.

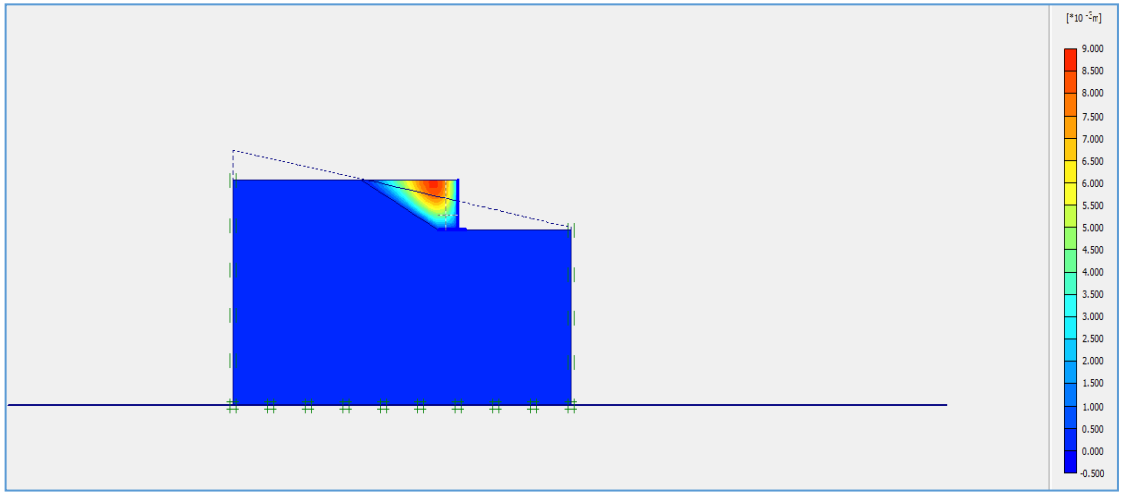
Kesit-1 (3 m), Yük aşamasında (son aşama) PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 4.18×10^{-3} m (Şekil 4.46), yatay deplasman değeri 1.76×10^{-3} m ve düşey deplasman değeri 4.04×10^{-3} m olarak hesaplanmıştır. İnşaat hesap aşamalarında Dolgu-1 aşamasına denk gelen sonuçlar ile kesitteki deformasyon sonuçlarının yakın değerlerde olduğu fakat gerilme değerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

Kesit-2 (5 m), 5 metrelik istinat duvarının (orta bölge) bulunduğu bölgenin kesiti alınarak son aşamaya göre toplam deformasyonları hesaplanmıştır. Dolgu aşamasında PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 8.60×10^{-3} m (Şekil 4.47), yatay deplasman değeri 2.83×10^{-3} m, düşey deplasman değeri 8.59×10^{-3} m ve efektif gerilme değeri 491.63 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. İnşaat hesap aşamalarında Dolgu-2 aşamasına denk gelen sonuçlar ile kesitteki toplam ve düşey deformasyon sonuçlarının yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak, yatay deformasyon ve gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

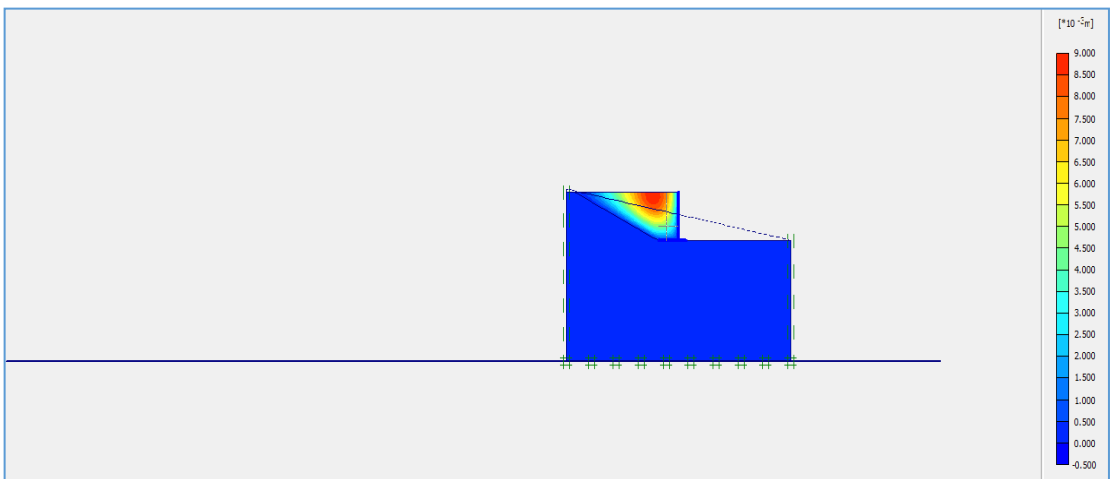
Kesit-3 (5 m), 5 metrelik istinat duvarının (alt bölge) bulunduğu bölgenin kesiti alınarak son aşamaya göre toplam deformasyonları hesaplanmıştır. Dolgu aşamasında PLAXIS 2D programından elde edilen modellerde şevli alanda hesaplanan toplam deplasman değeri 8.93×10^{-3} m (Şekil 4.48), yatay deplasman değeri 2.78×10^{-3} m, düşey deplasman değeri 8.92×10^{-3} m ve efektif gerilme değeri 370.26 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. İnşaat hesap aşamalarında Dolgu-3 aşamasına denk gelen sonuçlar ile kesitteki toplam ve düşey deformasyon sonuçlarının yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Ancak, yatay deformasyon ve gerilme değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.46. Kesit-1 (3 metre) toplam deformasyon modeli



Şekil 4.47. Kesit-2 (5 metre) toplam deformasyon modeli



Şekil 4.48. Kesit-3 (5 metre) toplam deformasyon modeli

4.2.3. Statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları

Çalışma sahası-2' de hazırlanan şevli modellerin güvenlik sayıları doğal durum ve inşaatın tamamlandığı son duruma göre Plaxis-2D programı ile hesaplanmıştır. (Çizelge 4.14). Hesaplamalar statik ve dinamik (yarı statik) durumlara göre yapılmıştır. Dinamik durumlarda 0.1g, 0.2g ve 0.3g ivmeleri etki ettirilerek şev güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Çizelge 4.14'te verilen hesap sonuçlarına göre, doğal durumda güvenlik sayısının 4.674 olduğu, dinamik etkinin artırılması ile güvenlik sayısında azalma olduğu gözlenmektedir. 0.1 g'de 2.999 değerinde olan güvenlik sayısı 0.3 g'de ise 1.682'ye düşmektedir. İnşaatın tamamlanma aşaması olan Yük-son durumuna göre statik durumda 3.241 olan güvenlik sayısı 0.1g'de 2.642, 0.2 g de 2.065, 0.3 g de ise 1.613 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14. Çalışma sahası-2, statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları

Durum	Güvenlik Sayısı			
	Statik	0.1 g	0.2 g	0.3 g
Doğal Hal	4.674	2.999	2.171	1.682
Yük - Son	3.241	2.642	2.065	1.613

4.2.4. Çalışma sahası-2 analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma sahası-2 analiz sonuçlarında, Çizelge 4.14'te inşaat aşamalarında oluşan deplasman ve gerilme değerleri, Şekil 4.49'da inşaat aşamasındaki deplasman değişimleri grafiği verilmiştir. Toplam ve düşey deplasman değerlerinin çok yakın değerlerde olduğu ve (Şekil 4.49)-paralel hareket ettiği, Dolgu-2 ve Yük inşaat aşamaları arasında en yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir. Yatay deplasman değerleri, toplam ve düşey deplasman değerlerine göre daha düşük değerlerde kalmaktadır. Toplam deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşaması Dolgu-3, Kazı-4 ve Yük inşaat aşamaları olup 0.891 cm olarak hesaplanmıştır. En düşük toplam deplasman değerinin ise doğal halde 0.057 cm olduğu görülmektedir. Yatay deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşamaları Dolgu-2 ile Yük inşaat aşamaları arasında 0.31 cm olduğu görülmüştür. En düşük yatay deplasman değerinin ise doğal halde 0.057 cm değerinde olduğu görülmektedir. Düşey deplasman değerinin en yüksek olduğu inşaat aşamaları Kazı-4 ve yük aşamaları olup

0.888 cm olduğu görülmüştür. En düşük düşey deplasman değerinin ise Doğal haldeki zeminde 0.014 cm olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15'te efektif gerilme değerlerinin Kazı-1 inşaat aşamasında azaldığı, Dolgu-1 ve Kazı-4 inşaat aşamalarında stabil kaldığı, Yük aşamasında ise en yüksek değerine ulaştığı görülmektedir. Efektif gerilmenin en yüksek olduğu inşaat aşaması Yük inşaat aşaması olup 585.99 kN/m² olarak hesaplanmıştır. En düşük efektif gerilme değerinin ise Kazı-1 inşaat aşamasında 569.59 kN/m² değerinde olduğu görülmüştür.

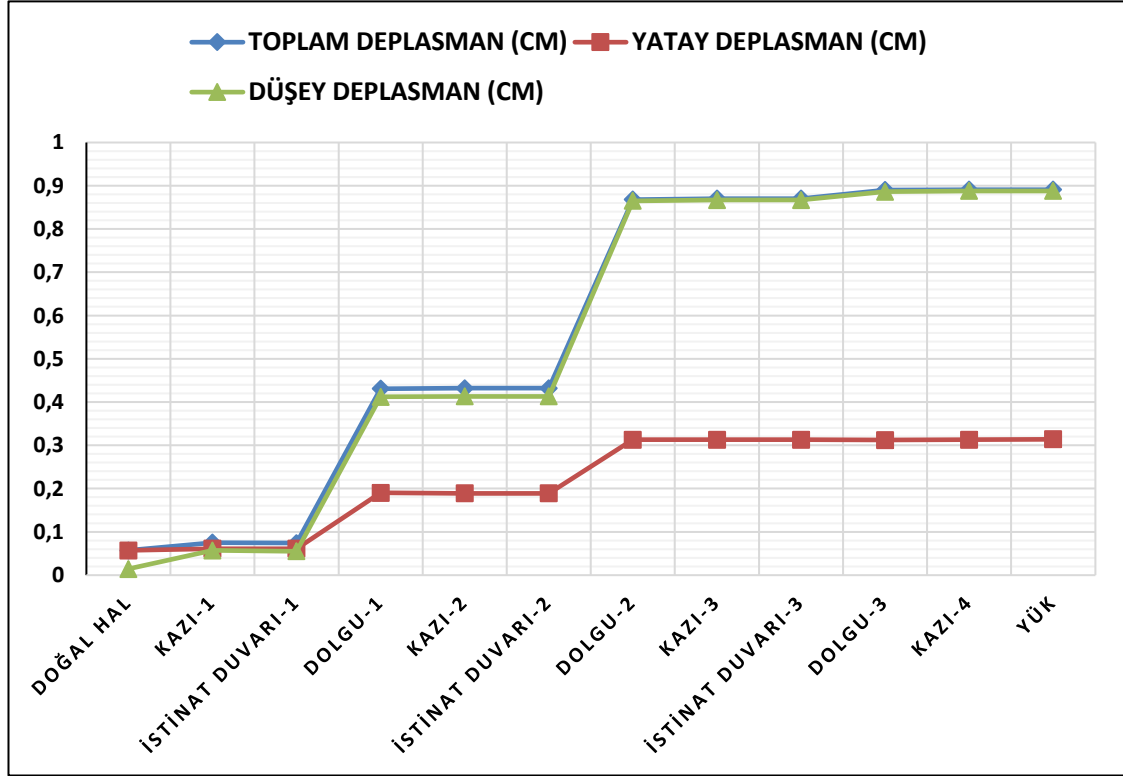
Çalışma sahası-2'de uygulanan 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarının limit deformasyonları sırasıyla 6 cm ve 10 cm olarak hesaplanmıştır (0.02H). Çalışma sahası-2'de hesaplanan tüm deformasyonlar incelendiğinde maksimum deformasyon değerinin 0.891 cm olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabileceği üzere, Çalışma sahası-2'de yapılan analizlerde, meydana gelen tüm deformasyonların limit deformasyon değerinden düşük olduğu ve emniyetli durumda olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.14'te görüldüğü üzere, güvenlik sayısının doğal durumda en yüksek değerde olduğu (4.674), en düşük değerinin ise inşaatın son aşaması olan Yük aşamasının 0.3g aşamasında (1.613) olduğu görülmektedir. Dinamik etkinin artırılması ile güvenlik sayılarından azalma olduğu gözlenmektedir. 0.1 g'de 2.999 değerinde olan güvenlik sayısı 0.3 g'de ise 1.682'ye düşmüştür. Aynı şekilde inşaatın tamamlanma aşaması olan Yük-son durumuna göre yapılan şev güvenlik hesaplarında dinamik etkinin artırılması ile güvenlik sayılarından düşüşün olduğu tespit edilmiştir. Statik ve dinamik olmak üzere tüm aşamalarda hesaplanan güvenlik sayılarının güvenli bölgede kaldığı, statik olarak kriter kabul edilen 1.5 ve dinamik olarak kriter kabul edilen 1.1 değerlerinden büyük oldukları görülmüştür.

Çizelge 4.15. Çalışma sahası-2, inşaat aşamalarında oluşan deplasman ve gerilme sonuçları

İnşaat Hesap Aşamaları	Toplam Deplasman (cm)	Yatay Deplasman (cm)	Düşey Deplasman (cm)	Efektif Gerilme (kN/m²)
Doğal Hal	0.057	0.057	0.014	578.41
Kazı-1	0.075	0.061	0.057	569.59
İstinat Duvarı-1	0.074	0.061	0.055	569.70
Dolgu-1	0.431	0.190	0.412	576.19
Kazı-2	0.432	0.189	0.413	576.29
İstinat Duvarı-2	0.432	0.189	0.413	576.28
Dolgu-2	0.868	0.313	0.865	576.15
Kazı-3	0.870	0.313	0.867	576.09
İstinat Duvarı-3	0.870	0.313	0.867	576.09
Dolgu-3	0.890	0.312	0.886	576.14

Kazı-4	0.891	0.313	0.888	576.13
Yük	0.891	0.314	0.888	585.99



Şekil 4.49. Çalışma sahası-2 inşaat aşamalarındaki deplasman değişimleri grafiği

4.3. Çalışma sahası-3 geoteknik bilgileri

Çalışma sahası-3 olarak tasarlanan sahanın zemin özellikleri, şev stabilitesi ve istinat duvarlarının performansı incelenmiştir. Çalışma sahası-3, %10 civarında bir arazi eğimine, zeminin üst kotundan itibaren 25 metre derinlikte yer alan bir yeraltı su seviyesine ve ZD zemin sınıfına sahiptir. Zemin kesiti üç tabakadan oluşmakta olup, bu tabakalar sırasıyla yoğun kum, sert kil ve kil zeminlerden meydana gelmiştir.

Tasarlanan zemin kesitinde, üst kotundan tabana doğru 5 metre kalınlığında bir kil tabakası, 20 metre kalınlığında sert kil tabakası ve 15 metre kalınlığında yoğun kum tabakası hakimdir. Yeraltı su seviyesi, zemin kesitinde tabandan itibaren 15 metre yukarıdadır. Çalışma sahasının en üst kotunda, 15 kN/m²'lik bir yük oluşturacak şekilde bir yol inşası planlanmıştır. Yol yapımına uygun bir zemin oluşturmak, mevcut şevli alanı düzeltmek ve şevdeki olası riskleri azaltmak amacıyla, eğimli arazide 3 metre ve 5 metre yüksekliğinde olmak üzere iki adet betonarme konsol istinat duvarı tasarlanmıştır. Bu

tasarımda, daha önce Çalışma sahası-2 başlığı altındaki Yemekhane Binasında kullanılan betonarme istinat duvarlarına ait parametreler esas alınmıştır. Farklı zemin parametrelerine ve şev eğimlerine sahip bir bölgede, statik hesapları yapılmış istinat duvarlarının deformasyon ve gerilme davranışları incelenmiştir. PLAXIS (2D) programı ile modelleri oluşturulan kesitlerde, inşaat sürecinin son durumuna göre toplam deplasman, düşey deplasman, yatay deplasman, toplam gerilme, efektif gerilme ve aktif su basıncı değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Ayrıca, istinat duvarının arkasında yer alan dolgu zeminin elastisite modülü, kohezyonu ve kayma açısı gibi parametrelerin yanı sıra oluşturulan modelin yeraltı su seviyesi ve yol yükü değerleri artırılıp azaltılarak bu değişikliklerin deplasman ve gerilme üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Böylece, farklı zemin koşullarında ve yükleme durumlarında istinat duvarlarının ve şevli zeminin performansı detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

4.3.1. Doğal haldeki zemin için yapılan analizler

Çalışma sahası-3 olarak adlandırılan çalışmada zemin kesitine göre PLAXIS (2D) programı ile modeller oluşturulmuştur. Bu başlık altında tasarlanan zemin kesiti doğal haldeki durum koşullarına göre incelenmiştir. Zeminin doğal hali için elde edilen modellerde kullanılan zemin parametrelerinin özellikleri Çizelge 4.16'da verilmiştir. Şekil 4.50'de geometri modeli, Şekil 4.51'de sonlu elemanlar ağı ve Şekil 4.52'de ise yeraltı su seviyesine ait model verilmiştir. Analizlerde Mohr-Coulomb malzeme modeli tercih edilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir: Toplam deplasman : 16.76×10^{-3} m (Şekil 4.53), Yatay deplasman : 16.70×10^{-3} m (Şekil 4.54), Düşey deplasman : 2.08×10^{-3} m (Şekil 4.55), Toplam gerilme : 643.62 kN/m^2 (Şekil 4.56), Efektif gerilme : 487.26 kN/m^2 (Şekil 4.57), Aktif su basıncı : 158.04 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Plaxis 2D programında doğal haldeki şev için hesaplanan güvenlik katsayısı 4.029 olarak hesaplanmıştır. Doğal ortam zemin kesiti için hesaplanan güvenlik sayısının kriter olarak görülmekte olan 1.5 eşik değerinden daha büyük olduğu, dolayısıyla zeminin doğal durumunda güvenli olduğu anlaşılmaktadır.

Analiz sonuçlarına ait şekillerin incelenmesi sonucunda, aşağıdaki gözlemler yapılmıştır:

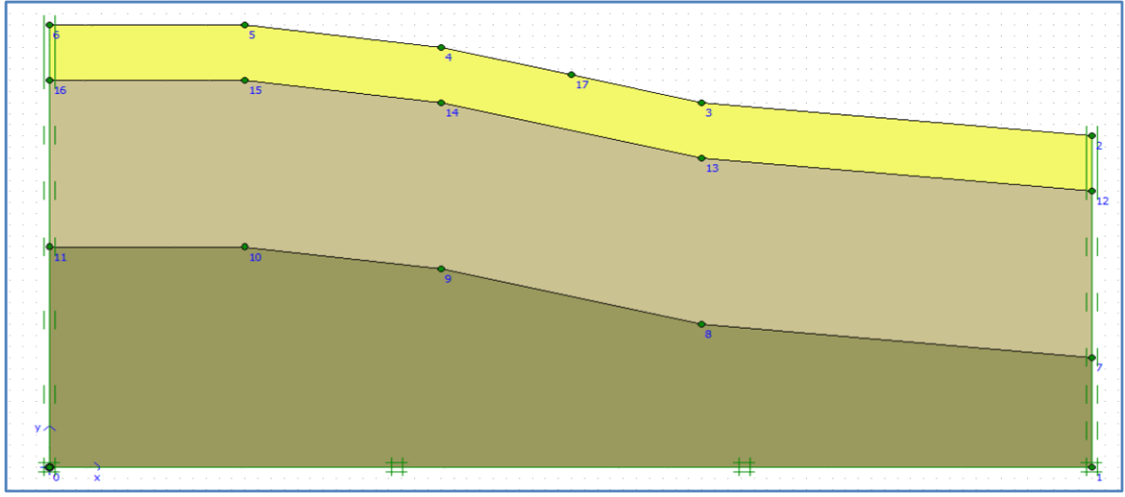
- Toplam deplasman ve yatay deplasman: Bu deplasmanların, zeminin üst tabakasını oluşturan killi zeminin orta bölgelerinde maksimum değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Bu durum, killi zeminin deformasyona daha yatkın bir yapıya sahip olduğunu ve yükler altında en fazla hareketin bu bölgede meydana geldiğini göstermektedir.
- Düşey deplasman: Düşey deplasman değerinin, üst tabakadaki killi zeminin düz alanı ile eğimin başladığı bölge arasında maksimum seviyeye ulaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, topografyanın etkisiyle birlikte düşey hareketlerin, özellikle bu geçiş bölgesinde daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır.
- Aktif su basıncı: Yeraltı su seviyesi, zeminin belirli bir kotundan itibaren etkili olmaya başlamış olduğu ve derinlik arttıkça aktif su basıncının da orantılı bir şekilde yükseldiği görülmüştür. Bu durum, yeraltı su seviyesinin zemin davranışı üzerindeki etkisini açıkça ortaya koymaktadır.
- Toplam ve efektif gerilmeler: Hem toplam hem de efektif gerilme değerlerinin, zemin derinliği arttıkça yükseldiği tespit edilmiştir. Üst tabakalarda bu değerlerin daha düşük olması, zeminin yüzeye yakın kısmının yük taşıma kapasitesinin sınırlı olduğunu, buna karşın derin tabakaların daha yüksek bir dayanım sunduğunu göstermektedir.

Analiz sonuçları, zemin davranışının üst tabaka malzemesi, topografya ve yeraltı su seviyesinden önemli ölçüde etkilendiğini göstermektedir. Killi zeminin deformasyona açık yapısı, özellikle toplam ve yatay deplasmanların bu bölgelerde yoğunlaşmasına neden olmuştur. Eğimin başlangıç bölgesinde gözlenen düşey deplasmanlar, stabilite açısından kritik alanlar olarak değerlendirilebilir. Ayrıca, aktif su basıncı ve gerilmelerin derinlik ile artması, suyun ve zemin yüklerinin derin tabakalarda daha belirgin bir etki oluşturduğunu göstermektedir.

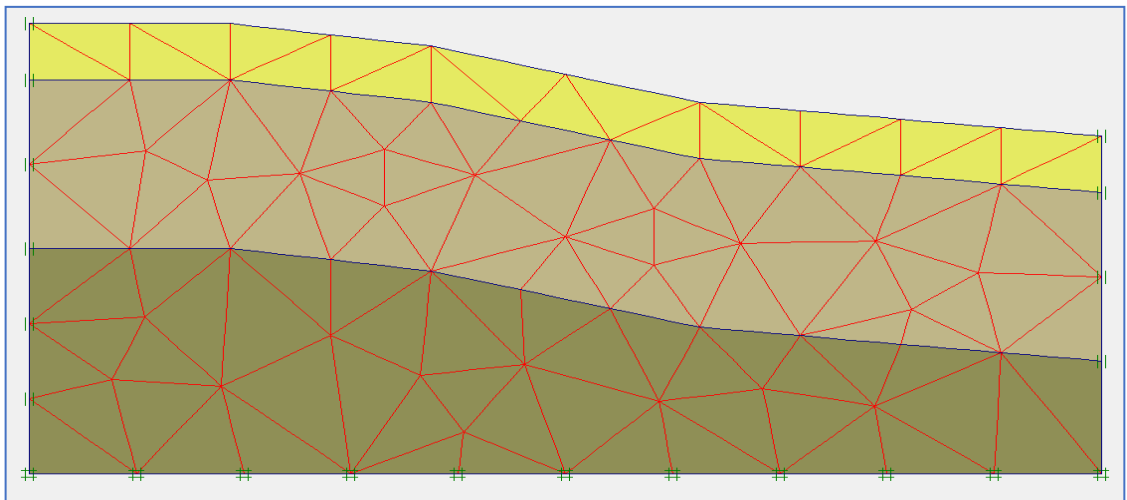
Çizelge 4.16. Çalışma sahası-3 doğal zemin parametrelerinin özellikleri

	Kil	Sert Kil	Yoğun Kum
Litoloji			
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	10	30	50

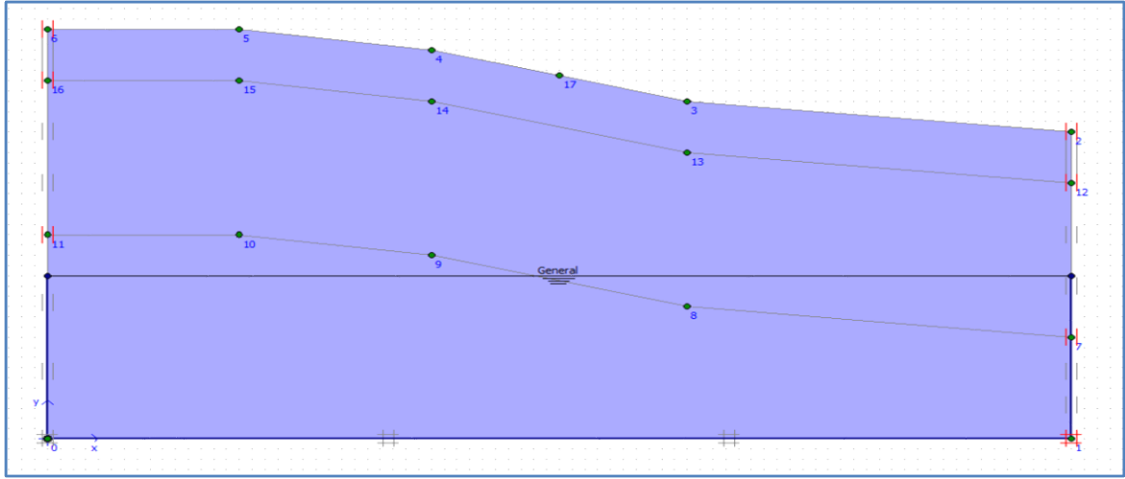
Birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m³)	16	16.20	16
Doygun birim hacim ağırlığı (γ_{sat}) (kN/m³)	17	17	17
Kohezyon (c) (kN/m²)	30	35	0
Poisson Oranı (ν)	0.29	0.30	0.30
Elastisite modülü (E) (kN/m²)	20000	45000	85000



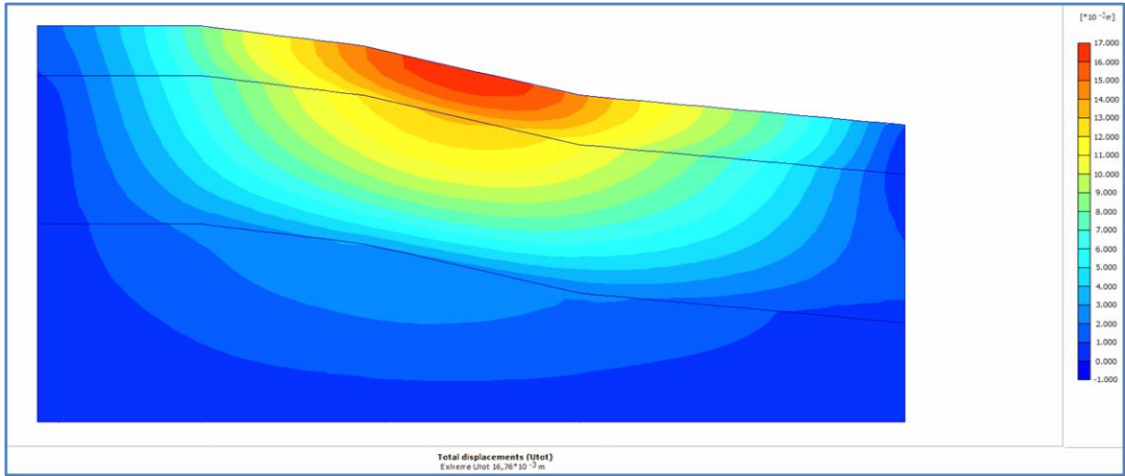
Şekil 4.50. Çalışma sahası-3 doğal durumda geometri modeli



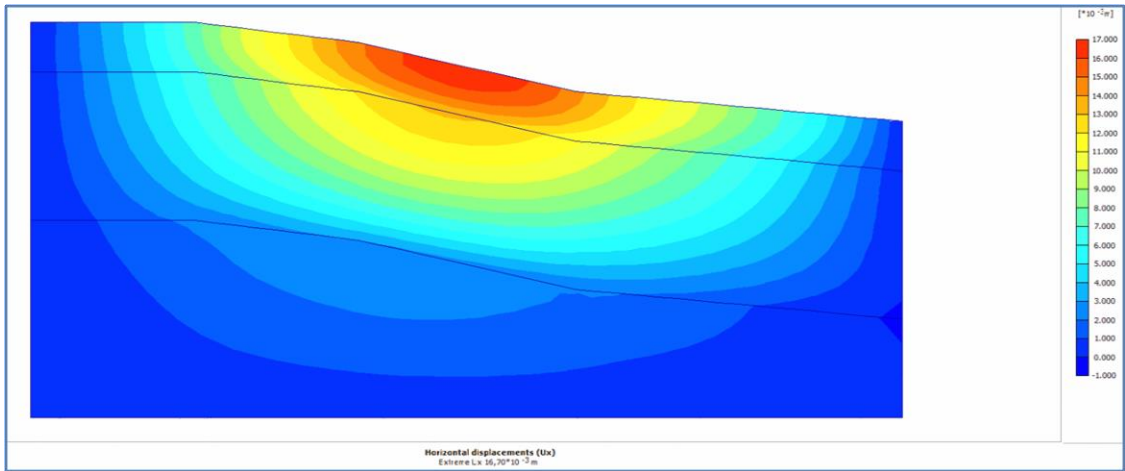
Şekil 4.51. Çalışma sahası-3 doğal durumda sonlu elemanlar ağı modeli



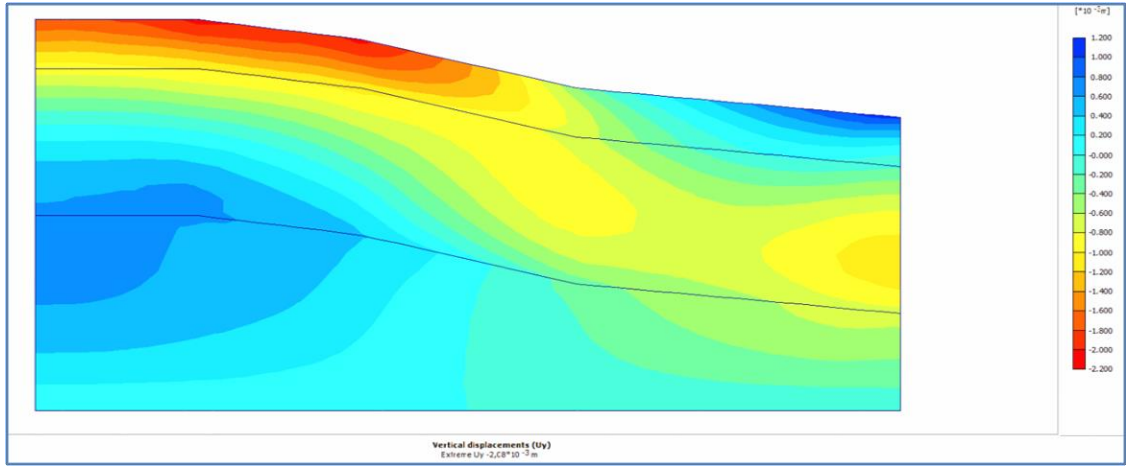
Şekil 4.52. Çalışma sahası-3 doğal durumda yeraltı su seviyesi durumu (YASS)



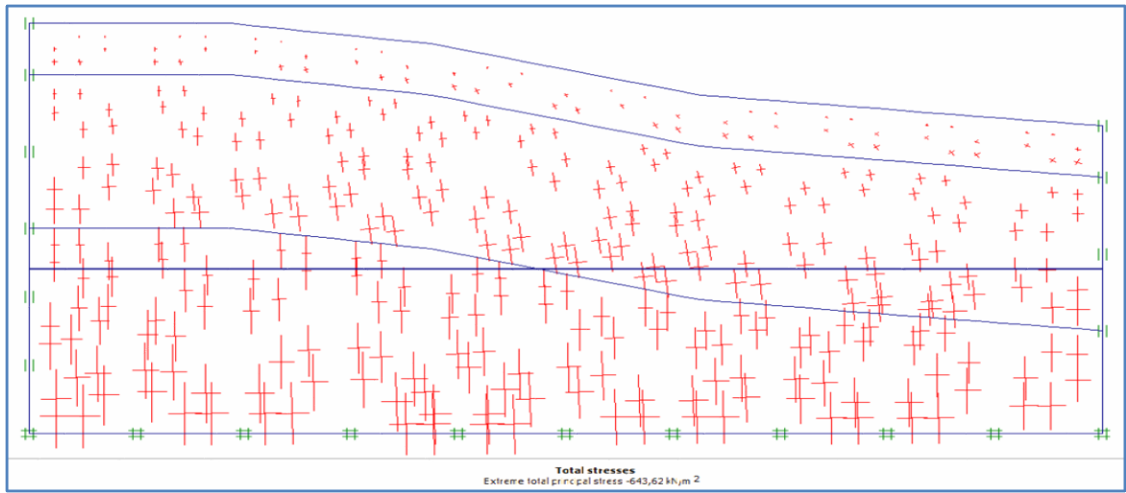
Şekil 4.53. Çalışma sahası-3 doğal durumda toplam deformasyon modeli



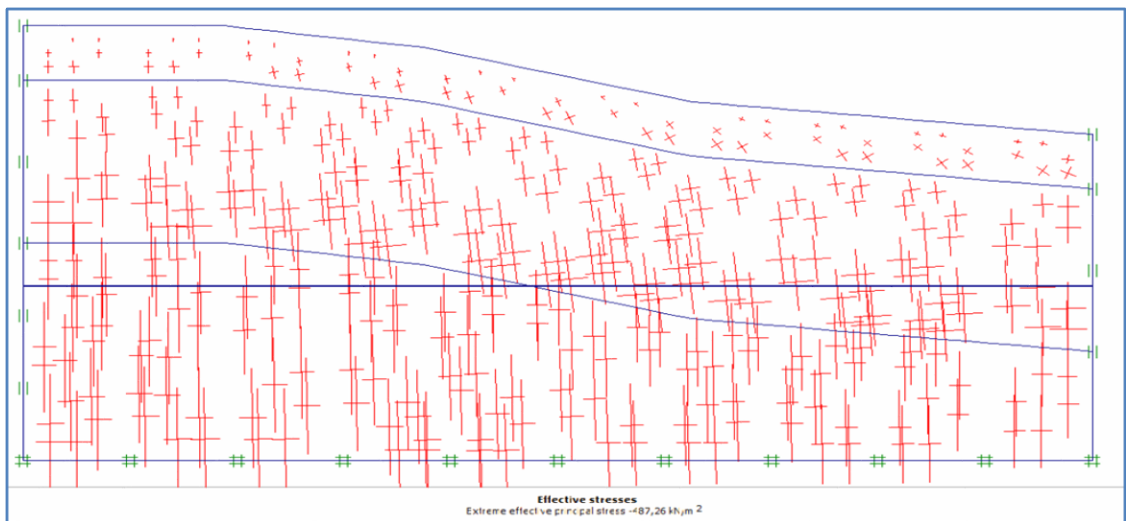
Şekil 4.54. Çalışma sahası-3 doğal durumda yatay deformasyon modeli



Şekil 4.55. Çalışma sahası-3 doğal durumda düşey deformasyon modeli



Şekil 4.56. Çalışma sahası-3 doğal durumda toplam gerilme modeli



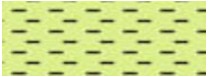
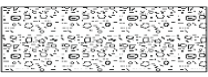
Şekil 4.57. Çalışma sahası-3 doğal durumda efektif gerilme modeli

4.3.2. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

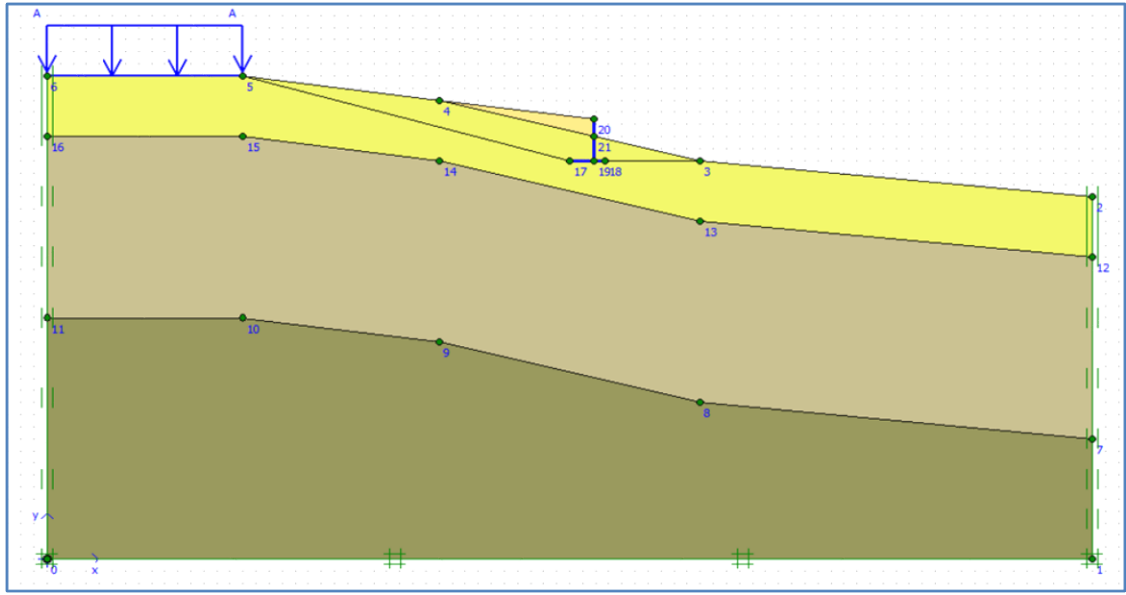
Bu bölümde, çalışma sahası-3 için PLAXIS 2D programı ile modelleri oluşturulan 3 metrelik istinat duvarı çalışması incelenmiştir. Bu tasarımda, çalışma sahası-2 başlığı altındaki Yemekhane Binası'nda kullanılan betonarme istinat duvarlarına ait parametreler (Çizelge 4.13) kullanılarak Çalışma Sahası-3 zemin kesitine göre modeller oluşturulmuştur.

İnşaat sürecinin son durumuna göre toplam deplasman, düşey deplasman, yatay deplasman, toplam gerilme, efektif gerilme ve aktif su basıncı değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, istinat duvarlarının arkasında yer alan dolgu zeminin elastisite modülü, kohezyonu ve içsel sürtünme açısı gibi parametrelerin yanı sıra yeraltı su seviyesi ve yol yükü değerleri artırılıp azaltılarak bu değişikliklerin deplasman ve gerilme üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 metre istinat duvarında PLAXIS 2D programında kullanılan zeminin malzeme özellikleri Çizelge 4.17'de, istinat duvarı parametreleri ise Çizelge 4.13'te verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda, Şekil 4.58'de geometri modeli, Şekil 4.59'da ise sonlu elemanlar ağı modeli verilmiştir.

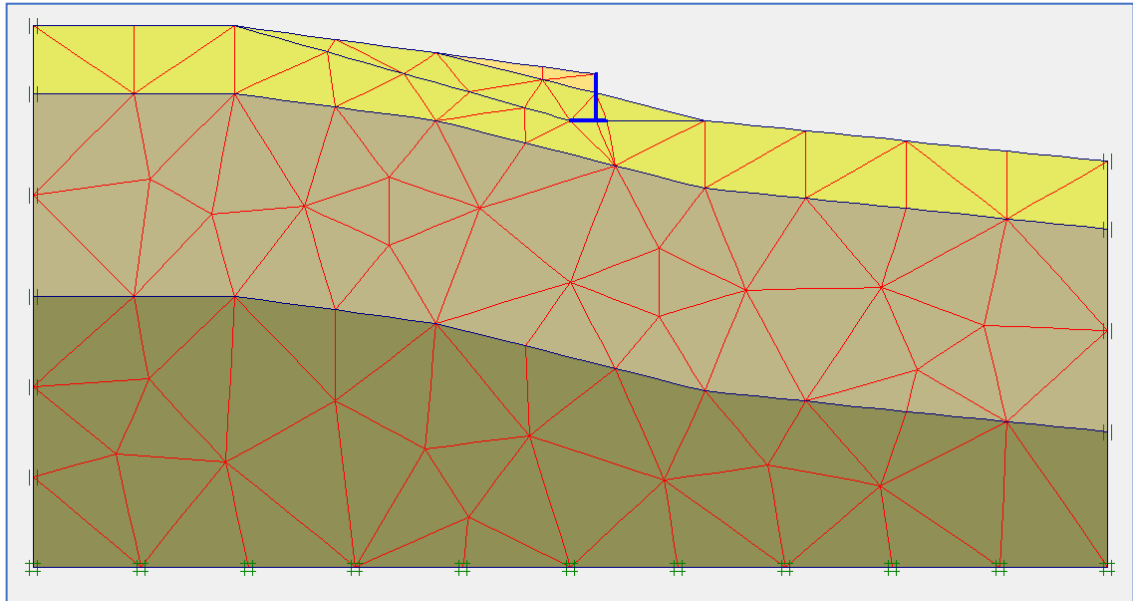
Çizelge 4.17. Çalışma sahası-3 zemin parametrelerinin özellikleri

	Dolgu	Kil	Sert Kil	Yoğun Kum
Litoloji				
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)	Mohr-Coulomb Model (MCM)
Malzeme Tipi	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı	Drenajlı
İçsel Sürtünme Açısı (ϕ°)	10	10	30	50
Birim hacim ağırlığı (γ) (kN/m³)	16	16	16.20	16
Doygun birim hacim ağırlığı (γ_{sat}) (kN/m³)	17	17	17	17

Kohezyon (c) (kN/m²)	50	30	35	0
Poisson Oranı (ν)	0.30	0.29	0.30	0.30
Elastisite modülü (E) (kN/m²)	15000	20000	45000	85000



Şekil 4.58. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait geometri modeli



Şekil 4.59. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı

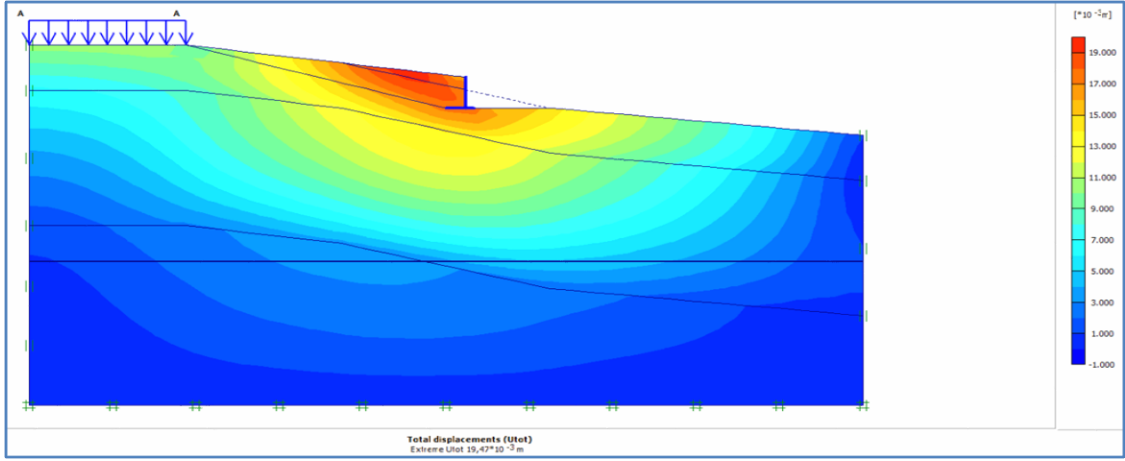
4.3.2.1. 3 metre istinat duvarında yapılan analizler

Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 metre istinat duvarının inşaatın tamamlanma aşaması olan son duruma göre, PLAXIS 2D programından elde edilen modellere ait sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir: Toplam deplasman : 19.47×10^{-3} m (Şekil 4.60), Yatay deplasman : 17.62×10^{-3} m (Şekil 4.61), Düşey deplasman : 10.49×10^{-3} m (Şekil 4.62), Toplam gerilme : 652.39 kN/m^2 (Şekil 4.63), Efektif gerilme : 495.93 kN/m^2 (Şekil 4.64), Aktif su basıncı : 158.04 kN/m^2 (Şekil 4.65), güvenlik sayısı ise 3.050 olarak hesaplanmıştır.

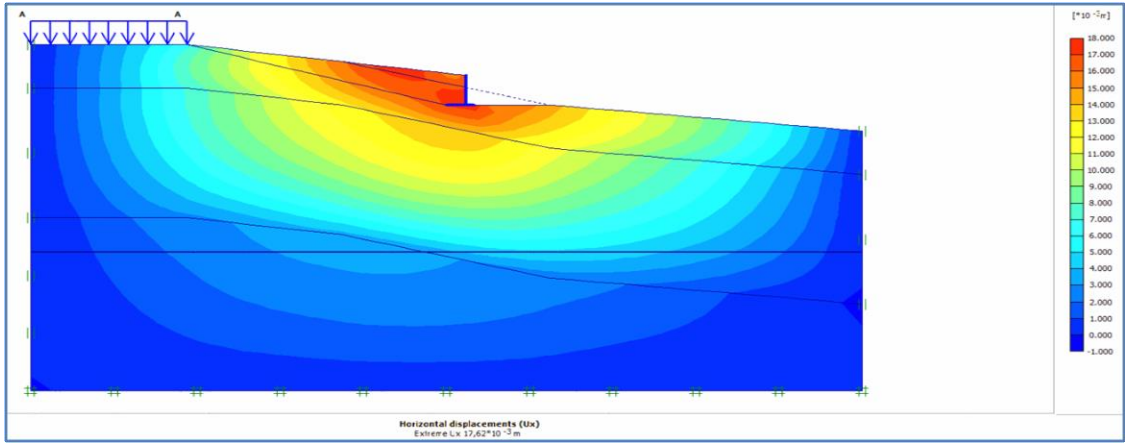
İnşaatın son aşamasına göre hesaplanan deformasyon değerleri zeminin doğal durumuyla karşılaştırıldığında, toplam deformasyon ve yatay deformasyon değerlerinde bir miktar artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin ise yaklaşık 5 kat arttığı tespit edilmiştir. Toplam gerilme ve efektif gerilme değerlerinde artışın olduğu, aktif su basıncı değerinin ise değişmediği görülmüştür.

Analiz sonucu elde edilen şekillerin incelenmesi sonucunda yapılan değerlendirmeler aşağıda belirtilmiştir:

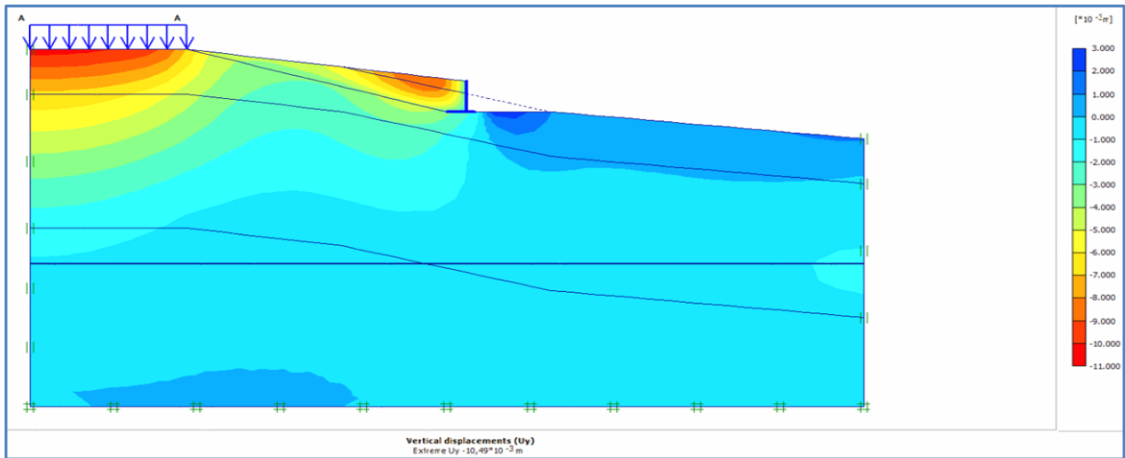
- Toplam ve yatay deplasman: En yüksek toplam ve yatay deplasman değerlerinin, istinat duvarının arkasında kalan dolgu zemin üzerinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu durum, dolgu zeminin taşıma kapasitesinin ve sıkışma davranışının, arkasında yer alan yükler ve duvarın etkisiyle şekillendiğini göstermektedir.
- Düşey deplasman: Düşey deplasmanın, istinat duvarının arkasındaki dolgu zemin ile yükün etkilediği üst tabaka olan killi zeminde yoğunlaştığı görülmüştür. Özellikle killi zeminin, yük altında sıkışma ve yer değiştirme davranışının daha belirgin olduğu, bu nedenle yük ile dolgu zemin arasındaki etkileşimde kritik bir rol oynadığı anlaşılmaktadır.
- Aktif su basıncı: Aktif su basıncının, yeraltı su seviyesinin başlangıç kotundan itibaren etkili olmaya başladığı ve derinlikle birlikte artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durum, yeraltı su seviyesinin zemine uyguladığı hidrostatik basıncın, derin tabakalarda artan etkisini göstermektedir.
- Toplam ve efektif gerilme: Toplam ve efektif gerilme değerlerinin zemin derinliği arttıkça yükseldiği görülmüştür. Üst tabakalarda bu gerilme değerlerinin nispeten düşük olması, yüzeydeki zemin katmanlarının daha az yük taşıırken, derin tabakaların yük aktarımında daha büyük bir rol oynadığını göstermektedir. Derin tabakalardaki yüksek efektif gerilme, zeminin dayanım kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır.



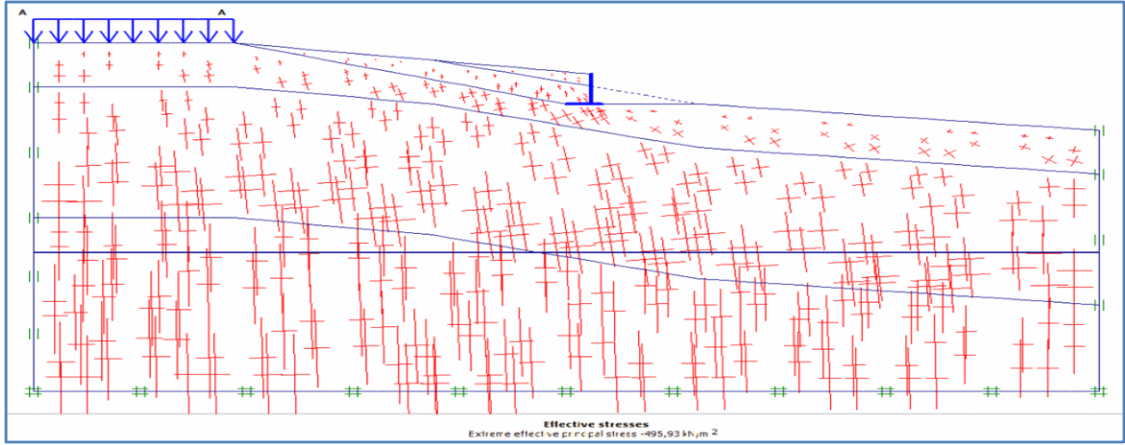
Şekil 4.60. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait toplam deformasyon modeli



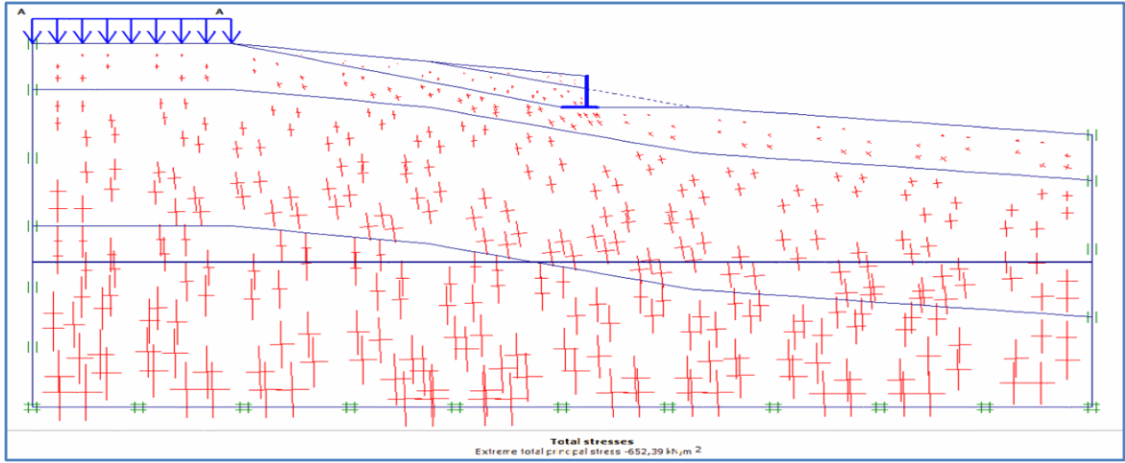
Şekil 4.61. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait yatay deformasyon modeli



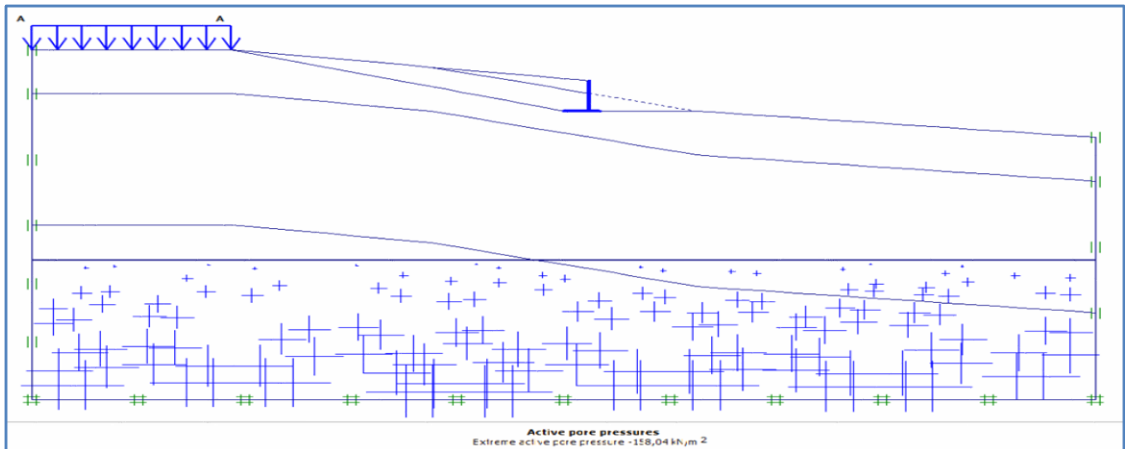
Şekil 4.62. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait düşey deformasyon modeli



Şekil 4.63. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait efektif gerilme modeli



Şekil 4.64. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait toplam gerilme modeli



Şekil 4.65. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m istinat duvarına ait aktif su basıncı modeli

4.3.2.2. Tasarlanan modelde farklı yeraltı suyu seviyelerinin (YASS) analizi

Çalışma sahası-3'te tasarlanan 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde, mevcut durumda yeraltı su seviyesi taban kotundan 15 metre yüksekliktedir. Mevcut duruma ek olarak yeraltı su seviyeleri sırasıyla taban seviyesinden 25 metre, 30 metre, 33 metre ve 34 metre yükseklikleri için yeni modeller oluşturulmuştur. Yeraltı su seviyesinin 34 metre yüksekliğe ulaştığı durum, istinat duvarının temel seviyesine denk gelmektedir.

Çalışmada, farklı kotlarda analiz edilen yeraltı su seviyesinin (YASS) zemine ve istinat duvarına olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda, farklı yeraltı su seviyesi (YASS) koşulları altında hem istinat duvarlarının hem de şevli zeminlerin performansı detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Yapılan analizler, istinat duvarı ve zemin arasındaki etkileşimi farklı yeraltı su seviyelerinde anlamayı ve bu doğrultuda güvenlik ve tasarım açısından öneriler geliştirme hedeflenmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.18'de, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.66'da, gerilme değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.67'de verilmiştir.

Çizelge 4.18'deki verilere göre; Toplam deplasman referans olarak kabul edilen 15 metre seviyesinde 1.947 cm'dir. Su seviyesi yükseldikçe toplam deplasmanın her aşamada artmış olduğu ve 34 metrede 2.272 cm olduğu görülmektedir. Bu durum, su seviyesinin artışına bağlı olarak istinat duvarına gelen hidrostatik yüklerin artmasından kaynaklanmaktadır. 15 metrede 1.762 cm olan yatay deplasman, 34 metreye çıkıldığında 2.196 cm'ye yükselmiştir. Su seviyesi yükseldikçe yatay deplasmanın da tüm aşamalarda artmış olduğu görülmektedir. 15 metredeki düşey deplasman 1.049 cm iken, 34 metrede bu değer 1.363 cm'ye çıkmıştır. Su seviyesi yükseldikçe düşey deplasmanın tüm aşamalarda artmış olduğu görülmektedir. Bu artış, su seviyesindeki yükselmenin zemine uyguladığı ek yükün istinat duvarı temelinde daha fazla oturmaya neden olduğunu göstermektedir.

Toplam gerilme değerleri, su seviyesi yükselmesine rağmen 652.39 kN/m²'den (15 metre) 662.55 kN/m²'ye (34 metre) kadar sadece sınırlı bir artış göstermiştir. Dolayısıyla bu durum, zeminin taşıma kapasitesinin su seviyesi değişikliklerinden belirli bir düzeyde etkilenmediğini, ancak hidrostatik basıncın artışıyla gerilme değerinin biraz yükseldiğini göstermektedir. Efektif gerilme, 15 metrede 495.93 kN/m² iken, 34 metreye çıkıldığında 333.4 kN/m²'ye düşmüştür. Bu düşüş, su seviyesinin artışıyla zemindeki

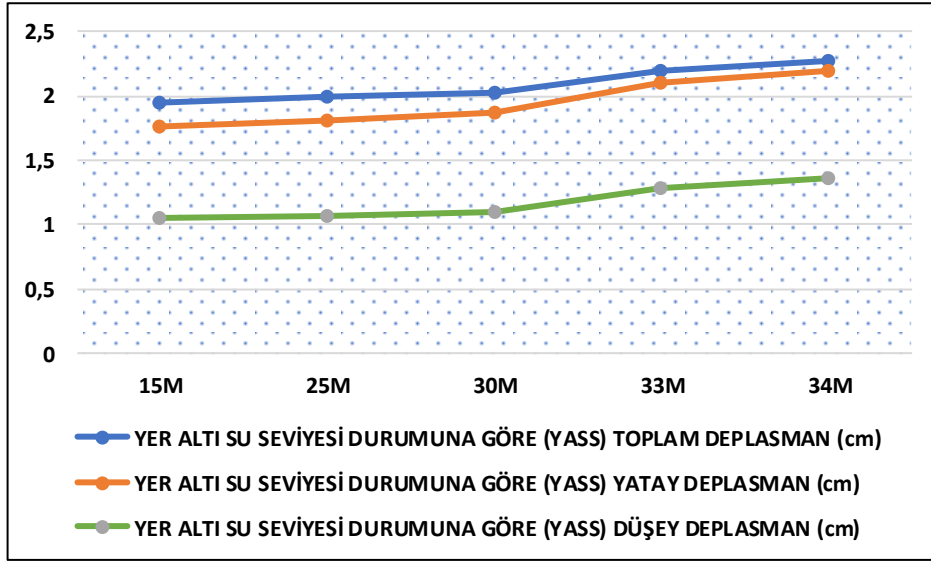
efektif gerilmenin azaldığını ve suyun zemindeki tanecikler arasındaki bağı zayıflattığını göstermektedir. Aktif su basıncı, 15 metrede 158.04 kN/m² iken, su seviyesi 34 metreye yükseldiğinde 335.54 kN/m²'ye çıkmıştır. Burada su seviyesinin artışıyla hidrostatik basıncın doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.

Referans durum olan 15 m'ye göre güvenlik sayısı 3.050 olarak hesaplanmıştır. 30 m seviyesine kadar güvenlik sayısının sabit kaldığı, 33 m seviyesinden itibaren güvenlik sayısında azalma olduğu görülmüştür. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

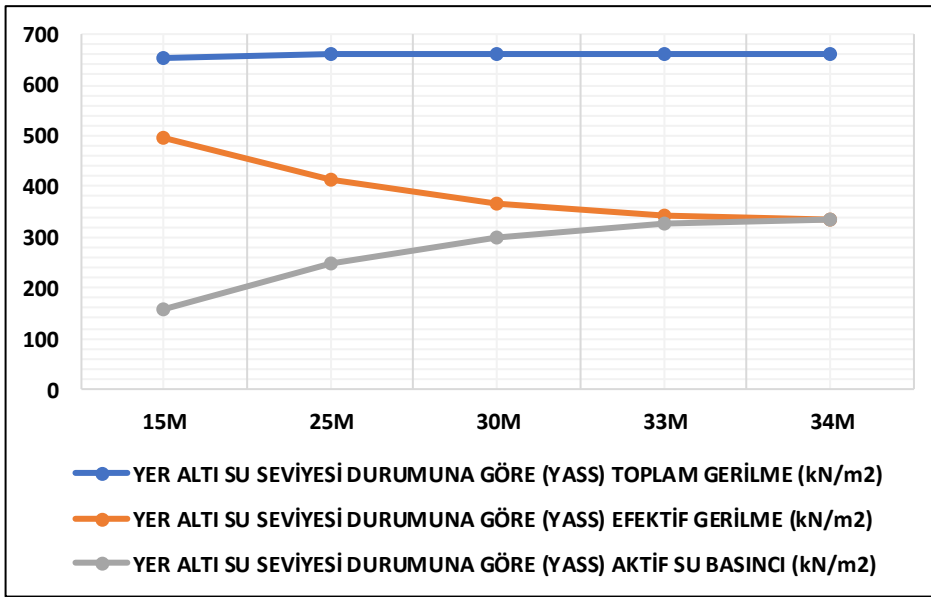
Yeraltı su seviyesi arttıkça istinat duvarı üzerinde hem yatay hem de düşey deplasmanlar artmakta, zemin ve duvar üzerindeki toplam gerilme ve aktif su basıncı yükselmektedir. Ancak efektif gerilmenin azalması, zemin stabilitesini olumsuz etkileyebilecek bir faktördür. Bu sonuçlar, yüksek su seviyelerine karşı istinat duvarı tasarımında özellikle drenaj sistemlerinin ve zemin iyileştirme yöntemlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

Çizelge 4.18. 3 metre istinat duvarı çalışmasında yeraltı su seviyesinin değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları

	15 m	25 m	30 m	33 m	34 m
Toplam Deplasman (cm)	1.947	1.990	2.027	2.201	2.272
Yatay Deplasman (cm)	1.762	1.812	1.872	2.102	2.196
Düşey Deplasman (cm)	1.049	1.074	1.102	1.275	1.363
Toplam Gerilme (kN/m²)	652.39	659.41	662.83	661.79	662.55
Efektif Gerilme (kN/m²)	495.93	412.95	366.38	340.97	333.4
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	248.04	298.04	325.60	335.54
Güvenlik Sayısı (G.S.)	3.050	3.050	3.050	3.024	2.999



Şekil 4.66. YASS durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)



Şekil 4.67. YASS durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)

4.3.2.3. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değiştirilmesi

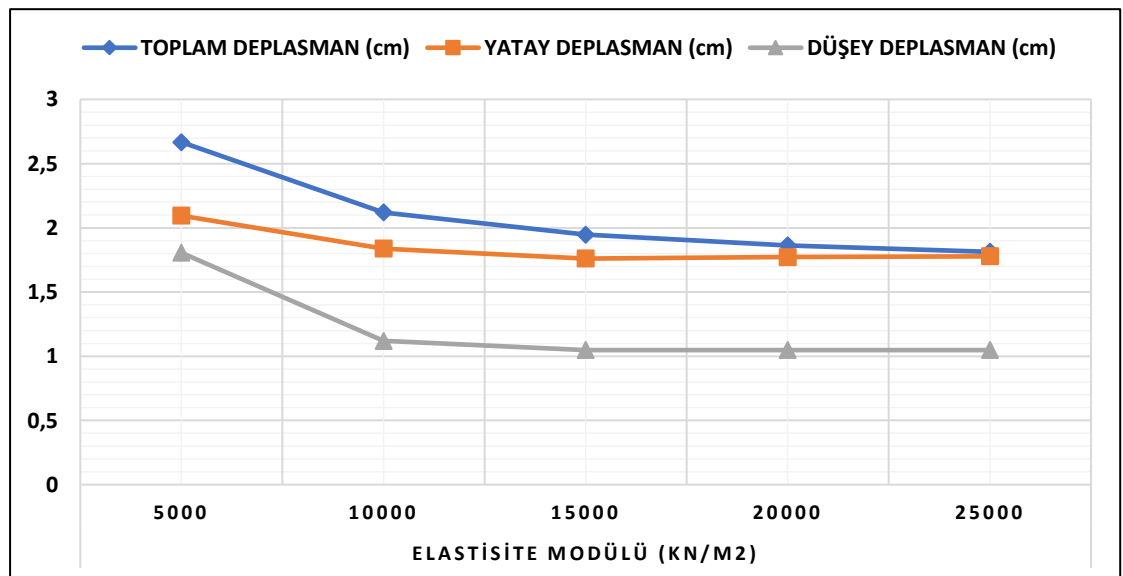
Çalışma sahası-3'te tasarlanan 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde istinat duvarı arkasındaki dolgu zeminin elastisite modülü 15000 kN/m²'dir. Bu bölümde çalışmada, başka bir değişiklik yapılmadan mevcut duruma ek olarak dolgu zeminin elastisite modülü artırılarak ve azaltılarak yeni modeller

oluşturulmuştur. 15000 kN/m² referans alınacak şekilde, 5000 kN/m², 10000 kN/m², 20000 kN/m² ve 25000 kN/m² elastisite modülü değişikliklerine göre oluşan deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.19’da, deplasman değişimlerine ait grafik şekil 4.68’de, gerilme değişimlerine ait grafik ise şekil 4.69’da verilmiştir. Çizelge 4.19’daki verilere göre; 15000 kN/m² elastisite modülünde toplam deplasman 1.947 cm’dir. Elastisite modülü azaldıkça (örneğin, 5000 kN/m² için) toplam deplasman 2.668 cm’ye çıkmakta, bu da daha düşük elastisite modülüne sahip bir zeminin deformasyona daha açık olduğunu göstermektedir. Elastisite modülü arttığında (örneğin, 25000 kN/m² için) toplam deplasman 1.814 cm’ye düşmektedir. Bu da daha rijit bir zeminde deformasyon direncinin arttığını ortaya koymaktadır. Bu durum, sert bir zeminin deformasyona karşı daha dirençli olduğunu göstermektedir. 15000 kN/m² elastisite modülünde yatay deplasman 1.762 cm’dir. Daha düşük elastisite modülünde (örneğin, 5000 kN/m² için) bu değer 2.095 cm’ye çıkmıştır. Bu durum, düşük rijitliğe sahip zeminin su basıncına karşı yatay yönde daha fazla hareket ettiğini göstermektedir. Yüksek elastisite modülüne sahip zeminlerde (örneğin, 25000 kN/m² için) yatay deplasman 1.779 cm’ye ulaşarak neredeyse sabit bir değere ulaştığı görülmektedir. Bu da yüksek elastik modüllü zeminlerin yatay yükler altında daha stabil olduğunu göstermektedir. 15.000 kN/m² elastisite modülünde düşey deplasman 1.049 cm’dir. Elastisite modülü 5000 kN/m²’ye düştüğünde bu değer 1.806 cm’ye çıkmıştır. Bu durum, zeminin düşey yöndeki yükleri taşıma kapasitesinin düşük elastisiteye sahip zeminlerde azaldığını göstermektedir. Yüksek elastisite modüllerinde (20000 ve 25000 kN/m²), düşey deplasman 1.049 cm’de sabit kalmıştır. Bu durumda ise zemin rijitliğinin belli bir noktadan sonra düşey deformasyona etkisinin sınırlı olduğu tespi edilmiştir. 15000 kN/m² elastisite modülünde toplam gerilme 652.39 kN/m²’dir. Elastisite modülü değiştiğinde toplam gerilme değerleri çok sınırlı bir şekilde değişmekte (652.36–652.41 kN/m² arasında) ve bu da elastisite modülünün toplam gerilme üzerindeki etkisinin çok az olduğunu göstermektedir. 15000 kN/m² elastisite modülünde efektif gerilme 495.93 kN/m²’dir. Diğer elastisite modülleriyle karşılaştırıldığında, değerler çok sınırlı bir farkla 495.90–495.96 kN/m² arasında değişmektedir. Bu durum, elastisite modülünün efektif gerilme üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir seviyede olduğunu ortaya koymaktadır. Aktif su basıncı elastisite modülünden bağımsız olarak tüm durumlarda sabit kalmış ve 158.04 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, aktif su basıncının yer altı su seviyesi ile ilgili olduğunu dolayısı ile elastisite modülüyle ilişkisiz olduğunu göstermektedir.

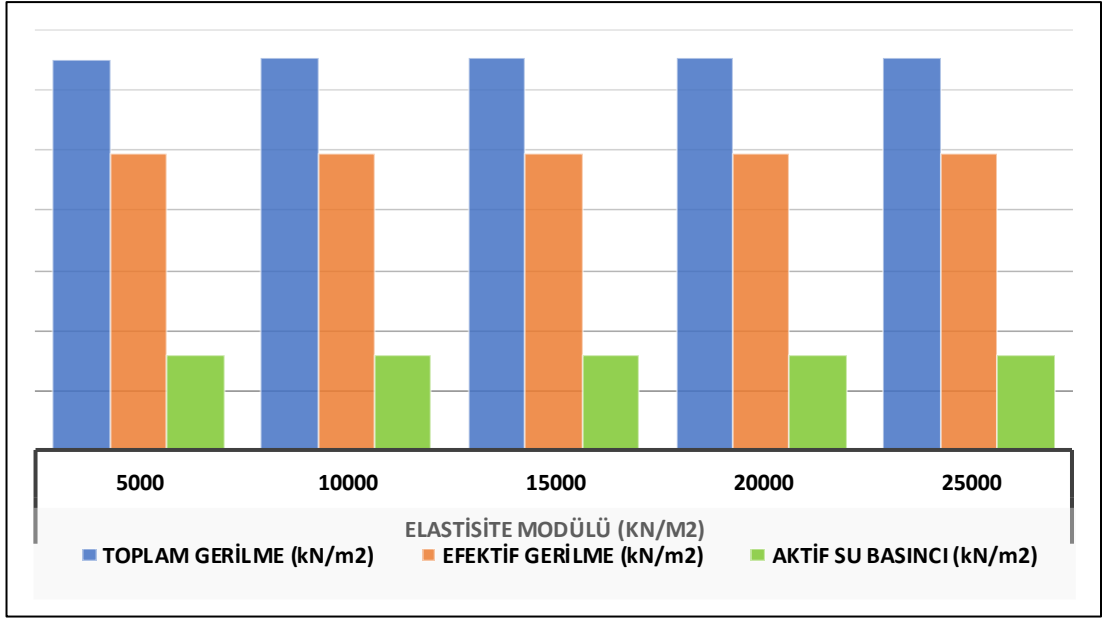
Referans durum olan 15000 kN/m²'ye göre güvenlik sayısı 3.050 olarak hesaplanmıştır. Elastisite modülünün artması ve azalması ile güvenlik sayısı değerlerinde doğru orantılı olarak artış ve azalış gözlemlenmiştir. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.19. 3 metre istinat duvarı çalışmasında istinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları

	5000 kN/m ²	10000 kN/m ²	15000 kN/m ²	20000 kN/m ²	25000 kN/m ²
Toplam Deplasman (cm)	2.668	2.120	1.947	1.863	1.814
Yatay Deplasman (cm)	2.095	1.839	1.762	1.772	1.779
Düşey Deplasman (cm)	1.806	1.120	1.049	1.049	1.049
Toplam Gerilme (kN/m²)	652.36	652.38	652.39	652.40	652.41
Efektif Gerilme (kN/m²)	495.90	495.92	495.93	495.95	495.96
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	3.040	3.043	3.050	3.051	3.051



Şekil 4.68. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)



Şekil 4.69. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)

4.3.2.4. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değiştirilmesi (c/ϕ)

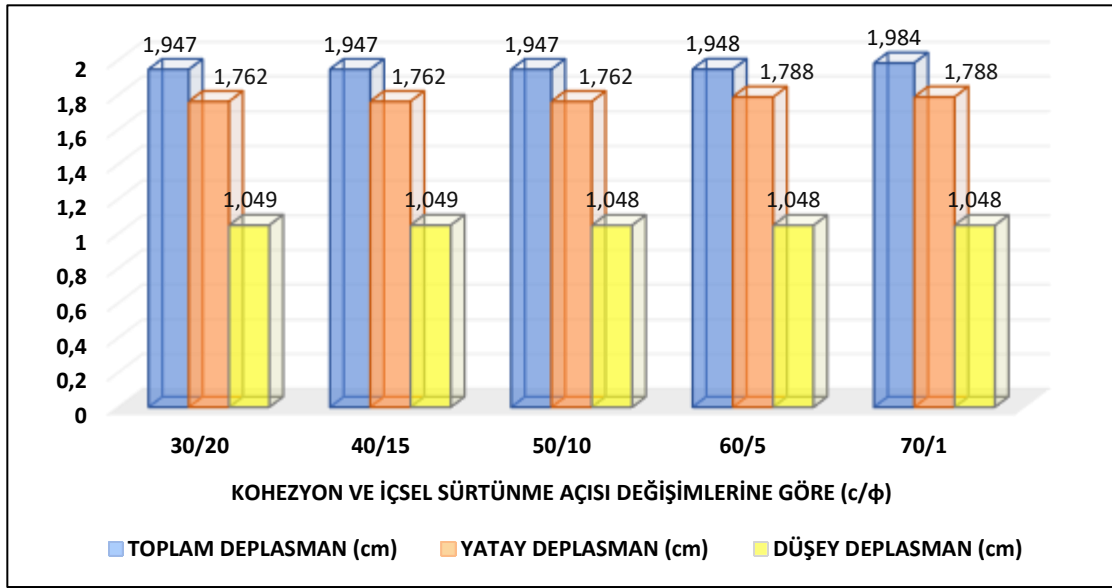
Çalışma sahası-3'te tasarlanan 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde istinat duvarı arkasındaki dolgu zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri 50 kN/m^2 ve 10° 'dır. Bu çalışmada, mevcut duruma ek olarak dolgu zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri mevcut duruma göre orantılı bir şekilde artırılıp ve azaltılarak yeni modeller oluşturulmuştur. 50 kN/m^2 ve 10° referans alınacak şekilde, $(30 \text{ kN/m}^2, 20^\circ)$, $(40 \text{ kN/m}^2 / 15^\circ)$, $(60 \text{ kN/m}^2 / 5^\circ)$ ve $(70 \text{ kN/m}^2 / 1^\circ)$ değerlerine göre oluşan yeni deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.20'de, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.70'de, gerilme değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.71'de verilmiştir. Çizelge 4.20'deki verilere göre; 50/10 referans durumunda toplam deplasman 1.947 cm 'dir. Kohezyonun artıp ve içsel sürtünme açısının azaldığı (70/1) durumunda, toplam deplasman 1.984 cm 'ye yükselmiştir. Deplasmandaki bu artış, düşük içsel sürtünme açısının zeminin kaymaya karşı direncini azalttığını ve bu nedenle istinat duvarında daha fazla deformasyona yol açtığını göstermektedir. Ancak, artışın oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. 30/20, 40/15, 50/10, 60/5 durumlarında toplam deplasman değerlerindeki değişimler incelendiğinde

değerlerin aynı olduğu görülmektedir. Referans durumunda yatay deplasman 1.762 cm olarak hesaplanmıştır. 60/5 ve 70/1 durumlarında yatay deplasman artarak 1.788 cm'ye yükselmiştir. Bu artış, içsel sürtünme açısının azalmasıyla zeminin yatay yöndeki direncinin azaldığını ve yatay yüklerin etkisini artırdığını göstermektedir. 30/20, 40/15, 50/10 durumlarında ise yatay deplasmanda herhangi bir değişim gözlenmemiştir. Düşey deplasman 50/10 referans durumda 1.049 cm'dir. Diğer tüm durumlarda düşey deplasman neredeyse sabit kalarak 1.048 cm veya 1.049 cm seviyesinde kalmıştır. Bu sonuç, kohezyonun artışının ve içsel sürtünme açısının azalışının düşey hareket üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Toplam gerilme 50/10 durumunda 652.39 kN/m²'dir. 60/5 ve 70/1 durumlarında toplam gerilme 652.28 kN/m²'ye düşmüştür. Bu azalma, içsel sürtünme açısının azalmasıyla birlikte zemindeki kayma direncinin düşmesi olarak yorumlanmıştır. Ancak değişimin oldukça küçük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte; 30/20, 40/15, 50/10 durumlarında toplam gerilme değerlerinde herhangi bir değişim gözlemlenmiştir. 50/10 referans durumunda efektif gerilme değeri 495.93 kN/m²'dir. 60/5 ve 70/1 durumlarında bu değer 495.82 kN/m²'ye düşmüştür. Bu durum, zeminin azalan içsel sürtünme açısı nedeniyle bir miktar zayıfladığını göstermektedir. Ancak bu değişimin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca 30/20, 40/15, 50/10 durumlarında efektif gerilme değerlerinde bir değişim gözlenmemiştir. Aktif su basıncı, tüm durumlarda sabit kalmış ve 158.04 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Bu durumun, aktif su basıncının kohezyon veya içsel sürtünme açısına bağlı olmadığını göstermektedir. Referans durum olan 50 kN/m² ve 10°'ye göre güvenlik sayısı 3.050 olarak hesaplanmıştır. Kohezyon değeri arttıkça güvenlik sayısının da doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

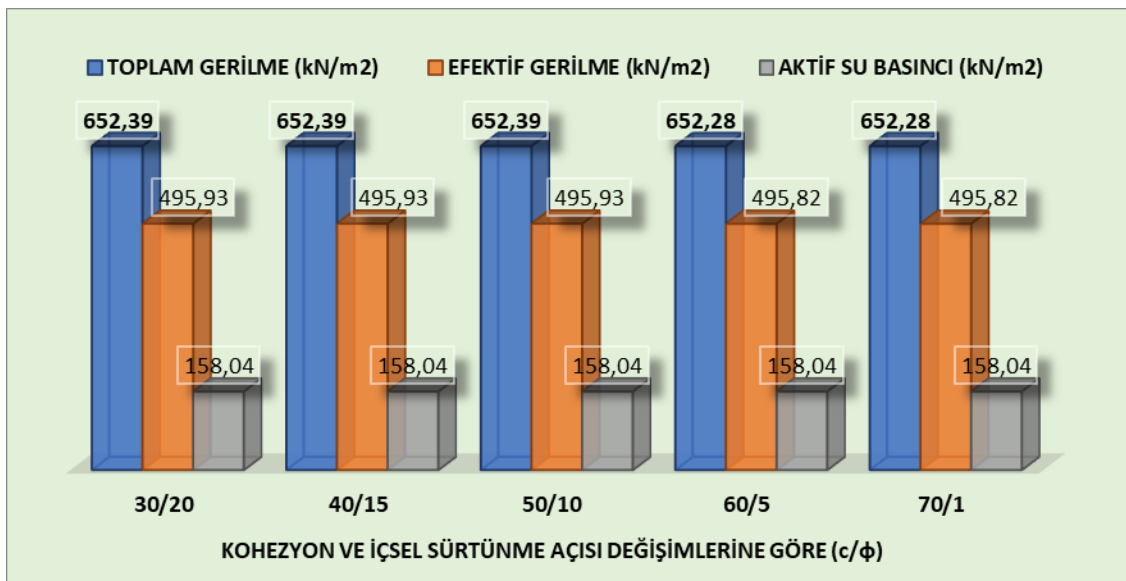
Çizelge 4.20. 3 metre istinat duvarı çalışmasında kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değişimine göre oluşan güvenlik sayıları, deplasman ve gerilme sonuçları

	30/20 (c/φ)	40/15 (c/φ)	50/10 (c/φ)	60/5 (c/φ)	70/1 (c/φ)
Toplam Deplasman (cm)	1.947	1.947	1.947	1.948	1.984
Yatay Deplasman (cm)	1.762	1.762	1.762	1.788	1.788
Düşey Deplasman (cm)	1.049	1.049	1.048	1.048	1.048

Toplam Gerilme (kN/m²)	652.39	652.39	652.39	652.28	652.28
Efektif Gerilme (kN/m²)	495.93	495.93	495.93	495.82	495.82
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	2.961	3.034	3.050	3.442	3.455



Şekil 4.70. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)



Şekil 4.71. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (3 m istinat duvarı)

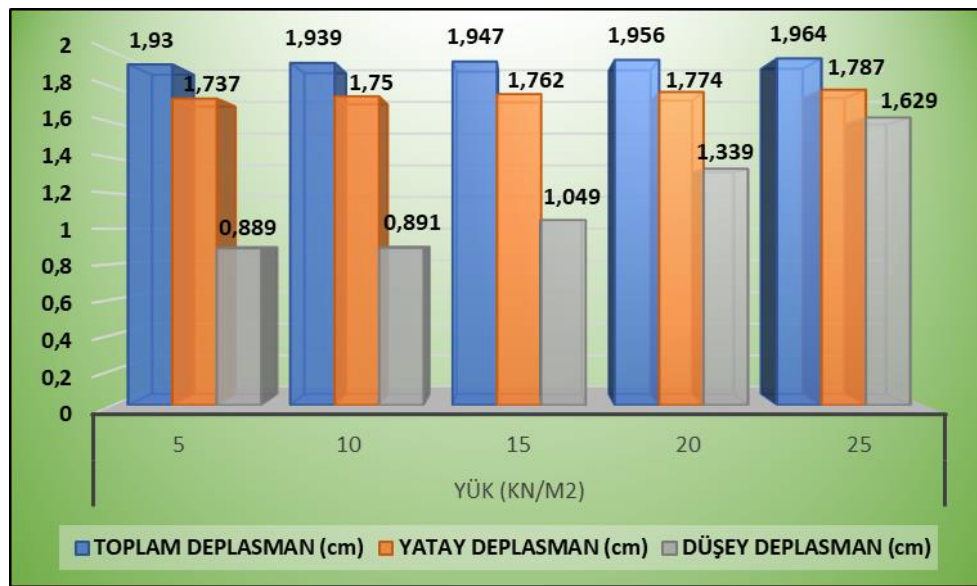
4.3.2.5. Tasarlanan modelde yük değerlerinin değiştirilmesi

Çalışma sahası-3'te tasarlanan 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde yük zemine 15 kN/m^2 olarak etki etmektedir. Bu çalışmada, mevcut duruma ek olarak yük değerleri mevcut duruma göre orantılı bir şekilde artırılarak ve azaltılarak yeni modeller oluşturulmuştur. 15 kN/m^2 referans alınacak şekilde, 5 kN/m^2 , 10 kN/m^2 , 20 kN/m^2 ve 25 kN/m^2 değerlerine göre oluşan yeni deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. Bununla birlikte, zemine etkiyen yol yükünün farklı değerlerine göre istinat duvarı ve şevli zeminde oluşabilecek değişimleri gözlemlenmiştir. Yapılan analizler ile toplam deplasman, yatay deplasman, düşey deplasman, toplam gerilme, efektif gerilme ve aktif su basıncı değerlerinde oluşan değişimler incelenerek yorumlanmıştır. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.21'de, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.72'de, gerilme değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.73'te verilmiştir. Çizelge 4.21'deki verilere göre; Referans durumda toplam deplasman 1.947 cm 'dir. Yük değeri 5 kN/m^2 olduğunda toplam deplasman 1.930 cm 'ye düşerken, 25 kN/m^2 olduğunda 1.964 cm 'ye yükselmiştir. Yük arttıkça toplam deplasmanda kademeli bir artış görülmektedir. Bu, artan yükün zemine daha fazla baskı yaparak daha fazla deformasyona neden olduğunu göstermektedir. Yük azaldıkça da toplam deplasmanda kademeli bir azalış görülmektedir. Ancak artış ve azalışlar sınırlı bir düzeyde kalmıştır. Yatay deplasman 15 kN/m^2 referans durumunda 1.762 cm 'dir. 5 kN/m^2 yükte yatay deplasman 1.737 cm 'ye düşmüş, 25 kN/m^2 yükte ise 1.787 cm 'ye çıkmıştır. Yük arttıkça yatay deplasmanda artış, yük azaldıkça da azalış meydana gelmiştir. Düşey deplasman referans durumda 1.049 cm 'dir. 5 kN/m^2 yükte düşey deplasman 0.889 cm iken, 25 kN/m^2 yükte bu değer 1.629 cm 'ye çıkmıştır. Düşey deplasman, yük arttıkça belirgin bir şekilde artış göstermiştir. Düşey deformasyon, yük artışıyla en çok etkilenen sonuçları vermiştir. Referans duruma göre toplam gerilme 652.39 kN/m^2 'dir. 5 kN/m^2 yükte toplam gerilme 646.79 kN/m^2 iken, 25 kN/m^2 yükte 658.02 kN/m^2 'ye yükselmiştir. Dolayısıyla yük arttıkça toplam gerilme değerinde düzenli bir artış, aynı şekilde yük azaldıkça da değerlerde azalış gözlemlenmiştir. Efektif gerilme 15 kN/m^2 yük durumunda 495.93 kN/m^2 'dir. 5 kN/m^2 yükte efektif gerilme 490.34 kN/m^2 , 25 kN/m^2 yükte ise 501.56 kN/m^2 olarak hesaplanmıştır. Efektif gerilme, yük arttıkça kademeli bir şekilde yükselmiştir. Bu durum, artan yük ile birlikte zemine etki eden normal gerilmenin arttığını ve zemin dayanımının bu doğrultuda değiştiğini göstermektedir. Aktif su basıncı tüm yük seviyelerinde sabit kalmış ve 158.04 kN/m^2 olarak

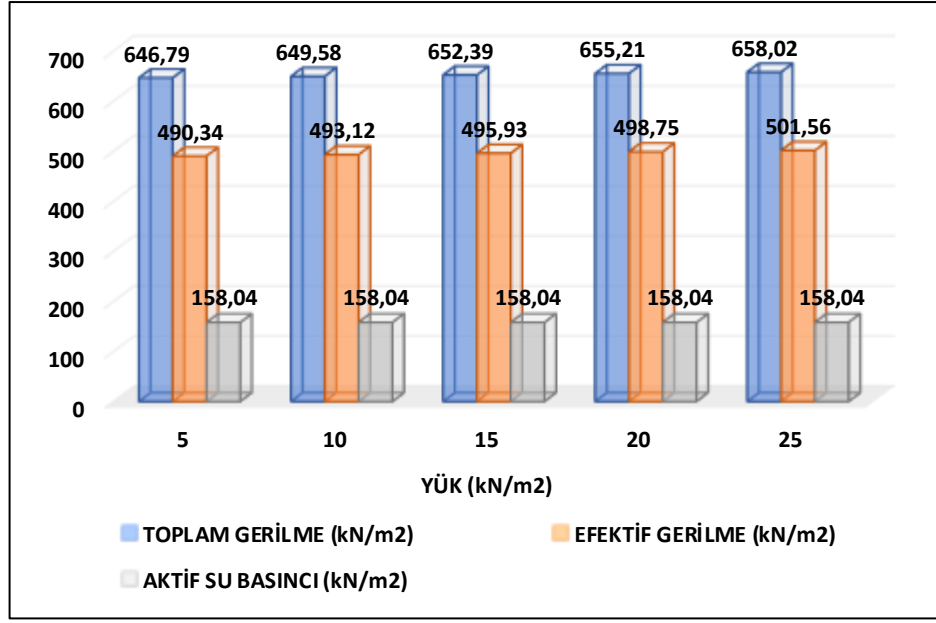
hesaplanmıştır. Yük değışiklikleri aktif su basıncını etkilememiştir, dolayısıyla su basıncının, zemine uygulanan yükten bağımsız olarak yeraltı su seviyesine bağılı-olduğı görülmüştür. Referans durum olan 15 kN/m²'ye göre güvenlik sayısı 3,050 olarak hesaplanmıştır. Yük değeriğerlerinin artması ve azalması ile güvenlik sayısı değeriğerlerinde doğru orantılı olarak artış ve azalış gözlemlenmiştir. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.21. 3 metre istinat duvarı çalışmasında yük değışimlerine göre oluşan deplasman ve gerilme sonuçları

	5 (kN/m ²)	10 (kN/m ²)	15 (kN/m ²)	20 (kN/m ²)	25 (kN/m ²)
Toplam Deplasman (cm)	1.930	1.939	1.947	1.956	1.964
Yatay Deplasman (cm)	1.737	1.750	1.762	1.774	1.787
Düşey Deplasman (cm)	0.889	0.891	1.049	1.339	1.629
Toplam Gerilme (kN/m²)	646.79	649.58	652.39	655.21	658.02
Efektif Gerilme (kN/m²)	490.34	493.12	495.93	498.75	501.56
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	3.046	3.048	3.050	3.050	3.051



Şekil 4.72. Yük değışimlerine göre oluşan deplasman grafiğı (3 m istinat duvarı)

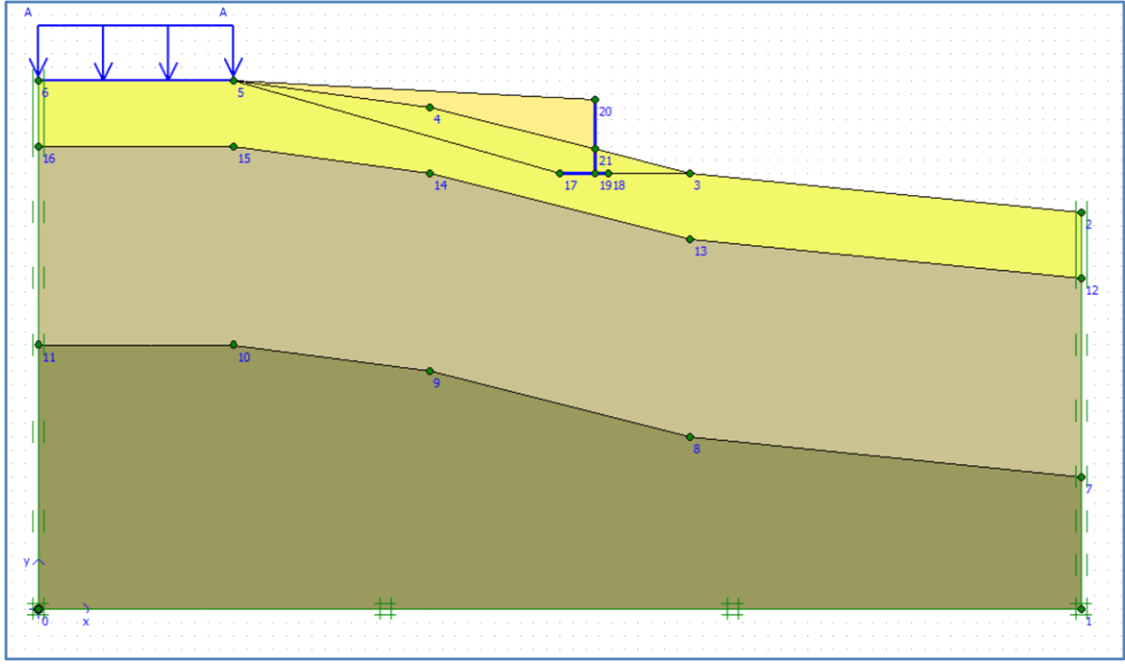


Şekil 4.73. Yük değişimlerine göre oluşan gerilme grafiği (3 m istinat duvarı)

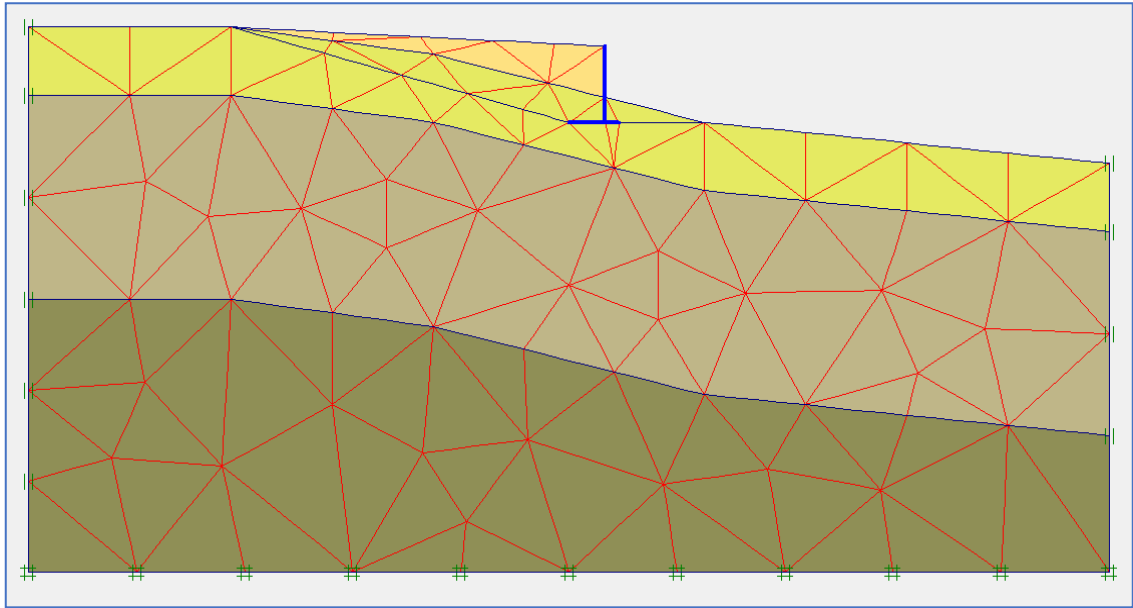
4.3.3. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait analizler ve elde edilen modeller

Bu bölümde, Çalışma sahası-3 için PLAXIS 2D programı ile modelleri oluşturulan 5 metrelik istinat duvarı çalışması incelenmiştir. Bu tasarımda, Çalışma sahası-2 başlığı altındaki Yemekhane Binası'nda kullanılan betonarme istinat duvarlarına ait parametreler (Çizelge 4.13) kullanılarak Çalışma sahası-3 zemin kesitine göre modeller oluşturulmuştur. İnşaat sürecinin son durumuna göre toplam deplasman, düşey deplasman, yatay deplasman, toplam gerilme, efektif gerilme ve aktif su basıncı değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca, istinat duvarlarının arkasında yer alan dolgu zeminin elastisite modülü, kohezyonu ve içsel sürtünme açısı gibi parametrelerin yanı sıra yeraltı su seviyesi ve yol yükü değerleri artırılıp azaltılarak bu değişikliklerin deplasman ve gerilme üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 metre istinat duvarında PLAXIS 2D programında kullanılan zeminin malzeme özellikleri Çizelge 4.17'de, istinat duvarı parametreleri ise Çizelge 4.13'te verilmiştir. Mohr-Coulomb malzeme modeli kullanılarak yapılan analiz sonucunda, Şekil 4.74'te geometri modeli, Şekil 4.75'te ise sonlu elemanlar ağı verilmiştir.



Şekil 4.74. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait geometri modeli



Şekil 4.75. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait sonlu elemanlar ağı modeli

4.3.3.1. 5 metre istinat duvarında yapılan analizler

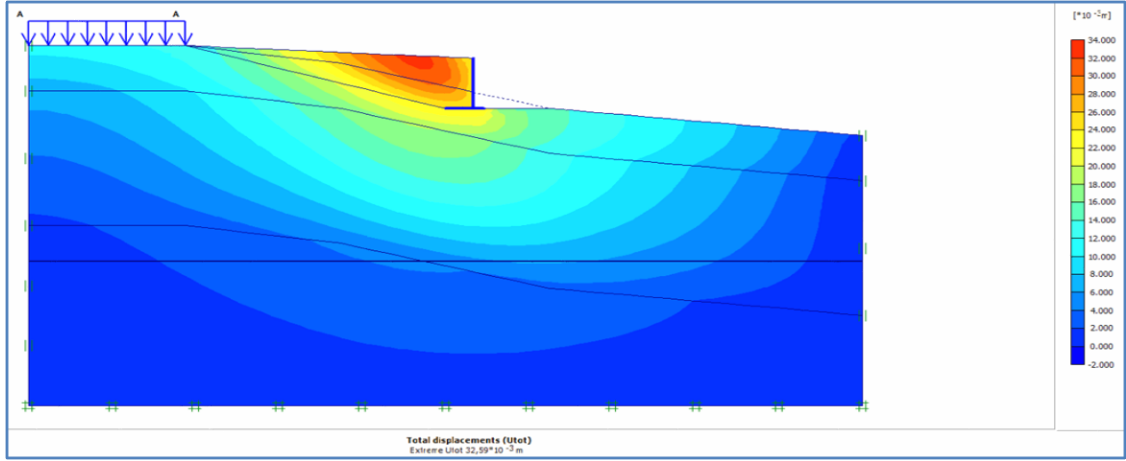
Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 metre istinat duvarının inşaatın tamamlanma aşaması olan son duruma göre, PLAXIS 2D programından elde edilen modellere ait sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir: Toplam deplasman : 32.59×10^{-3} m (Şekil 4.76),

Yatay deplasman : 20.85×10^{-3} m (Şekil 4.77), Düşey deplasman : 26.09×10^{-3} m (Şekil 4.78), Toplam gerilme : 657.31 kN/m^2 (Şekil 4.79), Efektif gerilme : 501.44 kN/m^2 (Şekil 4.80), Aktif su basıncı : 158.04 kN/m^2 (Şekil 4.81), güvenlik sayısı ise 3.050 olarak hesaplanmıştır.

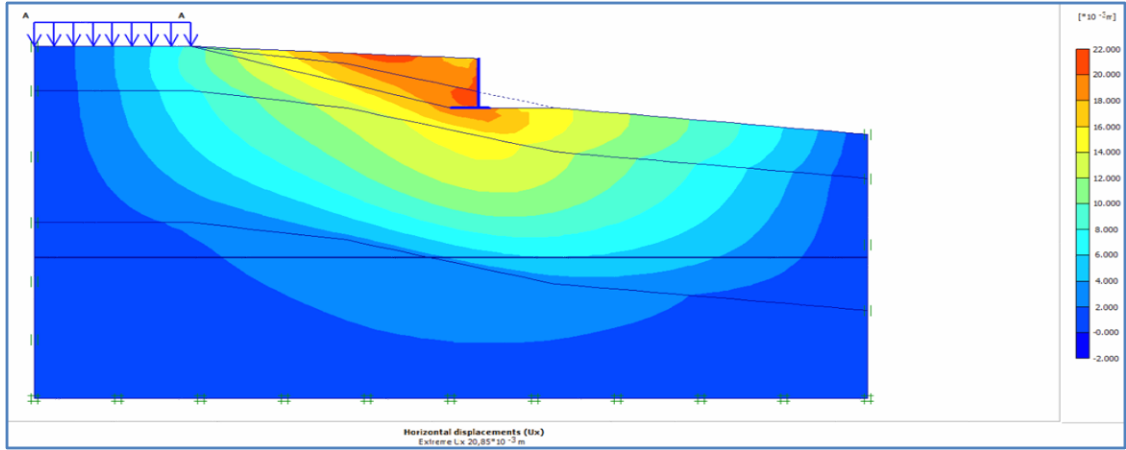
İnşaatın son aşamasına göre hesaplanan deformasyon değerleri zeminin doğal durumuyla karşılaştırıldığında, toplam deformasyon değerinde yaklaşık iki kat artışın olduğu, yatay deformasyon değerlerinde bir miktar artışın olduğu, düşey deformasyon değerinin ise yaklaşık 13 kat arttığı tespit edilmiştir. Toplam gerilme ve efektif gerilme değerlerinde sırasıyla 13.69 kN/m^2 ve 14.18 kN/m^2 artışın olduğu, aktif su basıncı değerinin ise değişmediği görülmüştür.

Analiz sonucu elde edilen şekillerin incelenmesi sonucunda yapılan değerlendirmeler aşağıda belirtilmiştir:

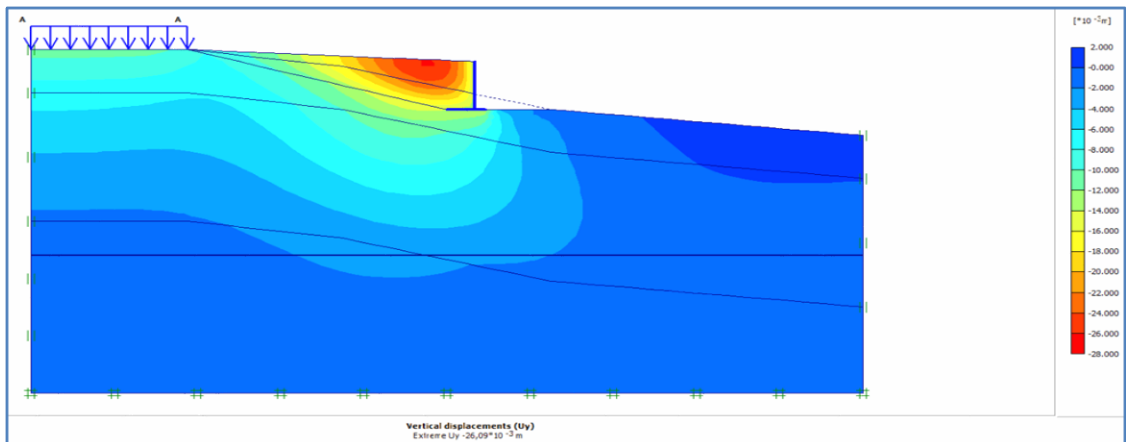
- Toplam deplasman ve düşey deplasman: En yüksek toplam deplasman ve düşey deplasman değerlerinin, istinat duvarının arkasında kalan dolgu zemin üzerinde gerçekleştiği görülmektedir.
- Yatay deplasman: En yüksek toplam deplasman değerinin, istinat duvarının arkasında kalan dolgu zemin üzerinde gerçekleştiği görülmektedir. Burada da dolgunun üst bölgesi ve istinat duvarı alt kısımlarında en yüksek değerlere ulaştığı anlaşılmaktadır.
- Aktif su basıncı: Aktif su basıncının, yeraltı su seviyesinin başlangıcından itibaren etkili olmaya başladığı ve derinlik arttıkça artış gösterdiği tespit edilmiştir. Yeraltı su seviyesinin zemine uyguladığı hidrostatik basınç ile derin tabakalarda etkisini daha fazla göstermektedir.
- Toplam ve efektif gerilme: Zemin derinliği arttıkça toplam ve efektif gerilme değerlerinin yükseldiği gözlemlenmiştir. Yüzeydeki zemin katmanlarında bu gerilme değerlerinin daha düşük olması, üst tabakaların yük taşıma kapasitesinin sınırlı olduğunu göstermektedir. Derin tabakalardaki yüksek efektif gerilme, zeminin dayanım kapasitesinin artmasına katkı sağlamaktadır.



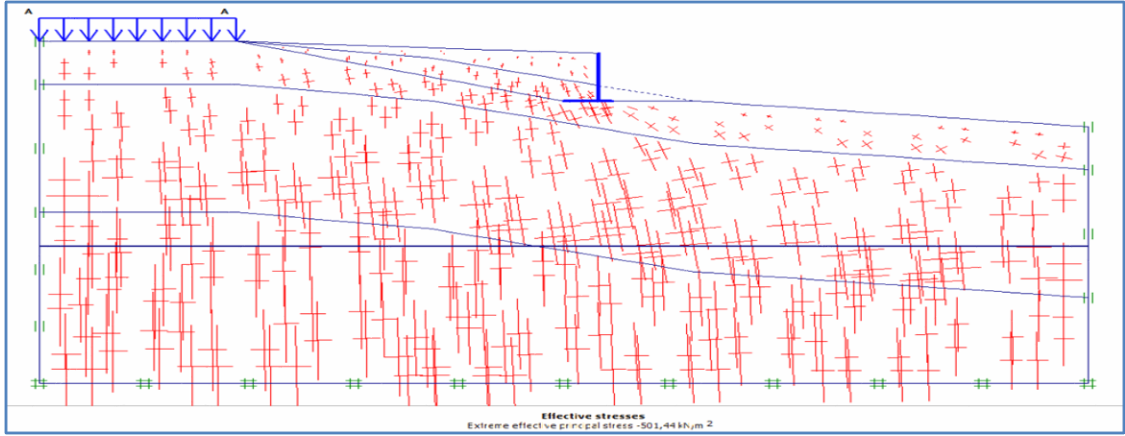
Şekil 4.76. çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait toplam deformasyon modeli



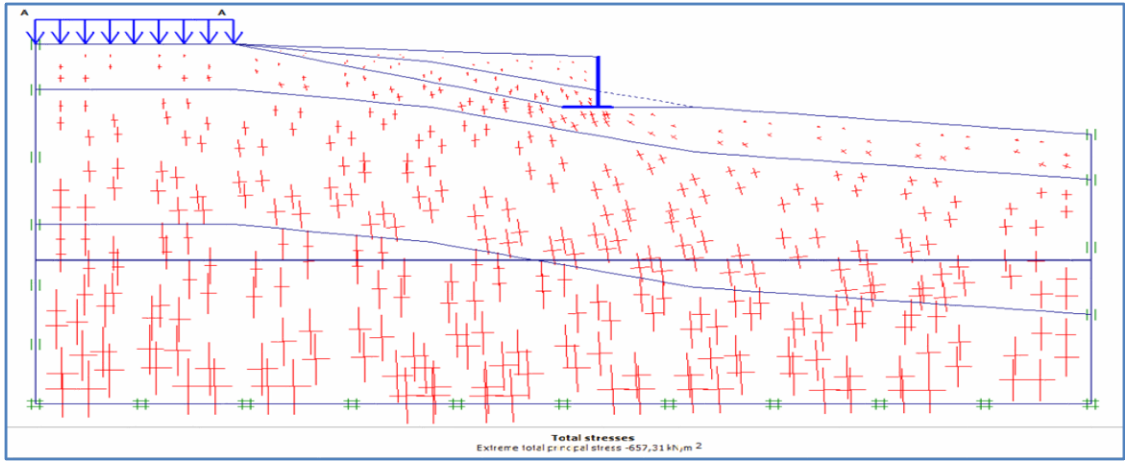
Şekil 4.77. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait yatay deformasyon modeli



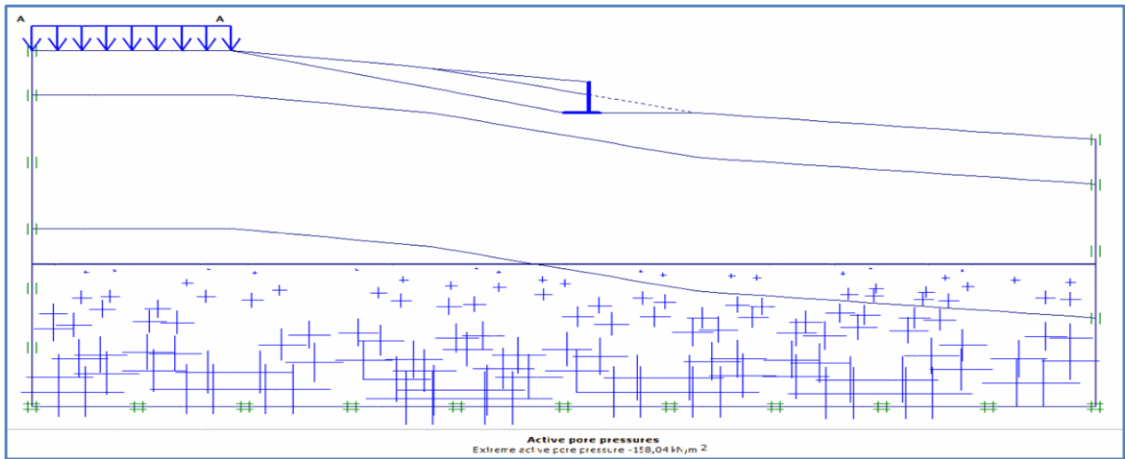
Şekil 4.78. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait düşey deformasyon modeli



Şekil 4.79. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait efektif gerilme modeli



Şekil 4.80. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait toplam gerilme modeli



Şekil 4.81. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 5 m istinat duvarına ait aktif su basıncı modeli

4.3.3.2. Tasarlanan modelde yeraltı su seviyesinin (YASS) değiştirilmesi

Çalışma sahası-3'te tasarlanan 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde, mevcut durumda yeraltı su seviyesi taban kotundan itibaren 15 metre yükseklikte yer almaktadır. Bu duruma ek olarak, yeraltı su seviyesinin sırasıyla taban seviyesinden 25 metre, 30 metre, 33 metre ve 34 metre yükseklikte olduğu senaryolar için de yeni modeller geliştirilmiştir. Özellikle, yeraltı su seviyesinin 34 metre yüksekliğe ulaştığı durum, istinat duvarının temel seviyesine denk gelmektedir.

Bu çalışmada, farklı kotlardaki yeraltı su seviyesinin (YASS) zemine ve istinat duvarına olan etkileri analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, çeşitli yeraltı su seviyesi koşulları altında hem istinat duvarlarının hem de şevli zeminlerin performansı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgularda, istinat duvarı ile zemin arasındaki etkileşimi farklı yeraltı su seviyeleri senaryolarında güvenlik ile tasarım açısından öneriler sunulmuştur. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.22'de, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.82'de, gerilme değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.83'te verilmiştir.

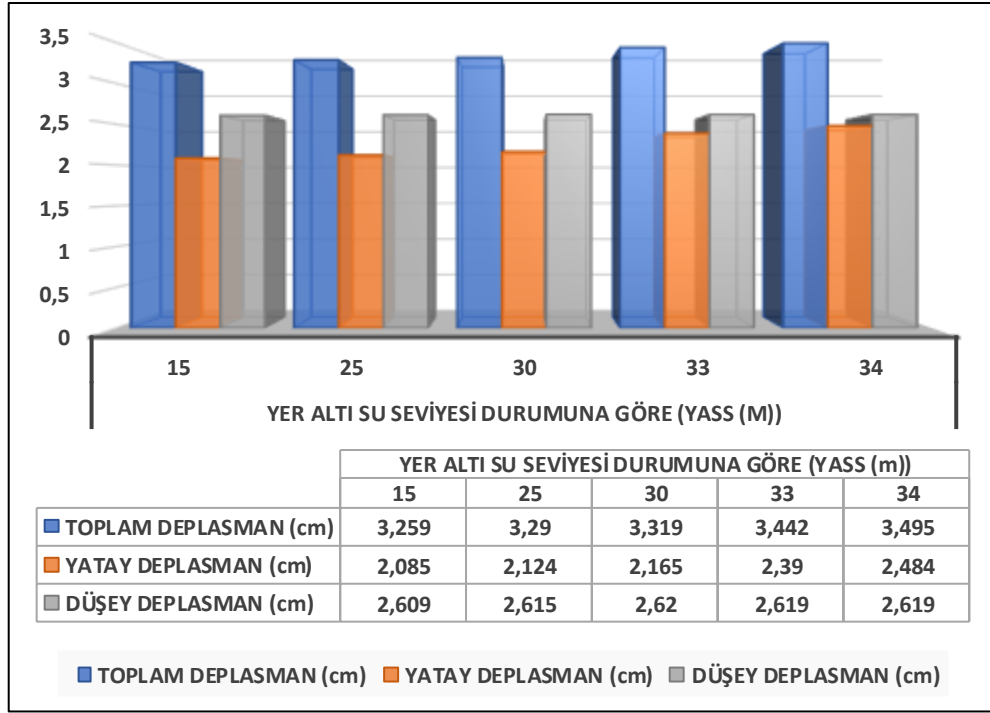
Çizelge 4.22'deki verilere göre; Referans olarak kabul edilen 15 metre seviyesinde toplam deplasman değeri 3.259 cm'dir. Toplam deplasmanın, su seviyesinin yükselmesiyle birlikte kademeli bir şekilde arttığı görülmektedir. Bu durum, su seviyesinin artışına bağlı olarak istinat duvarına gelen hidrostatik yüklerin artmasından kaynaklanmaktadır. Özellikle 33 metre ve 34 metre seviyelerinde toplam deplasman değerlerinin en yüksek seviyeye ulaştığı görülmüştür. 15 metrede 2.085 cm olan yatay deplasman, 34 metreye çıkıldığında 2.484 cm'ye yükselmiştir. Yatay hareketlerde, toplam deplasmanla benzer şekilde, su seviyesi yükseldikçe artış görülmektedir. 15 metredeki düşey deplasman 2.609 cm iken, 34 metrede bu değer 2.619 cm'ye çıkmıştır. 25, 30, 33 ve 34 metre seviyelerinde düşey deplasman çok sınırlı bir değişim göstermiş ve 2.615–2.619 cm aralığında kalmıştır. Toplam gerilme değerleri 15 metrede 657.31 kN/m² iken 34 metrede 669.12 kN/m²'ye kadar artış göstermektedir. Su seviyesi yükseldikçe toplam gerilmede düzenli bir artış olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu artışın belirli bir seviyeden sonra sınırlı olması, zemin ve duvar üzerindeki gerilmelerin belirli bir dengeye ulaştığını işaret etmektedir. 15 m yeraltı su seviyesinde efektif gerilme 501.44 kN/m²'dir. Bu değer, 25 metre seviyesinde 418.39 kN/m²'ye, 34 metre seviyesinde ise 340.57 kN/m²'ye düşmüştür. Efektif gerilmenin su seviyesi arttıkça belirgin bir şekilde azaldığı görülmektedir. Bu düşüş, su seviyesinin artışıyla zemindeki efektif gerilmenin

azaldığını ve suyun zemindeki tanecikler arasındaki bağı zayıflattığını göstermektedir. Aktif su basıncı, 15 metrede 158.04 kN/m² iken, su seviyesi 34 metreye yükseldiğinde 335.54 kN/m²'ye çıkmıştır. Burada su seviyesinin artışıyla hidrostatik basıncın doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir.

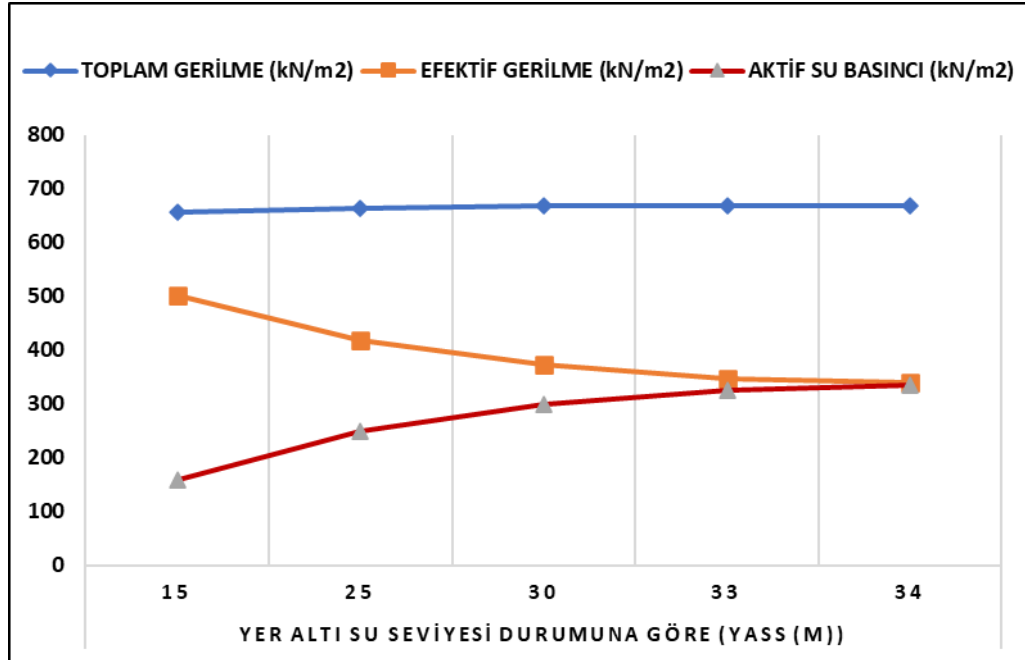
Yeraltı su seviyesi arttıkça istinat duvarı üzerinde deplasmanlar artmış, zemin ve duvar üzerindeki toplam gerilme ve aktif su basıncı yükselmiştir. Ancak efektif gerilmenin azalması, zemin stabilitesini olumsuz etkileyebilecek bir faktördür. Bu sonuçlar, yüksek su seviyelerine karşı istinat duvarı tasarımında özellikle drenaj sistemlerinin ve zemin iyileştirme yöntemlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Referans durum olan 15 m'ye göre güvenlik sayısı 2.262 olarak hesaplanmıştır. 30 m seviyesine kadar güvenlik sayısının sabit kaldığı, 33 m seviyesinden itibaren güvenlik sayısında azalma olduğu görülmüştür. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.22. 5 metre istinat duvarı çalışmasında yeraltı su seviyesinin değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları

	15 m	25 m	30 m	33 m	34 m
Toplam Deplasman (cm)	3.259	3.290	3.319	3.442	3.495
Yatay Deplasman (cm)	2.085	2.124	2.165	2.390	2.484
Düşey Deplasman (cm)	2.609	2.615	2.620	2.619	2.619
Toplam Gerilme (kN/m²)	657.31	664.25	667.70	668.38	669.12
Efektif Gerilme (kN/m²)	501.44	418.39	371.83	347.78	340.57
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	248.04	298.04	325.60	335.54
Güvenlik Sayısı (G.S.)	2.262	2.260	2.262	2.244	2.228



Şekil 4.82. YASS durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)



Şekil 4.83. YASS durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)

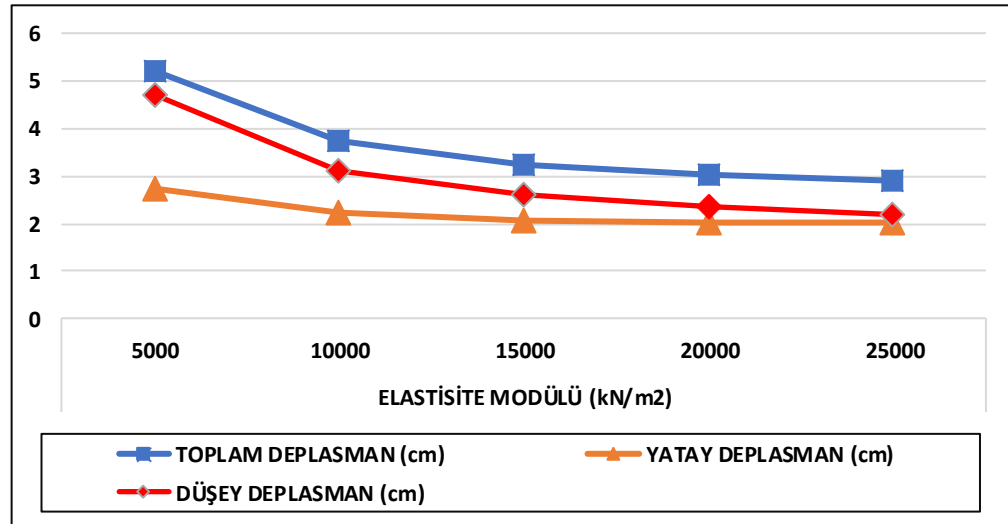
4.3.3.3. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde elastisite modülünün değiştirilmesi

Çalışma sahası-3'te tasarlanan 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde istinat duvarı arkasındaki dolgu zeminin elastisite modülü 15000 kN/m²'dir. Bu çalışmada, başka bir değişiklik yapılmadan mevcut duruma ek olarak dolgu zeminin elastisite modülü artırılarak ve azaltılarak yeni modeller oluşturulmuştur. 15000 kN/m² referans alınacak şekilde, 5000 kN/m², 10000 kN/m², 20000 kN/m² ve 25000 kN/m² elastisite modülü değişikliklerine göre oluşan deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.23'te, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.84'de, gerilme değişimlerine ait grafik ise şekil 4.85'te verilmiştir. Çizelge 4.23'teki verilere göre; Elastisite modülüne bağlı olarak oluşan değişimler, 15000 kN/m² elastisite modülü referans alınarak analiz edilmiştir. Toplam deplasman, referans değerde 3.259 cm olarak kaydedilmiş, elastisite modülü azaldığında (5000 kN/m²) 5.202 cm'ye yükselmiş ve elastisite modülü arttığında (25000 kN/m²) 2.889 cm'ye düşmüştür. Budurum, düşük elastisite modülüne sahip (daha esnek) zeminlerde deformasyonun daha fazla olduğunu, yüksek elastisite modülüne sahip (daha rijit) zeminlerde ise deformasyonun önemli ölçüde azaldığını göstermektedir. Benzer şekilde, yatay deplasman da elastisite modülüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Referans değerde 2.085 cm olan yatay deplasman, düşük elastisite modülünde 2.718 cm'ye yükselmekte yüksek elastisite modülünde ise 2.025 cm'ye kadar azalmaktadır. Bu sonuca göre, rijit zeminlerin yatay yükler altında daha kararlı bir davranış sergilediğini göstermektedir. Düşey deplasman açısından da benzer bir durumun söz konusu olduğu görülmüştür. Referans değerde 2.609 cm olan düşey deplasman, düşük elastisite modülünde 4.717 cm'ye çıkmış, yüksek elastisite modülünde ise 2.189 cm'ye gerilemiştir. Özellikle düşük elastisite modüllerinde artan düşey deplasman, zeminindaha fazla oturma eğiliminde olduğuna işaret etmektedir. Gerilme değerlerine bakıldığında, toplam gerilme referans değerde 657.31 kN/m² olarak hesaplanmış ve elastisite modülü değişse de bu değer neredeyse sabit kalmıştır. Benzer şekilde, efektif gerilme de 501.44 kN/m² seviyesinde kalmış olup elastisite modülündeki değişimlerden neredeyse etkilenmemiştir. Bu durum, elastisite modülünün gerilme dağılımı üzerinde sınırlı bir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Aktif su basıncı ise elastisite modülü değişimlerinden etkilenmemiş ve tüm durumlarda sabit kalarak 158.04 kN/m² olarak ölçülmüştür. Bu durum, aktif su basıncının yalnızca yeraltı su seviyesiyle

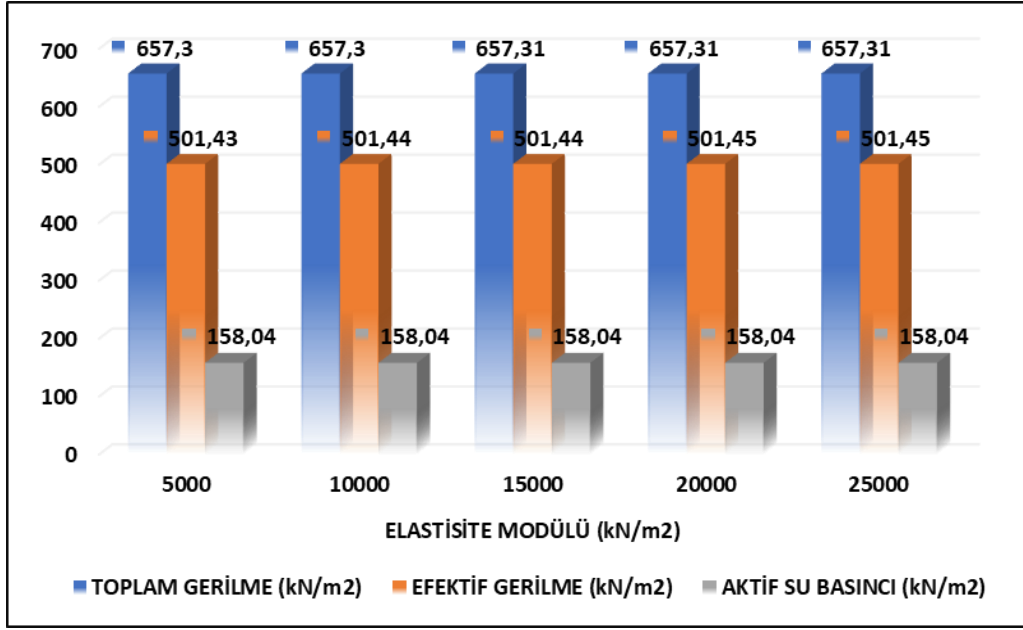
ilişkilendirilebileceğini doğrulamaktadır. Referans durum olan 15000 kN/m²'ye göre güvenlik sayısı 2.262 olarak hesaplanmıştır. Elastisite modülünün artması ile güvenlik sayısı değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.23. 5 metre istinat duvarı çalışmasında elastisite modülü değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları

	5000 kN/m ²	10000 kN/m ²	15000 kN/m ²	20000 kN/m ²	25000 kN/m ²
Toplam Deplasman (cm)	5.202	3.730	3.259	3.026	2.889
Yatay Deplasman (cm)	2.718	2.249	2.085	2.035	2.025
Düşey Deplasman (cm)	4.717	3.133	2.609	2.346	2.189
Toplam Gerilme (kN/m²)	657.30	657.30	657.31	657.31	657.31
Efektif Gerilme (kN/m²)	501.43	501.44	501.44	501.45	501.45
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	2.260	2.260	2.262	2.259	2.257



Şekil 4.84. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)



Şekil 4.85. Dolgu zeminde elastisite modülü durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)

4.3.3.4. İstinat duvarı arkasındaki dolgu zemininde kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değiştirilmesi (c/ϕ)

Çalışma sahası-3'te tasarlanan 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde istinat duvarı arkasındaki dolgu zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri 50 kN/m^2 ve 10° 'dir. Bu çalışmada, mevcut duruma ek olarak dolgu zeminin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri mevcut duruma göre orantılı bir şekilde artırılıp ve azaltılarak yeni modeller oluşturulmuştur. 50 kN/m^2 ve 10° referans alınacak şekilde, $(30 \text{ kN/m}^2, 20^\circ)$, $(40 \text{ kN/m}^2 / 15^\circ)$, $(60 \text{ kN/m}^2 / 5^\circ)$ ve $(70 \text{ kN/m}^2 / 1^\circ)$ değerlerine göre oluşan yeni deformasyon ve gerilmeler incelenmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.24'te, deplasman değişimlerine ait grafik Şekil 4.86'da, gerilme değişimlerine ait grafik ise Şekil 4.87'de verilmiştir.

Çizelge 4.24'teki verilere göre; 50/10 referans durum için toplam deplasman 3.259 cm olarak hesaplanmıştır. 30/20, 40/15, 60/5 ve 70/1 değerlerinde toplam deplasmanların neredeyse aynı (3.26, 3.259 ve 3.258 cm) oldukları ve referans duruma göre fazla bir değişimin olmadığı tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toplam deplasmanda, kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin etkisi yok denecek kadar azdır. Zemin kayma direnci veya kohezyon değerindeki artış, toplam deformasyonda belirgin bir etki yaratmamaktadır. 50/10 durumunda yatay deplasman

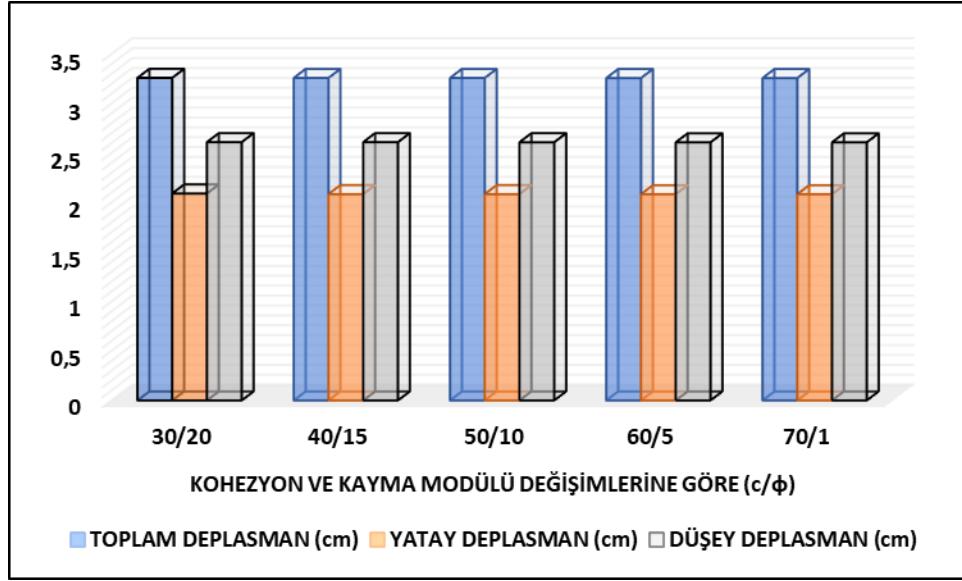
2.085 cm'dir. 30/20 ve 40/15 için sırasıyla 2.091 ve 2.085 cm değerleri hesaplanmış, 60/5 ve 70/1 seviyelerinde ise 2.084 cm'ye düşmüştür. Kohezyonun azalıp içsel sürtünme açısının artmış olduğu 30/20 durumunda deformasyonun diğer durumlara göre daha fazla artmış olduğu görülmüştür. Bununla beraber yatay deplasmandaki değişimlerin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. 50/10 referans durumu için düşey deplasman 2.609 cm'dir. 30/20 ve 40/15 için 2.610 cm olarak hesaplanmış, 60/5 ve 70/1 durumlarında ise 2.608 cm olarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar neticesinde alınan sonuçlara göre düşey deplasmandaki değişimlerin yok denecek kadar az olduğu görülmektedir.

Toplam gerilme değerinin referans durumunda 657.31 kN/m² olduğu tespit edilmiştir. Yapılan incelemelerde tüm koşullarda toplam gerilmenin sabit kaldığı ve değerinin 657.31 kN/m² olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerin toplam gerilme üzerinde herhangi bir etki yaratmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, Efektif gerilme değerlerinin tüm koşullarda 501.44 kN/m² olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma göre efektif gerilmenin, kohezyon ve içsel sürtünme açısındaki değişimlerden etkilenmediği görülmektedir. Aktif su basıncının da tüm durumlarda sabit kaldığı ve değerinin 158.04 kN/m² olduğu ve bu durumun, aktif su basıncının kohezyon veya içsel sürtünme açısına bağlı olmadığını göstermiştir. Referans durum olan 50 kN/m² ve 10°'ye göre güvenlik sayısı 2.262 olarak hesaplanmıştır. Kohezyon değerinin artması ve azalması ile güvenlik sayısının da doğru orantılı olarak artıp azaldığı görülmüştür. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

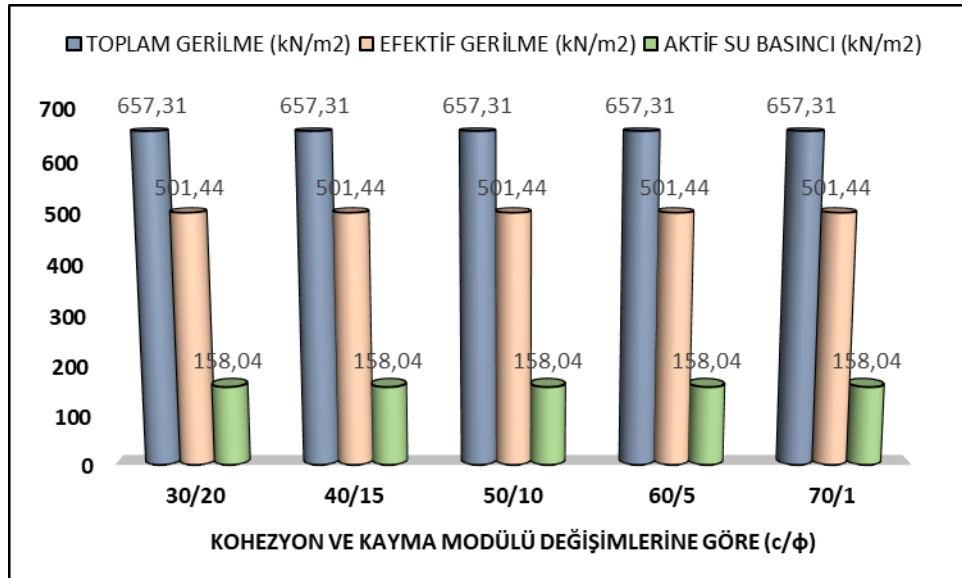
Çizelge 4.24. 5 metre istinat duvarı çalışmasında kohezyon ve içsel sürtünme açılarının değişimine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme sonuçları

	30/20 (c/φ)	40/15 (c/φ)	50/10 (c/φ)	60/5 (c/φ)	70/1 (c/φ)
Toplam Deplasman (cm)	3.260	3.259	3.259	3.258	3.258
Yatay Deplasman (cm)	2.091	2.085	2.085	2.084	2.084
Düşey Deplasman (cm)	2.610	2.610	2.609	2.608	2.608
Toplam Gerilme (kN/m²)	657.31	657.31	657.31	657.31	657.31

Efektif Gerilme (kN/m²)	501.44	501.44	501.44	501.44	501.44
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	2.111	2.188	2.262	2.303	2.345



Şekil 4.86. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre deplasman değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)



Şekil 4.87. Dolgu zeminde kohezyon ve içsel sürtünme açısı durumuna göre gerilme değişimleri grafiği (5 m istinat duvarı)

4.3.3.5. Tasarlanan modelde yük değerlerinin değiştirilmesi

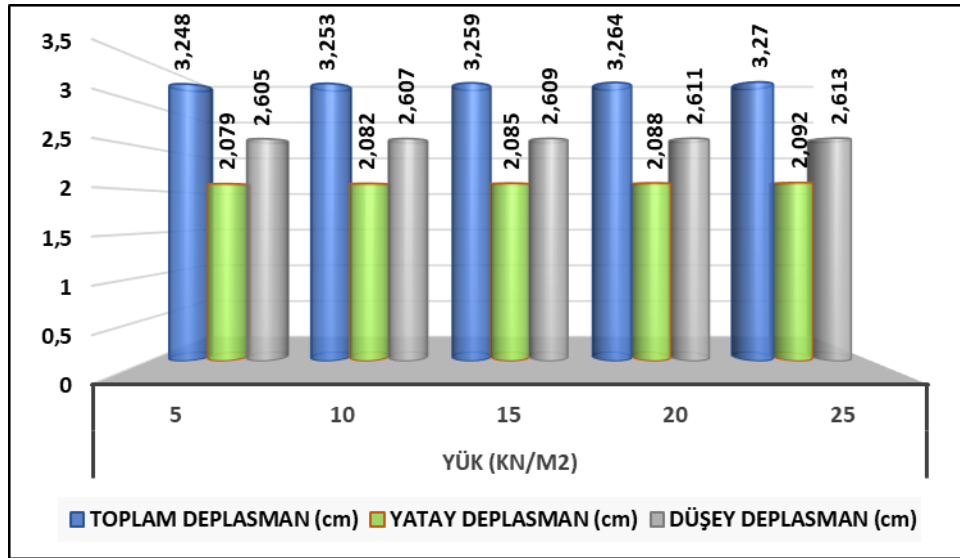
Çalışma sahası-3'te tasarlanan 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı modellerinde yük zemine 15 kN/m^2 olarak etki etmektedir. Bu çalışmada, mevcut duruma ek olarak yük değerleri mevcut duruma göre orantılı bir şekilde artırılarak ve azaltılarak yeni modeller oluşturulmuştur. 15 kN/m^2 referans alınacak şekilde, 5 kN/m^2 , 10 kN/m^2 , 20 kN/m^2 ve 25 kN/m^2 değerlerine göre oluşan yeni deformasyon ve gerilmeler analiz edilmiştir. PLAXIS 2D programı kullanılarak oluşturulan modellere ait deformasyon ve gerilme sonuçları Çizelge 4.25'te, deplasman değişimlerine ait grafik şekil 4.88'de, gerilme değişimlerine ait grafik ise şekil 4.89'da verilmiştir. Çizelge 4.25'teki verilere göre; 15 kN/m^2 yük değerinde toplam deplasman 3.259 cm olarak kaydedilmiştir. Yük azaldığında (5 kN/m^2), toplam deplasman 3.248 cm 'ye düşmekte, yük arttığında (25 kN/m^2) ise 3.270 cm 'ye yükselmektedir. Toplam deplasmandaki bu değişimlerin oldukça sınırlı olduğu görülmektedir. Yük arttıkça zemin ve duvar üzerindeki deformasyonun hafifçe arttığı anlaşılmakla birlikte zemin stabilitesini tehlikeye atacak bir düzeyde olmadığı düşünülmektedir. Bu durum, zeminin yükleme altında yeterli rijitliğe sahip olduğunu göstermektedir. Yatay deplasman, 15 kN/m^2 yük için 2.085 cm olarak belirlenmiştir. 5 kN/m^2 yükte bu değer 2.079 cm 'ye düşerken, 25 kN/m^2 yükte 2.092 cm 'ye yükselmiştir. Yatay deplasmanda yükün artmasıyla zemin ve istinat duvarı üzerindeki yatay kuvvetlerin de hafif bir şekilde arttığı görülmektedir. Ancak bu değişim, tasarım açısından kritik bir tehdit oluşturmamaktadır. 15 kN/m^2 yükte düşey deplasman 2.609 cm olarak ölçülmüştür. 5 kN/m^2 yükte bu değer 2.605 cm 'ye düşerken, 25 kN/m^2 yükte 2.613 cm 'ye çıkmıştır. Düşey deplasman, artan yüklerle birlikte hafif bir yükseliş göstermiştir. Burada temel seviyesinde oturmanın yükle orantılı olarak artmış olduğunu, ancak bu artışın oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir.

15 kN/m^2 yükte toplam gerilme 657.31 kN/m^2 olarak belirlenmiştir. 5 kN/m^2 yükte toplam gerilme 652.77 kN/m^2 iken, 25 kN/m^2 yükte 662.61 kN/m^2 'ye yükselmiştir. Yük arttıkça toplam gerilme değerinde düzenli bir artış, aynı şekilde yük azaldıkça da değerlerde azalış gözlemlenmiştir. 15 kN/m^2 yükte efektif gerilme 501.44 kN/m^2 'dir. 5 kN/m^2 yükte bu değer 496.91 kN/m^2 'ye düşerken, 25 kN/m^2 yükte 506.15 kN/m^2 'ye yükselmiştir. Efektif gerilmede yük arttıkça düzenli bir şekilde artış yük azaldıkça da azalma olduğu görülmüştür. Aktif su basıncı tüm yük seviyelerinde sabit kalmış ve 158.04 kN/m^2 olarak ölçülmüştür. Bu durum, aktif su basıncının yük değişimlerinden bağımsız olduğunu ve yeraltı su seviyesiyle doğrudan ilişkilendirildiğini göstermektedir.

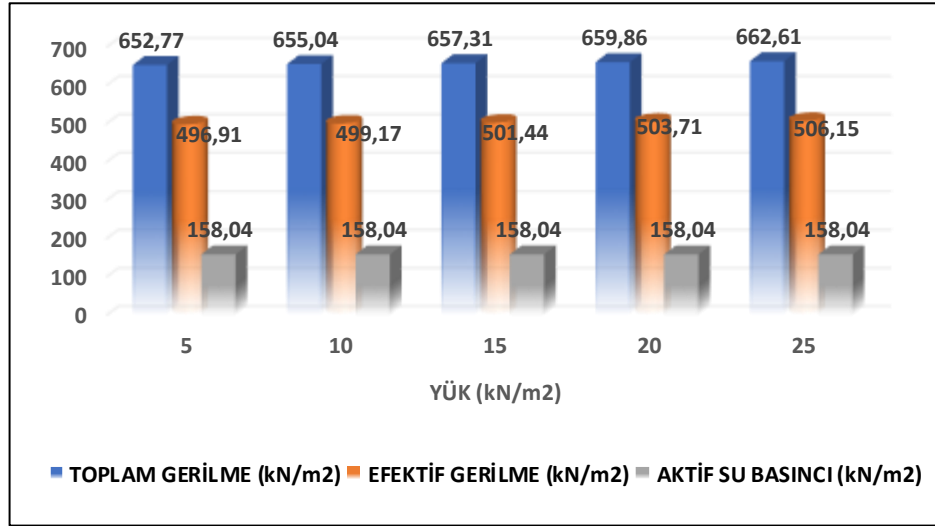
Referans durum olan 15 kN/m²'ye göre güvenlik sayısı 2.262 olarak hesaplanmıştır. Yük değerlerinin artması ve azalması ile güvenlik sayısı değerlerinde değişiklik olduğu fakat referans değere yakın değerlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bununla beraber, her durumda güvenlik sayısının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.25. 5 metre istinat duvarı çalışmasında yük değişimlerine göre oluşan güvenlik sayısı, deplasman ve gerilme değerleri

	5 (kN/m ²)	10 (kN/m ²)	15 (kN/m ²)	20 (kN/m ²)	25 (kN/m ²)
Toplam Deplasman (cm)	3.248	3.253	3.259	3.264	3.270
Yatay Deplasman (cm)	2.079	2.082	2.085	2.088	2.092
Düşey Deplasman (cm)	2.605	2.607	2.609	2.611	2.613
Toplam Gerilme (kN/m²)	652.77	655.04	657.31	659.86	662.61
Efektif Gerilme (kN/m²)	496.91	499.17	501.44	503.71	506.15
Aktif Su Basıncı (kN/m²)	158.04	158.04	158.04	158.04	158.04
Güvenlik Sayısı (G.S.)	2.265	2.260	2.262	2.259	2.263



Şekil 4.88. Yük değişimlerine göre oluşan deplasman grafiği (5 m istinat duvarı)



Şekil 4.89. Gerilme değişimlerine göre oluşan deplasman grafiği (5 m istinat duvarı)

4.3.4. Çalışma sahası-3 için tasarlanan 3 m ve 5 m istinat duvarına ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

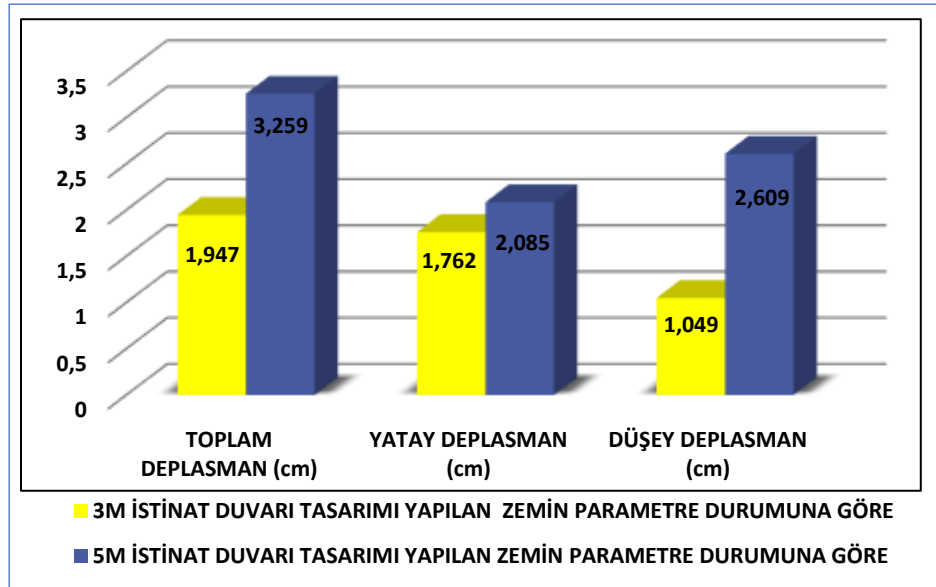
Bu bölümde çalışma sahası-3 için tasarlanmış olan 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarına ait analiz sonuçları değerlendirilerek yorumlanmıştır. Tasarımı yapılan ilk zemin durumundaki parametrelere göre oluşan deplasman ve gerilme arasındaki değişimlerin incelenmesi, daha sonrasında ise sırasıyla; yeraltı su seviyesindeki değişimlere göre, elastisite modülü değişimlerine göre, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerine göre ve yük değişimlerine göre oluşan deplasman ve gerilmeler korele edilerek karşılaştırılmıştır.

4.3.4.1. Tasarımı yapılan ilk zemin durumundaki parametrelere ait analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

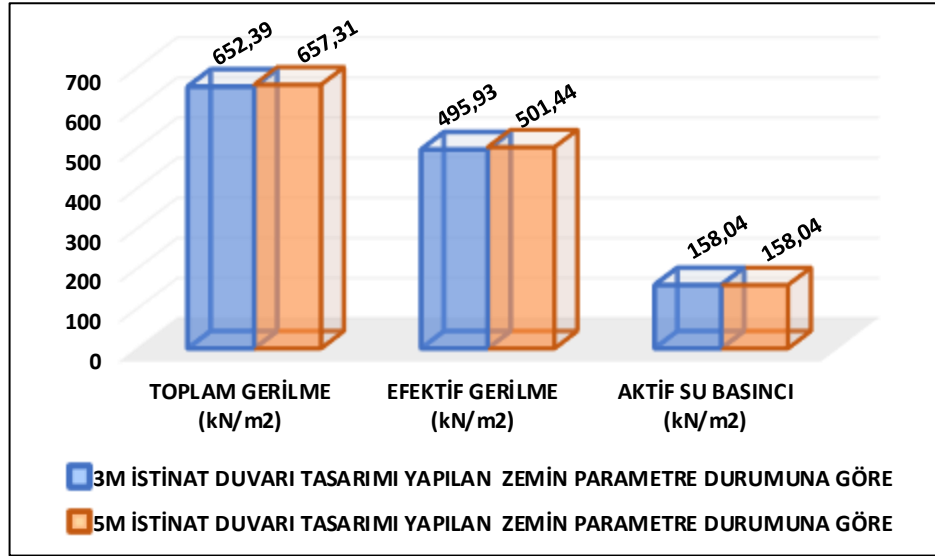
Şekil 4.90 ve Şekil 4.91’de tasarımı yapılan ilk zemin durumundaki parametrelere göre deplasman ve gerilme değişimlerine ait grafikler verilmiştir. 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarına ait deplasmanların incelenmesi neticesinde; toplam deplasman, yatay deplasman ve düşey deplasman değerlerinin 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarında daha fazla olduğu görülmüştür. 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarında toplam deplasmanın 1.31 cm, yatay deplasmanın 0.32 cm ve düşey deplasmanın ise 1.56 cm daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Gerilme değişimleri incelendiğinde ise toplam gerilme ve efektif gerilme değerlerinin 5 m yüksekliğindeki

istinat duvarında az miktarda fazla olduğu, aktif su basıncının ise her iki duvar yüksekliğinde eşit olduğu belirlenmiştir. 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarında 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarına göre toplam gerilmenin 4.92 kN/m^2 , efektif gerilmenin ise 5.51 kN/m^2 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Çalışma sahası-3’de uygulanan 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarının limit deformasyonları sırasıyla 6 cm ve 10 cm olarak hesaplanmıştır ($0.02 H$). Hesaplanan tüm deformasyonlar incelendiğinde maksimum deformasyon değerinin 5 metre istinat duvarında 3.259 cm olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılabacağı üzere Çalışma sahası-3’de yapılan analizlerde, meydana gelen tüm deformasyonların limit deformasyon değerinden düşük olduğu ve emniyetli durumda olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.90. 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarına ait deplasman değişimleri grafiği



Şekil 4.91. 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarına ait gerilme değişimleri grafiği

4.3.4.2. Yeraltı su seviyesi (YASS) değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

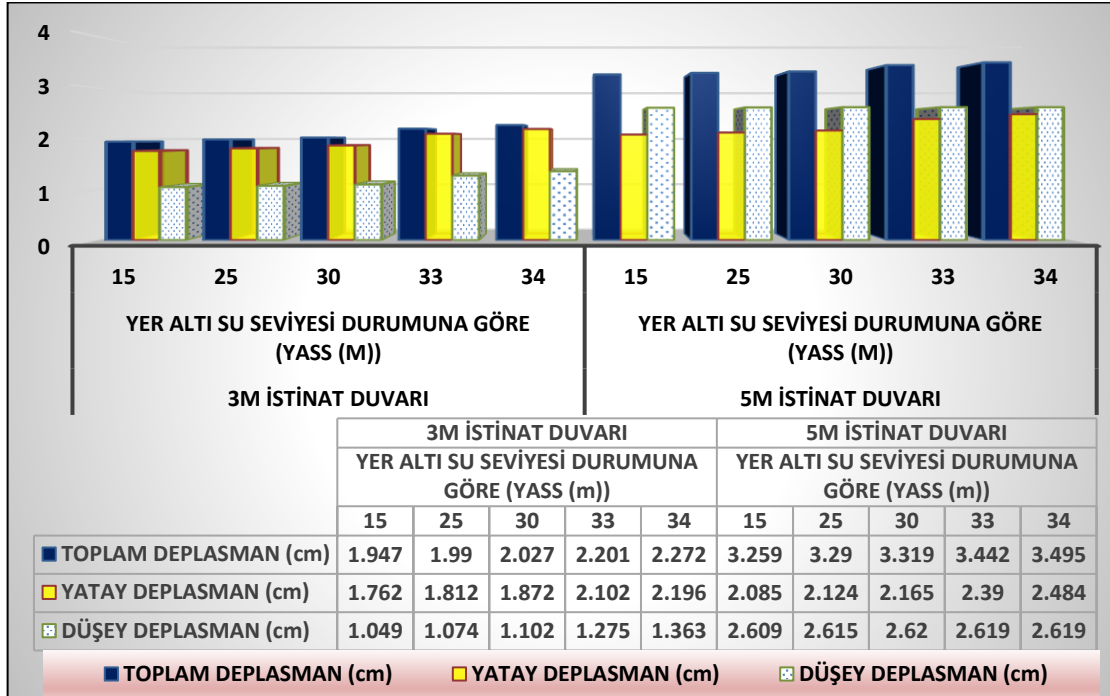
Şekil 4.92 ve Şekil 4.93'te 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait tasarımlarda Yeraltı Su Seviyesinin (YASS) değişimlerine göre oluşan deplasman ve gerilmelere ait grafikler verilmiştir.

3 metre istinat duvarında 15 m YASS seviyesinde toplam deplasman 1.947 cm, 34 m YASS seviyesinde ise 2.272 cm'dir. Su seviyesi yükseldikçe toplam deplasmanda yaklaşık %16.7'lik bir artış meydana gelmiştir. 5 metre istinat duvarında ise 15 m YASS seviyesinde toplam deplasman 3.259 cm, 34 m YASS seviyesinde ise 3.495 cm'dir. Su seviyesi arttıkça toplam deplasmanda %7.3'lük sınırlı bir artış görülmüştür. 5 metre istinat duvarında toplam deplasmandaki artış oranı, 3 metre duvara kıyasla daha düşük kalmıştır. Bu durum, 5 metre yüksekliğindeki duvarın zeminle etkileşim alanının daha geniş olması nedeniyle yükleri daha homojen bir şekilde dağıttığını göstermektedir. 3 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde yatay deplasman 1.762 cm, 34 m YASS seviyesinde 2.196 cm'dir. Su seviyesi arttıkça yatay deplasman %24.6 oranında artmıştır. 5 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde yatay deplasman 2.085 cm, 34 m YASS seviyesinde 2.484 cm'dir. Burada da yatay deplasman %19 oranında artış göstermiştir. Yatay deplasman artışı her iki duvarda da gözlemlenmiştir. Ancak 5 metre istinat duvarında artış oranı daha düşük kalmıştır. Bu durum, daha yüksek olan duvarın

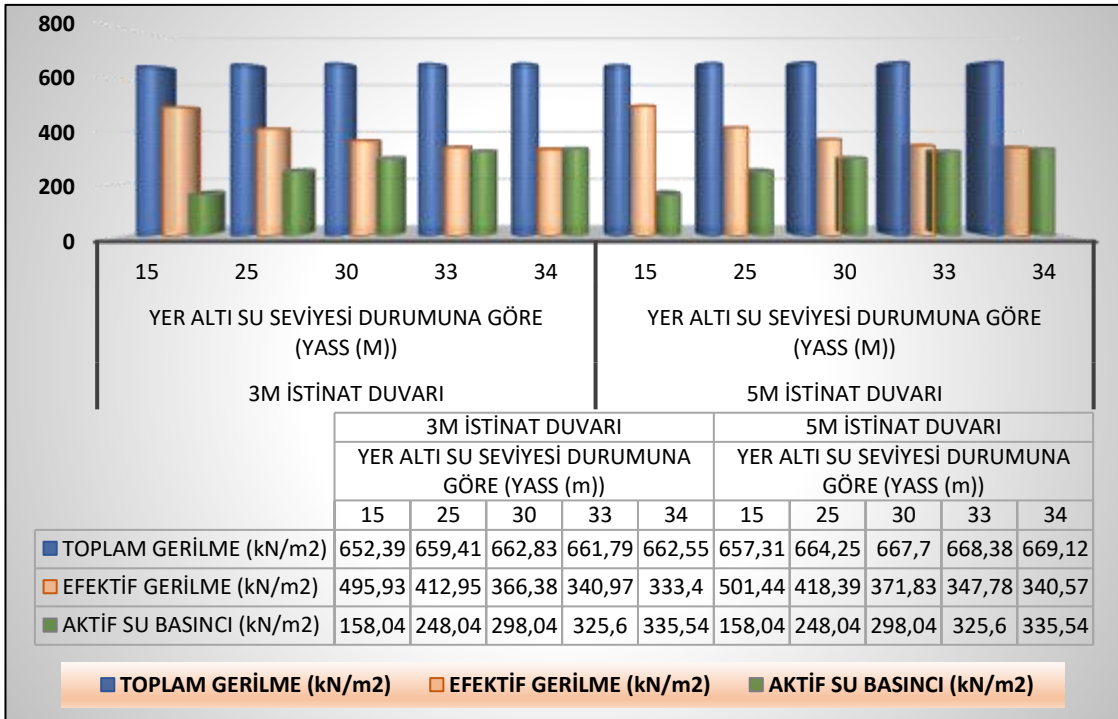
hidrostatik basınca karşı daha iyi direnç sağladığını ve yatay hareketlerin daha kontrollü olduğunu göstermektedir. 3 metre istinat duvarı 15 m YASS seviyesinde düşey deplasman 1.049 cm, 34 m YASS seviyesinde 1.363 cm'dir. Düşey deplasmanda %30'luk bir artış olduğu görülmektedir. 5 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde düşey deplasman 2.609 cm, 34 m YASS seviyesinde 2.619 cm'dir. Burada, düşey deplasmanın neredeyse sabit kaldığı anlaşılmaktadır. Burada 5 metre istinat duvarı daha stabil bir performans göstermektedir. Toplam, yatay ve düşey deplasman değerlerinin karşılaştırılması durumunda ise 5 m yüksekliğindeki istinat duvarında meydana gelen deplasmanların 3 m yüksekliğindeki duvara göre her durumda daha fazla olduğu görülmüştür. 3 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde toplam gerilme 652.39 kN/m², 34 m YASS seviyesinde ise 662.55 kN/m²'dir. Gerilme, su seviyesi arttıkça %1.6 oranında artmıştır. 5 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde toplam gerilme 657.31 kN/m², 34 m YASS seviyesinde 669.12 kN/m²'dir. Burada toplam gerilme %1.8 oranında artmıştır. Toplam gerilme artışı her iki duvarda da sınırlı bir düzeydedir. 3 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde efektif gerilme 495.93 kN/m², 34 m YASS seviyesinde 333.4 kN/m²'dir. Su seviyesi arttıkça efektif gerilme %32.8 oranında düşmüştür. 5 metre istinat duvarı, 15 m YASS seviyesinde efektif gerilme 501.44 kN/m², 34 m YASS seviyesinde ise 340.57 kN/m²'dir. Burada efektif gerilme %32.1 oranında azalmıştır. Efektif gerilmenin her iki duvarda da su seviyesi yükseldikçe önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Burada, 5 metre istinat duvarındaki düşüş oranının biraz daha düşük kaldığı görülmüştür. Aktif su basıncı, her iki duvarda da su seviyesi yükseldikçe doğrusal bir şekilde artmış ve 15 m YASS seviyesinde 158.04 kN/m²'den, 34 m YASS seviyesinde 335.54 kN/m²'ye çıkmıştır. 5 m yüksekliğindeki istinat duvarında, toplam gerilme, efektif gerilme ve aktif su basıncı değerlerinin her durumda 3 m'ye göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Eren ve Aksoy (2020) çalışmalarında, yeraltı su seviyesi azaldıkça yatay deformasyon, efektif gerilme ve güvenlik sayılarının arttığı, toplam gerilmelerin ise azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu duruma göre, YASS değişimi ile yatay deformasyon, efektif gerilme ve güvenlik sayısı değişimlerinin ters orantılı olduğu, toplam gerilme ile doğru orantılı olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu çalışmada, YASS'nin tabandan itibaren artmış olduğu, YASS artarken toplam deformasyon, yatay deformasyon, düşey deformasyon, toplam gerilme ve aktif su basıncının doğru orantılı olarak artmış olduğu, güvenlik sayısı ve efektif gerilmenin ise ters orantılı olarak azalmış oldukları sonucuna varılmıştır. Elde edilen analiz sonuçları ile Eren ve Aksoy (2020) tarafından yapılan

analiz sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, efektif gerilme ve güvenlik sayısı ile ters orantılı olarak ayrıca toplam gerilme ile de doğru orantılı olarak benzerlik gösterdiği görülmüştür.



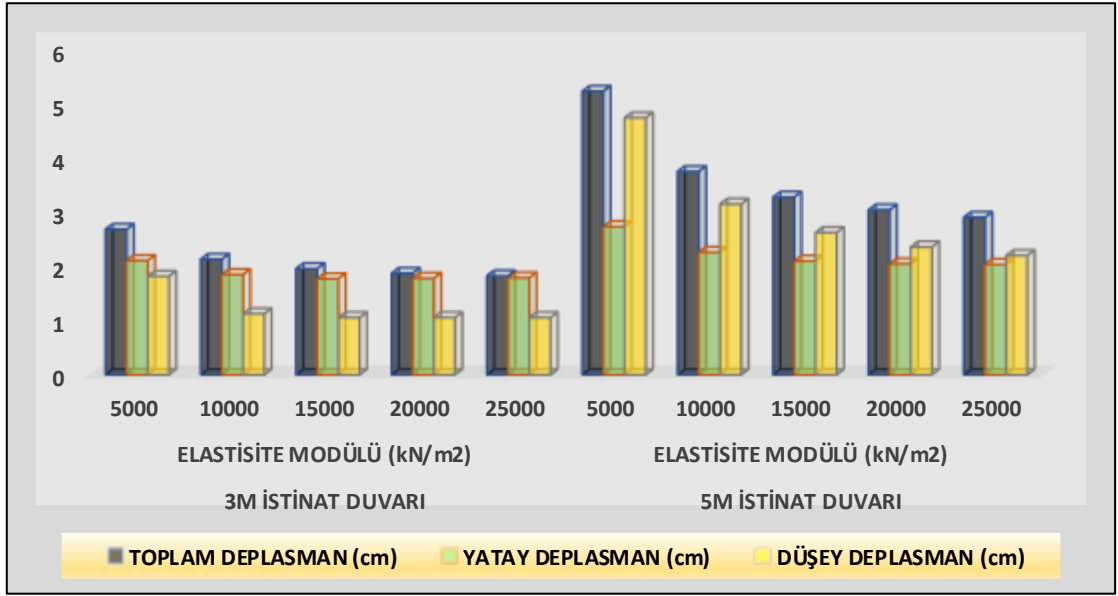
Şekil 4.92. YASS değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği



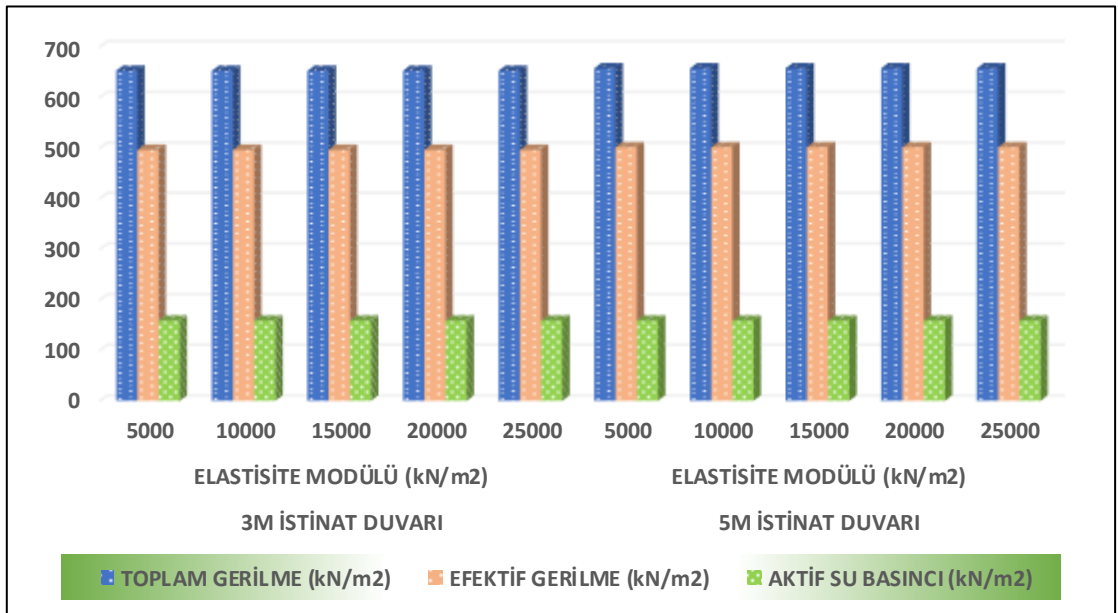
Şekil 4.93. YASS değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği

4.3.4.3. Elastisite Modülü değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.94 ve Şekil 4.95'te 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait tasarımlarda Elastisite Modülü değişimlerine göre oluşan deplasman ve gerilmelere ait grafikler verilmiştir. 3 metre istinat duvarında toplam deplasman, elastisite modülünün 5000 kN/m² olduğu durumda 2.668 cm iken, elastisite modülünün 25000 kN/m² olduğu durumda 1.814 cm'ye düşmüştür. Burada elastisite modülünün artmasıyla zemin ve duvar sistemindeki deformasyonların %32 oranında azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, 5 metre istinat duvarında toplam deplasman, 5000 kN/m² elastisite modülünde 5.202 cm olarak ölçülmüş ve 25000 kN/m²'de 2.889 cm'ye düşerek %44'lük bir azalma olduğu görülmüştür. Elastisite modülü artarken toplam deplasmanın azalmış olması her iki durum için de gözlemlenmiştir. 3 metre istinat duvarında yatay deplasman, 5000 kN/m² elastisite modülünde 2.095 cm iken, 25000 kN/m² elastisite modülünde 1.779 cm'ye düşmüştür. Yatay deplasmanda yaklaşık %15'lik bir azalma olmuştur. 5 metre istinat duvarında ise yatay deplasman 5000 kN/m² elastisite modülünde 2.718 cm, 25000 kN/m² elastisite modülünde ise 2.025 cm olarak ölçülmüş ve yaklaşık %25 oranında azalmış olduğu görülmektedir. 3 metre istinat duvarında düşey deplasman, elastisite modülünün 5000 kN/m² olduğu durumda 1.806 cm iken, elastisite modülünün 25000 kN/m²'ye yükselmesiyle 1.049 cm'ye düşmüştür. Düşey deformasyonda %42 oranında bir azalma olmuştur. 5 metre istinat duvarında düşey deplasman 5000 kN/m² elastisite modülünde 4.717 cm'den, 25000 kN/m² elastisite modülünde 2.189 cm'ye gerilemiş ve %53'lük bir azalmanın olduğu görülmüştür. Toplam gerilme her iki istinat duvarı için elastisite modülünden bağımsız olarak sabit kalmıştır. 3 metre duvar için toplam gerilme 652.36–652.41 kN/m² arasında çok sınırlı bir değişim gösterirken, 5 metre duvar için bu değer 657.30–657.31 kN/m² arasında sabit kalmıştır. Bu sonuç, elastisite modülünün toplam gerilme üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Efektif gerilme değerleri de elastisite modülüne bağlı olarak çok küçük değişimler göstermiştir. 3 metre duvar için efektif gerilme 495.90–495.96 kN/m² arasında değişirken, 5 metre duvar için bu değer 501.43–501.45 kN/m² arasında sabit kalmıştır. Elastisite modülündeki artışın efektif gerilme üzerindeki etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Aktif su basıncı, her iki duvar için sabit kalmış ve 158.04 kN/m² olarak ölçülmüştür. Bu durum, aktif su basıncının elastisite modülünden bağımsız olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.94. Elastisite modülü değişimine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği

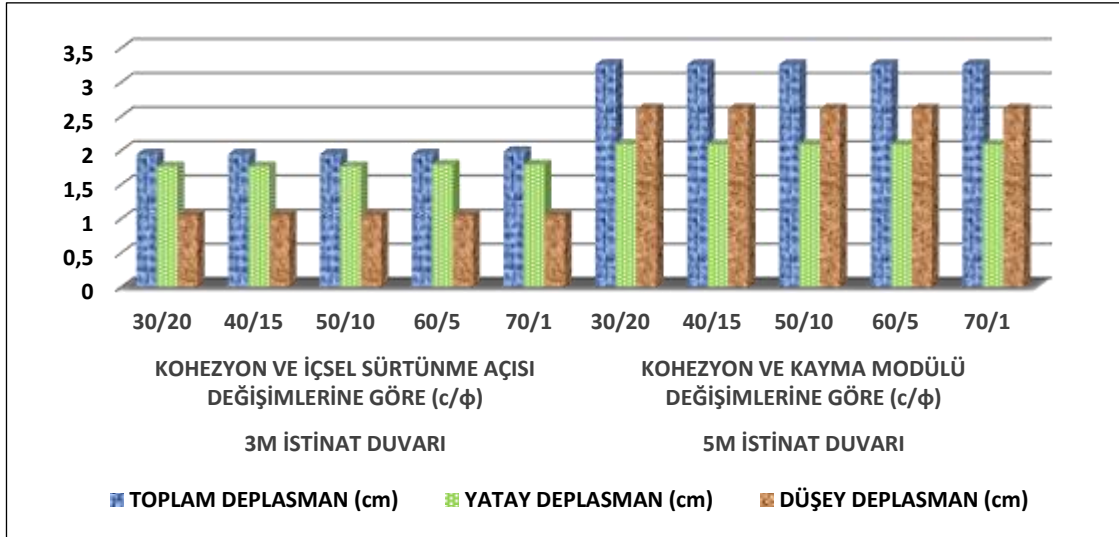


Şekil 4.95. Elastisite modülü değişimine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği

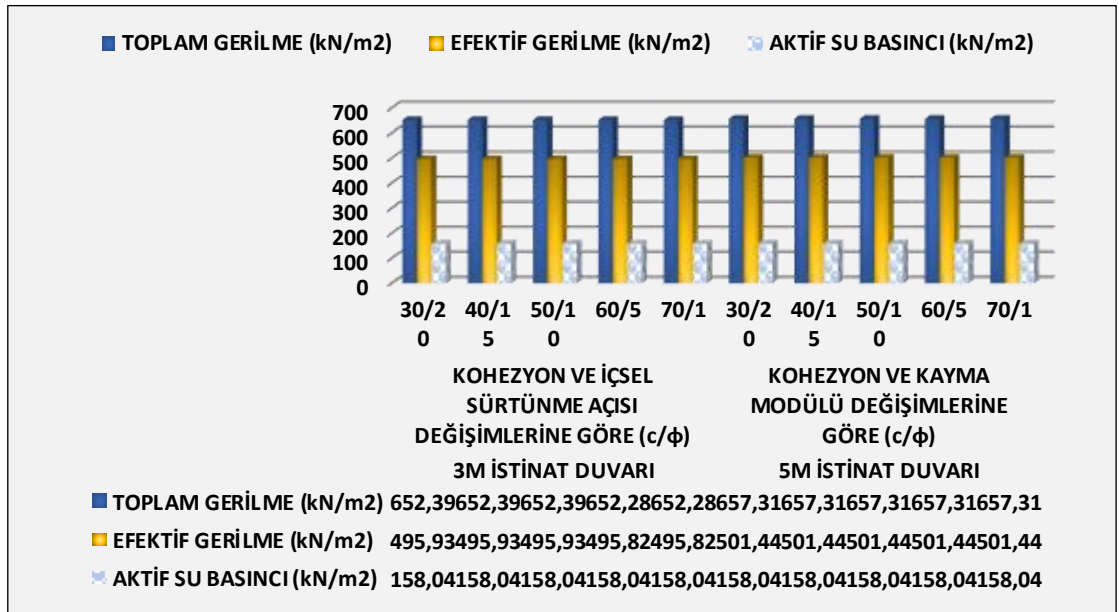
4.3.4.4. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı (c/ϕ) değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.96 ve Şekil 4.97’da 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait tasarımlarda Kohezyon ve İçsel Sürtünme Açısı (c/ϕ) değişimlerine göre oluşan

deplasman ve gerilmelere ait grafikler verilmiştir. 3 metre istinat duvarında toplam deplasman, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine bağlı olarak küçük değişiklikler göstermiştir. 30/20 durumunda 1.947 cm olan toplam deplasman, 70/1 durumunda az bir artışla 1.984 cm'ye yükselmiştir. Bu durum, içsel sürtünme açısının azalmasıyla zeminin kayma direncinin zayıfladığı şeklinde yorumlanmıştır. 5 metre istinat duvarında ise toplam deplasman, tüm kohezyon ve içsel sürtünme açısı kombinasyonlarında sabit kalmış ve 3.258–3.260 cm arasında çok sınırlı bir değişim göstermiştir. 3 metre istinat duvarında yatay deplasman, kohezyon ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak 1.762 cm'den (30/20) 1.788 cm'ye (70/1) yükselmiştir. Dolayısıyla, bu durum, düşük içsel sürtünme açısının zeminin yatay yükler altında daha fazla hareket etmesine neden olduğunu göstermektedir. 5 metre istinat duvarında ise yatay deplasman neredeyse sabit kalarak tüm durumlarda 2.084–2.091 cm aralığında bir değişim göstermiştir. Daha büyük boyutlu duvarlar, yatay deplasman üzerinde daha iyi bir kontrol sağlamakta, kohezyon ve içsel sürtünme değişimlerinden çok daha az etkilenmektedir. 3 metre istinat duvarında düşey deplasman, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerlerine bağlı olarak neredeyse sabit kalarak 1.048–1.049 cm arasında değişmiştir. Benzer şekilde, 5 metre istinat duvarında da düşey deplasman değerleri sabit kalmış ve 2.608–2.610 cm arasında ise çok küçük değişiklikler göstermiştir. Her iki durumda da düşey deplasman, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden neredeyse hiç etkilenmemiş olup, bu etkiler ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Toplam gerilme değerlerinin her iki duvar için de kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden etkilenmediği görülmüştür. 3 metre istinat duvarında toplam gerilme 652.39–652.28 kN/m² arasında hafif bir düşüş göstermiştir. 5 metre istinat duvarında ise toplam gerilme sabit kalarak tüm durumlarda 657.31 kN/m² olarak hesaplanmıştır. Efektif gerilme, her iki duvarda da kohezyon ve içsel sürtünme açısına bağlı olarak nispeten çok küçük değişiklikler göstermiştir. Efektif gerilme, 3 metre istinat duvarında 495.93 kN/m²'den (30/20) 495.82 kN/m²'ye (70/1) düşmüştür. 5 metre istinat duvarında ise tüm durumlarda sabit kalarak 501.44 kN/m² olarak ölçülmüştür. Aktif su basıncının her iki duvar için de kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden etkilenmediği görülmüş olup, tüm durumlardaki değeri 158.04 kN/m² olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.96. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği

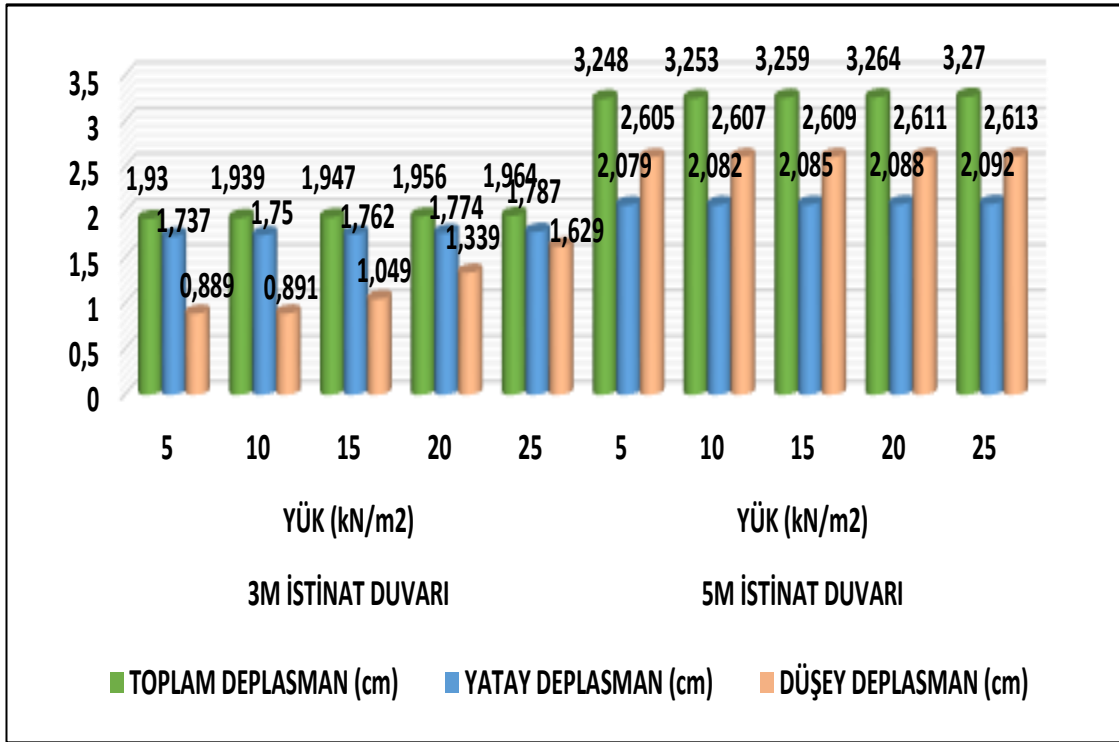


Şekil 4.97. Kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği

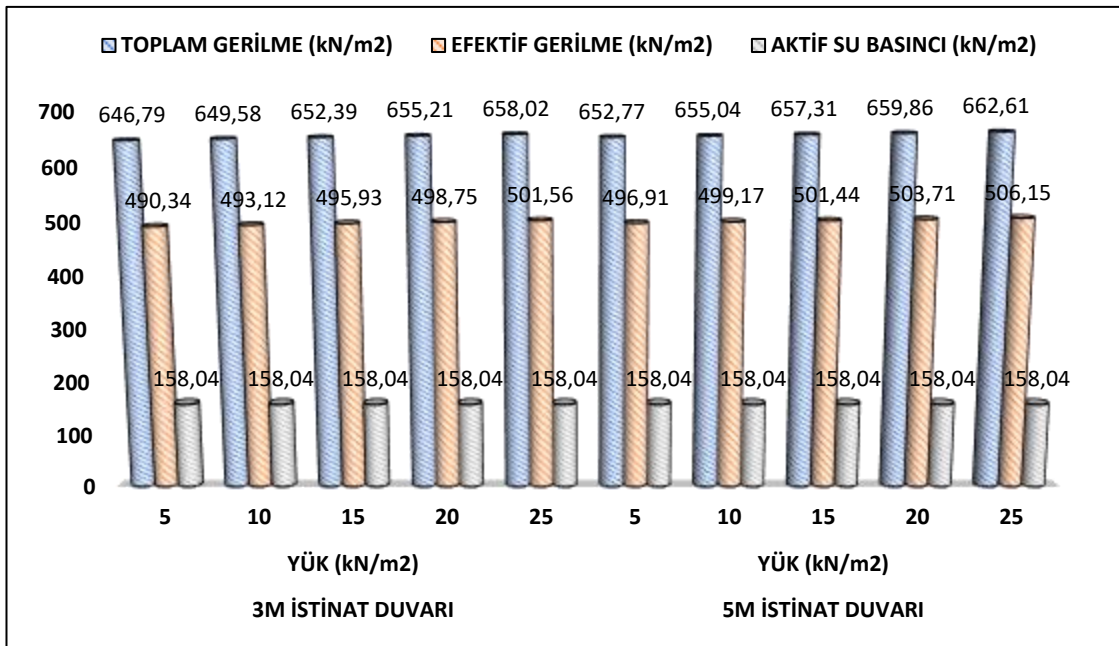
4.3.4.5. Yük değişimlerine göre analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Şekil 4.98 ve Şekil 4.99’da 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait tasarımlarda Yük değişimlerine göre oluşan deplasman ve gerilmelere ait grafikler verilmiştir. 3 metre istinat duvarında toplam deplasman, 5 kN/m² yükte 1.930 cm iken 25 kN/m² yükte 1.964 cm’ye yükselmiştir. Yük arttıkça toplam deplasman düzenli bir

şekilde artmış olduğu fakat değişimin oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Benzer şekilde 5 metre istinat duvarında da toplam deplasman, 5 kN/m² yükte 3.248 cm'den başlayarak 25 kN/m² yükte 3.27 cm'ye sınırlı bir artış göstermiştir. Yatay deplasman, 3 metre istinat duvarında 5 kN/m² yükte 1.737 cm iken 25 kN/m² yükte 1.787 cm'ye yükselmiştir. Benzer şekilde, 5 metre duvarda yatay deplasman 5 kN/m² yükte 2.079 cm'den başlayarak 25 kN/m² yükte 2.092 cm'ye ulaşmıştır. Her iki duvarda da yatay deplasman değerleri yük ile orantılı olarak sınırlı bir şekilde artmıştır. 3 metre istinat duvarında düşey deplasman, 5 kN/m² yükte 0.889 cm iken 25 kN/m² yükte 1.629 cm'ye çıkmıştır. Bu durum, düşey deplasmanda daha belirgin bir artış olduğunu göstermektedir. 5 metre duvarda ise düşey deplasman 5 kN/m² yükte 2.605 cm'den 25 kN/m² yükte 2.613 cm'ye yükselmiştir. 5 metre duvarda, düşey deplasman değerlerindeki artışın çok daha sınırlı kaldığı görülmektedir. 3 metre istinat duvarında toplam gerilme, 5 kN/m² yükte 646.79 kN/m² iken 25 kN/m² yükte 658.02 kN/m²'ye çıkmıştır. Yük arttıkça toplam gerilmede düzenli bir artış görülmektedir. Benzer şekilde, 5 metre duvarda toplam gerilme 5 kN/m² yükte 652.77 kN/m²'den başlayarak 25 kN/m² yükte 662.61 kN/m²'ye artmış olduğu görülmüştür. Efektif gerilme, 3 metre istinat duvarında 5 kN/m² yükte 490.34 kN/m² iken 25 kN/m² yükte 501.56 kN/m²'ye yükselmiştir. 5 metre duvarda ise efektif gerilme 5 kN/m² yükte 496.91 kN/m²'den başlayarak 25 kN/m² yükte 506.15 kN/m²'ye ulaşmıştır. Her iki duvarda da efektif gerilme, yük arttıkça düzenli bir artış göstermiştir. Aktif su basıncının her iki duvar için de yük değişimlerinden etkilenmediği görülmüştür. Aktif su basıncı tüm durumlarda sabit kalarak 158.04 kN/m² olarak ölçülmüştür. Bu, aktif su basıncının yalnızca yeraltı su seviyesine bağlı olduğunu ve yük değişimlerinden etkilenmediğini göstermektedir.



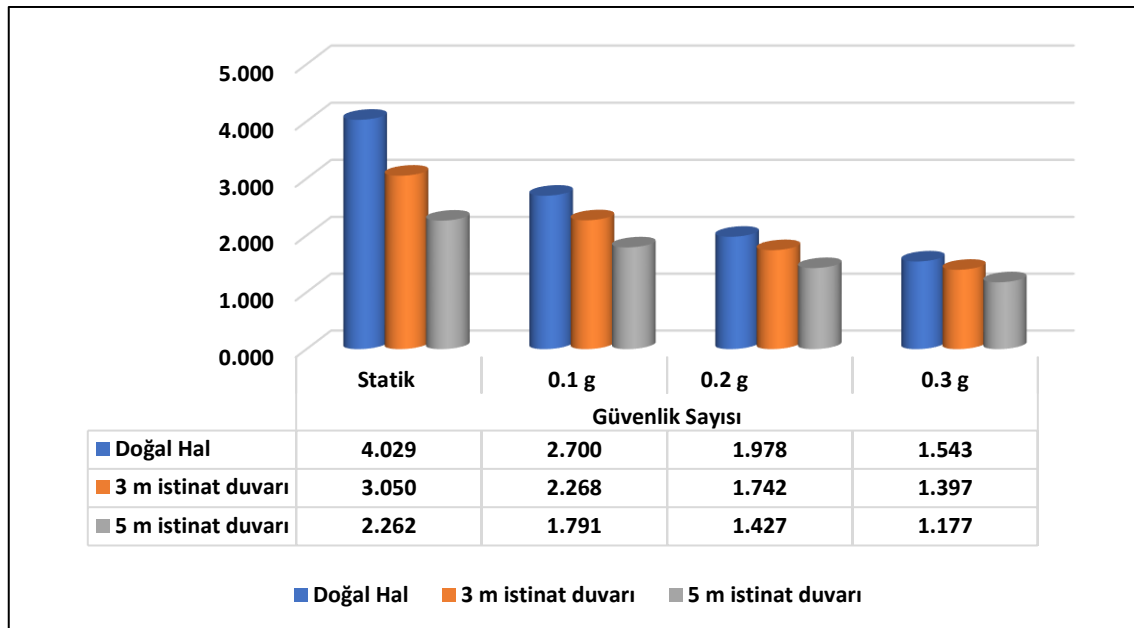
Şekil 4.98. Yük değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait deplasman grafiği



Şekil 4.99. Yük değişimlerine göre 3m ve 5m istinat duvarlarına ait gerilme grafiği

4.3.5. Statik ve dinamik durumlarda şev güvenlik sayıları hesabı

Çalışma sahası-3'te hazırlanan şevli modellerin güvenlik sayıları doğal durum, 3 metre istinat duvarı ve 5 metre istinat duvarının son hesap aşamalarına göre Plaxis-2D programı ile hesaplanmıştır (Şekil 4.100). Hesaplamalar statik ve dinamik (yarı statik) durumlara göre yapılmıştır. Dinamik durumlarda 0.1g, 0.2g ve 0.3g ivmeleri etki ettirilerek şev güvenlik sayıları hesaplanmıştır. Hesap sonuçlarına göre, doğal durumda güvenlik sayısı 4.029, 0.1 g'de 2.70, 0.2 g'de 1.978, 0.3 g'de ise 1.543 olarak hesaplanmıştır. 3 metre istinat duvarında; statik halde 3.050, 0.1 g'de 2.268, 0.2 g'de 1.742, 0.2 g 'de 1.397 olarak hesaplanmıştır. 5 metre istinat duvarında sırasıyla 2.262, 1.791, 1.427 ve 1.177 olarak hesaplanmıştır. İstinat duvarının yükseklik artışına bağlı olarak güvenlik sayılarında azalma olduğu tespit edilmiştir. En yüksek güvenlik sayısının doğal halde statik durumda 4.029 olduğu belirlenmiştir. En düşük güvenlik sayısının ise 1.177 ile 5 metre istinat duvarına ait 0.3 g ivmenin etki etmesiyle oluştuğu gözlemlenmiştir. Genel olarak dinamik etkinin artırılması ile güvenlik sayılarında azalma olduğu görülmüştür. Şekil 4.100'e göre güvenlik sayılarında en fazla değişimin doğal hal aşamasında olduğu, en az değişimin ise 5 metre istinat duvarında olduğu görülmüştür. Statik ve dinamik olmak üzere tüm aşamalarda hesaplanan güvenlik sayılarının güvenli bölgede kaldığı, statik olarak kriter kabul edilen 1.5 ve dinamik olarak kriter kabul edilen 1.1 değerlerinden büyük oldukları tespit edilmiştir.



Şekil 4.100. Statik ve dinamik durumlarda güvenlik sayıları grafiği

5. STATİK TASARIM ANALİZLERİ VE MALİYET HESABI

Bu bölümde çalışma sahası-1 için 5 metre ve 10 metre yüksekliğindeki, çalışma sahası-2 de ise 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki şevli zeminlerde tasarlanmış olan betonarme konsol istinat duvarlarının statik tasarım analizleri ve maliyet hesaplamaları yapılmıştır.

5.1. Çalışma sahalarındaki istinat duvarları için yapılan statik tasarım analizleri

Çalışma sahası-1’de tasarlanan 5 metre ve 10 metre yüksekliğindeki istinat duvarları, çalışma sahası-2 de ise 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarlarının statik hesaplamaları, çizimleri, tahkik ve analizleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018 (TDBY 2018) dikkate alınarak ide CAD Statik 10.94 demo programı ile hazırlanmıştır. Das (2007) çalışmasında statik durumda devrilmeye karşı minimum güvenlik sayısının 2.0, taşımaya karşı minimum güvenlik sayısının 3.0 ve kaymaya karşı minimum güvenlik sayısının 1.5 olduğunu belirtmiştir. İdecad statik programı ile yapılan tahkiklerin daha güvenli tarafta kalınarak; devrilme güvenliği için statik durumda 1.5, kayma güvenliği için statik durumda 1.5 ve toptan göçme durumu için statik durumda 1.1 olarak güvenlik hesapları karşılaştırılmıştır. Dinamik durumlar için ise bu katsayılar sırasıyla 1.3, 1.1 ve 1.1 olarak kabul edilmiştir.

5.1.1. Çalışma sahası-1, 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı için yapılan statik tasarım analizleri

İdeCAD Statik 10.94 demo programı ile statik hesaplamaları ve tasarımı yapılan çalışma sahası-1, 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarına ait genel tasarım kesiti ve demir donatı tasarım kesiti Şekil 5.1. ve Şekil 5.2.’de yer almaktadır. Şekil 5.3’te ise ön tasarıma ait proje ve zemin bilgilerinin yer aldığı genel bilgiler verilmiştir.

ideCAD®
10.94

YAPAN: ERCAN OLĞAÇ

PROJE: BATMAN-BEŞİRİ 5M İSTİNAT DUVARI TASARIMI

TARİH: 10.09.2024

DEPREM YÖNETMELİĞİ: TBDY 2018

DEMO

GEOTEKNİK RAPORU İÇİN ÖN TASARIM SONUÇLARI

Proje Bilgileri			
Proje Sahibi :		ERCAN OLĞAÇ	
İl / İlçe :		/	
Pafta / Ada / Parsel Numaraları :		//	

Ön Tasarımda Kullanılan Zemin Bilgileri			
Zemin taşıma gücü		30.000	t/m ²
Zemin Yatak Katsayısı		2500.000	tf/m ³
Zemin Tipi		ZD	
Deprem Yer Hareketi Düzeyi		DD-2	
Parsel Koordinatları	X/Y	37.887307 / 41.268960	
Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı (S _s)	o	0.332	
1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı (S ₁)		0.126	
Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)		2	

Ön Tasarımda Kullanılan Yapısal Bilgiler			
Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	BKS	3	
Yapı Yüksekliği	Hn	3.00	m
Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	BYS	8	

Şekil 5.3. İde cad statik programında ön tasarım için kullanılan genel bilgiler tablosu

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te (Şekil 5.5 (a), Şekil 5.5 (b), Şekil 5.5 (c), Şekil 5.5 (d), Şekil 5.5 (e)) istinat duvarına ait güvenlik tahkikleri yer almaktadır. Burada depremli ve depremsiz durumlara göre devrilme güvenliği, toptan göçme güvenliği, kayma güvenliği, kesme güvenliği ve zemin gerilme sonuçları bulunmaktadır. Her bir güvenlik kontrolü, dinamik ve statik durumlar için ayrı ayrı ele alınmıştır. Tasarlanan istinat duvarının belirtilen tüm durumlar için güvenli bölgede olduğu anlaşılmıştır. Aşağıda devrilme güvenliği hesabı ayrıntılı olarak verilmiş olup, devrilme güvenliği, kayma güvenliği ve toptan göçme güvenliği hesap sonuçlarının sınır değerler ile karşılaştırması yapılmıştır.

Devrilme güvenliği hesabı;

$$FS_{devrilme} = M_r / M_{rd}$$

$$\square M_r = W * d_r = 50 * 2.5 = 125 \text{ kN}$$

$$\square M_d = Pa * (h/3) = 25 * (5/3) = 41.67 \text{ kNm}$$

$$FS_{devrilme} = 125 / 41.67 = 4.95$$

Sonuç: $4.95 \geq 1.50 \rightarrow$ Güvenli bölgede olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca, devrilme güvenliğinin düşey yükleme durumunda $4.95 \geq 1.50$, yukarı yönlü deprem durumunda $1.48 \geq 1.30$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $1.72 \geq 1.30$ olduğu ve tüm durumlarda devrilme güvenliğinin sağlandığı görülmektedir. Kayma güvenliği; düşey yükleme durumunda $12.33 \geq 1.5$, yukarı yönlü deprem durumunda $16.82 \geq 1.1$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $16.82 \geq 1.1$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında

kayma güvenliği açısından uygun bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır. Toptan göçme güvenliği; düşey yükleme durumunda $3.23 \geq 1.10$, yukarı yönlü deprem durumunda $2.32 \geq 1.10$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $2.45 \geq 1.10$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında zemin taşıma gücü açısından güvenli bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır.

İstinat Duvarı Betonarme - ZEMİN KAT, BATMAN-5M											
DS	İsim	Konsol Önü	Konsol Arkası	C. Ön Düz	C. Arka Düz	Papuç Üstü	Papuç Altı	F. Üst Düz	F. Alt Düz	Taban Diğ Etr	Taban Diğ En.
1	BATMAN-5M	ø14 / 20	ø18 / 10	ø10 / 12	ø10 / 15	ø16 / 15	ø14 / 15	ø10 / 15	ø10 / 15		
Düşey Yükleme - Depremsiz Devrilme güvenliği : 4.95 $\geq$ 1.50 ✓ Kayma güvenliği : 12.33 $\geq$ 4.99 ✓ Toptan göçme güvenliği : 3.23 $\geq$ 1.10 ✓ Maks. zemin gerilmesi : 30.50 $\geq$ 11.61 ✓ Min. zemin gerilmesi : 16.15 $\geq$ 0.00 Yukarı Yönlü Deprem (1 + kv) : Devrilme güvenliği : 1.48 $\geq$ 1.30 ✓ Kayma güvenliği : 16.82 $\geq$ 16.72 ✓ Toptan göçme güvenliği : 2.32 $\geq$ 1.10 ✓ Maks. zemin gerilmesi : 30.50 $\geq$ 21.65 ✓ Min. zemin gerilmesi : -2.32 $\geq$ 0.00 Aşağı Yönlü Deprem (1 - kv) : Devrilme güvenliği : 1.72 $\geq$ 1.30 ✓ Kayma güvenliği : 16.82 $\geq$ 14.36 ✓ Toptan göçme güvenliği : 2.45 $\geq$ 1.10 ✓ Maks. zemin gerilmesi : 30.50 $\geq$ 18.81 ✓ Min. zemin gerilmesi : 0.53 $\geq$ 0.00											
Kayma Kontrolleri - Depremsiz Konsol kayma kontrolü : 7.25 < 26.91 ✓ Ana gövde kayma kontrolü : 14.89 < 26.91 ✓ Taban diği kayma kontrolü : Kayma Kontrolleri (1 + kv) : Konsol kayma kontrolü : 12.22 < 26.91 ✓ Ana gövde kayma kontrolü : 15.07 < 26.91 ✓ Taban diği kayma kontrolü : Kayma Kontrolleri (1 - kv) : Konsol kayma kontrolü : 10.67 < 26.91 ✓ Ana gövde kayma kontrolü : 13.41 < 26.91 ✓ Taban diği kayma kontrolü :											
Toplan Göçme Detaylar											

Şekil 5.4. İstinat duvarı tahkikleri tablosu

Devrilme Güvenliği Kontrolü				
	Koruyucu Momentler [tfm]	Devirici Momentler [tfm]	Rdev / Edev $\geq$ γ Rdev	Kontrol
Depremsiz	67.85	13.72	4.95 $\geq$ 1.50	✓
Depremlı (1 + kv)	67.85	45.99	1.48 $\geq$ 1.30	✓
Depremlı (1 - kv)	67.85	39.50	1.72 $\geq$ 1.30	✓

*Devrilme momenti kontrollerinde pasif toprak basıncı dikkate alınmamıştır.

(a)

Zemin Gerilmesi Kontrolü							
	Düşey Yük [tf]	Toplam Moment [tfm]	σ_{max} [tf/m ²]	σ_{min} [tf/m ²]	$\sigma_{max} < q_t$	σ_{min}	Kontrol
Depremsiz (1.4 G + 1.6 Q + 1.6 H)	51.36	-5.18	11.61	16.15	30.50 $\geq$ 11.61	16.15	✓
Depremlı (1 + kv) (G + Q + E)	35.77	27.34	21.65	-2.32	30.50 $\geq$ 21.65	-2.32	✓
Depremlı (1 - kv) (G + Q + E)	35.77	20.86	18.81	0.53	30.50 $\geq$ 18.81	0.53	✓

(b)

Toptan Göçme Kontrolü				
	Toplam Koruyucu Kuvvetler [tf]	Toplam Kaydırıcı Kuvvetler [tf]	$\Sigma F_{kor} / \Sigma F_{kay} \geq \gamma R_k$	Kontrol
Depremsiz	109.04	33.80	3.23 $\geq$ 1.10	✓
Depremlı (1 + kv)	114.20	49.14	2.32 $\geq$ 1.10	✓
Depremlı (1 - kv)	103.89	42.38	2.45 $\geq$ 1.10	✓

(c)

Kesme Güvenliği Kontrolü						
	Tesir Yeri	Vcr [tf]	Vc [tf]	Vd [tf]	Vc > Vd	Kontrol
Depresiz	Gövde Kesiti 1-1	33.64	26.91	7.25	26.91 > 7.25	✓
	Ön Ampatman Kesiti 2-2	33.64	26.91	11.59	26.91 > 11.59	✓
	Arka Ampatman Kesiti 3-3	33.64	26.91	14.89	26.91 > 14.89	✓
Depremli (1 + kv)	Gövde Kesiti 1-1	33.64	26.91	12.22	26.91 > 12.22	✓
	Ön Ampatman Kesiti 2-2	33.64	26.91	14.88	26.91 > 14.88	✓
	Arka Ampatman Kesiti 3-3	33.64	26.91	15.07	26.91 > 15.07	✓
Depremli (1 - kv)	Gövde Kesiti 1-1	33.64	26.91	10.67	26.91 > 10.67	✓
	Ön Ampatman Kesiti 2-2	33.64	26.91	13.41	26.91 > 13.41	✓
	Arka Ampatman Kesiti 3-3	33.64	26.91	13.35	26.91 > 13.35	✓

(d)

Kayma Güvenliği Kontrolü						
	Koruyucu Direnç [Rth] [tf]	Pasif İtki [Rpt] [tf]	Koruyucu Kuvvetler [tf]	Kaydırıcı Kuvvetler [tf]	Rth + 0.3Rpt ≥ Vth	Kontrol
Depresiz	12.33	0	12.33	4.99	12.33 ≥ 4.99	✓
Depremli (1 + kv)	16.82	0	16.82	16.72	16.82 ≥ 16.72	✓
Depremli (1 - kv)	16.82	0	16.82	14.36	16.82 ≥ 14.36	✓

*Kayma kontrollerinde pasif toprak basıncı güvenlik faktörü ile dikkate alınmıştır.

(e)

Devrilme Güvenliği (a), Zemin Gerilmesi (b), Toptan Göçme (c), Kesme Güvenliği (d) ve Kayma Güvenliği (e)

Şekil 5.5. İdecad programı ile tasarımı yapılan 5 metre istinat duvarının statik ve dinamik durumlar için tahkiki

5.1.2. Çalışma sahası-1 10 metre, Çalışma sahası-2 3 metre ve Çalışma sahası-2 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı için yapılan statik tasarım analizleri

Tasarımı yapılan 10 metre yüksekliğindeki istinat duvarının; Devrilme güvenliği; yukarı yönlü deprem durumunda $2.15 \geq 1.30$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $3.03 \geq 1.30$ olduğu, statik yükleme durumunda $10.00 \geq 1.50$ olduğu ve tüm durumlarda devrilme güvenliğinin sağlandığı görülmektedir. Kayma güvenliği; düşey yükleme durumunda $17.33 \geq 1.5$, yukarı yönlü deprem durumunda $23.68 \geq 1.1$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $23.64 \geq 1.1$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında kayma güvenliği açısından uygun bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır. Toptan göçme güvenliği; düşey yükleme durumunda $2.85 \geq 1.10$, yukarı yönlü deprem durumunda $2.18 \geq 1.10$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $2.33 \geq 1.10$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında zemin taşıma gücü açısından güvenli bir tasarım olduğu görülmüştür. Tasarımı yapılan 3 metre yüksekliğindeki istinat duvarının; Devrilme güvenliği; Düşey yükleme durumunda $3.79 \geq 1.50$, yukarı yönlü deprem durumunda $1.42 \geq 1.30$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $1.63 \geq 1.30$ olduğu ve tüm durumlarda devrilme güvenliğinin sağlandığı görülmektedir. Kayma güvenliği; Düşey yükleme durumunda $9.00 \geq 1.5$, yukarı yönlü deprem durumunda $12.27 \geq 1.1$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $12.27 \geq 1.1$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında kayma güvenliği açısından uygun bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır. Toptan göçme

güvenliği; Düşey yükleme durumunda $2.01 \geq 1.10$, yukarı yönlü deprem durumunda $1.55 \geq 1.10$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $1.61 \geq 1.10$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında zemin taşıma gücü açısından güvenli bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır. Tasarımı yapılan 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarının; Devrilme güvenliği hesabı; Düşey yükleme durumunda $4.39 \geq 1.50$, yukarı yönlü deprem durumunda $1.39 \geq 1.30$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $1.61 \geq 1.30$ olduğu ve tüm durumlarda devrilme güvenliğinin sağlandığı görülmektedir. Kayma güvenliği; Düşey yükleme durumunda $13.42 \geq 1.5$, yukarı yönlü deprem durumunda $17.96 \geq 1.1$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $17.91 \geq 1.1$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında kayma güvenliği açısından uygun bir tasarım olduğu anlaşılmaktadır. Toptan göçme güvenliği; Düşey yükleme durumunda $2.02 \geq 1.10$, yukarı yönlü deprem durumunda $1.52 \geq 1.10$, aşağı yönlü deprem durumunda ise $1.55 \geq 1.10$ olduğu ve tüm yükleme durumlarında zemin taşıma gücü açısından güvenli bir tasarım olduğu görülmüştür.

5.2. Çalışma sahalarındaki istinat duvarları için yapılan maliyet hesapları

Çalışma sahası-1 ve çalışma sahası-2 şevli zeminlerinde tasarlanmış olan 3 metre, 5 metre ve 10 metre yüksekliklerindeki istinat duvarlarının yaklaşık maliyet hesaplamaları OSKA yazılım hakediş plus programı ile yapılmıştır.

5.2.1. Çalışma sahası-1 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarı için yapılan maliyet hesapları

5.2.1.1. Toplam metraj hesabı

Çalışma sahası-1 de tasarlanan 5 metre yüksekliğindeki betonarme istinat duvarına ait bir metre duvar uzunluğu için hesaplanan toplam metraj Çizelge 5.1’de verilmiştir. Burada, C25 beton 3.85 m^3 , kalıp imalatı 11 m^2 , S420 ince donatı ($\phi 8 - \phi 12$) 88.54 kg , S420 kalın donatı ($\geq \phi 14$) 270.38 kg toplam donatı miktarı 358.92 kg olarak hesaplanmıştır. Ayrıca temel kazısı 1.85 m^3 , grobeton 0.37 m^3 ve drenaj boru uzunluğu 1 metre olarak metrajlandırılmıştır.

Çizelge 5.1. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı metraj cetveli

Açıklama	Adet	Boy	En	Yükseklik	Topla m
Y.15.014/4A: Makine ile patlayıcı madde kullanmadan sert kaya kazılması (Serbest kazı), Birimi: m ³					
istinat duvar kazısı (arazideki kot farklılıkları dikkate alınmamıştır)	1	3,7	1	0,5	1,850
Y.16.050/13: Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 16/20 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil), Birimi: m ³					
10 cm grobeton	1	3,7	1	0,1	0,370
Y.16.050/15: Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil), Birimi: m ³					
istinat duvar betonu	1	3,85			3,850
Y.18.460/24: Ø 200 mm anma çaplı, PVC esaslı koruge drenaj borusunun temini ve yerine döşenmesi, Birimi: m					
drenaj borusu	1	1			1,000
Y.21.001/03: Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması, Birimi: m ²					
istinat duvar kalıbı	1	11			11,000
Y.23.014: Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması, Birimi: Ton					
boy: $88,54/1000=0,08854$	1	0,0885			0,089
Y.23.015: Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması, Birimi: Ton					
boy: $270,38/1000=0,27038$	1	0,2703			0,270

5.2.1.2. Yaklaşık maliyet hesabı

Çalışma sahası-1 de yer alan 5 metre istinat duvarına ait metraj cetveli çizelge 5.1’de verilmiştir. Hesaplanan metrajlara göre Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği

Bakanlığı'nın 2024 yılında yayımlamış olduğu birim fiyatlar kullanılarak yaklaşık maliyet hesap cetveli (Çizelge 5.2) oluşturulmuştur. Yapılan hesaplamalara göre 5 metre yüksekliğindeki ve 1 metre uzunluğundaki istinat duvarının yaklaşık maliyeti 30.177,68 TL olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2. Çalışma sahası-1, 5 metre istinat duvarı yaklaşık maliyet cetveli

Poz No	İmalatın Cinsi	Birim	Miktarı	Birim Fiyatı	Tutarı
Y.15.014/4A	Makine ile patlayıcı madde kullanmadan sert kaya kazılması (Serbest kazı)	m ³	1,850	195,29	361,29
Y.16.050/13	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 16/20 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	0,370	2.480,30	917,71
Y.16.050/15	Beton santralinde üretilen veya satın alınan ve beton pompasıyla basılan, C 25/30 basınç dayanım sınıfında, gri renkte, normal hazır beton dökülmesi (beton nakli dahil)	m ³	3,850	2.605,30	10.030,41
Y.18.460/24	Ø 200 mm anma çaplı, PVC esaslı koruge drenaj borusunun temini ve yerine döşenmesi	m	1,000	127,20	127,20
Y.21.001/03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	m ²	11,000	634,51	6.979,61
Y.23.014	Ø 8- Ø 12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	Ton	0,089	33.511,95	2.982,56
Y.23.015	Ø 14- Ø 28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	Ton	0,270	32.514,45	8.778,90
Toplam:					30.177,68

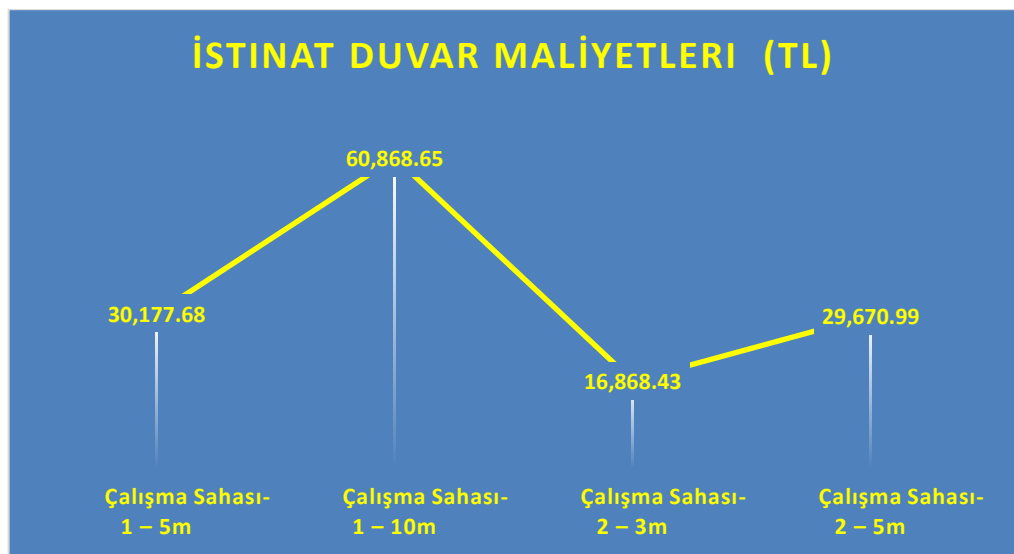
5.2.3. Yaklaşık maliyet icmali

Çalışma sahası-1 ve Çalışma sahası-2 şevli zeminlerinde tasarlanmış olan istinat duvarlarının yaklaşık maliyetleri OSKA yazılım hakediş plus programı ile hesaplanmış olup, hesaplamalarda Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 2024 yılında yayımlamış olduğu birim fiyatlar kullanılmıştır. Yapılan hesaplamalarda istinat duvarının 1 metre uzunlukları dikkate alınmıştır. Çizelge 5.3'te çalışma sahası-1 ve çalışma sahası-

2’de yer alan istinat duvarlarına ait yaklaşık maliyet icmal tablosu verilmiştir. Şekil 5.6’da ise çalışma sahalarında tasarlanan istinat duvarlarına ait yaklaşık maliyetlerin karşılaştırıldığı grafik görülmektedir. Çalışma sahası-1’de, 5 metre yükseklik için maliyet 30.177,68 TL, 10 metre yükseklik için ise 60.868,65 TL olarak hesaplanmıştır. Bu durum, yükseklik arttıkça maliyetin neredeyse iki katına çıktığını ve yüksekliğin maliyet üzerinde önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Çalışma sahası-2’de ise 3 metre yükseklik için maliyet 16.868,43 TL, 5 metre yükseklik için 29.670,99 TL olarak hesaplanmıştır. Burada da yükseklik artışıyla birlikte maliyetin belirgin bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Çalışma sahası-1’e ait istinat duvarı maliyetlerinin Çalışma sahası-2’de yer alan istinat duvarlarına göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Genel olarak, yükseklik artışının istinat duvar maliyetleri üzerinde doğrudan etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.3. İstinat duvarları yaklaşık maliyet icmal tablosu

İstinat Duvarı	Tutar (TL)
Çalışma Sahası-1 – 5m	30.177,68
Çalışma Sahası-1 – 10m	60.868,65
Çalışma Sahası-2 – 3m	16.868,43
Çalışma Sahası-2 – 5m	29.670,99



Şekil 5.6. Çalışma sahalarında tasarlanan istinat duvarlarına ait yaklaşık maliyet grafiği

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, şev stabilitesi ve istinat duvarlarının etkileri incelenmiş, oluşan deplasmanlar detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında seçilen Çalışma Sahası-1, Çalışma Sahası-2 ve Çalışma Sahası-3 için İde CAD Statik programı ile farklı yükseklik ve parametrelerde istinat duvarları tasarlanmış, tasarlanan duvarların ve çalışma sahalarına ait şevli zemin kesitlerinin PLAXIS 2D bilgisayar yazılımı ile modelleri oluşturulmuştur. Bununla birlikte istinat duvarlarının statik analizleri ve tasarımları İde CAD Statik programı kullanılarak gerçekleştirilmiş, maliyet analizleri ise Oska yazılım programı aracılığı ile detaylı bir şekilde yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1-) Çalışma Sahası-1 de Plaxis (2D) programında doğal haldeki şev için güvenlik katsayısı 1.552 olarak hesaplanmış ve doğal halde güvenli olduğu anlaşılmıştır.

2-) Çalışma Sahası-1 için tasarlanan üç farklı alternatif çalışma sonuçları değerlendirildiğinde, hesaplanan deformasyonların risk oluşturabilecek düzeyde olmadığı ve limit deformasyon kabulüne göre emniyetli oldukları tespit edilmiştir. Farklı alternatif çalışmalar ve farklı yükseklikteki duvarlar göz önünde bulundurularak en düşük deformasyona göre en uygun çalışmalar belirlenmiştir. Toplam deformasyon değişimlerine göre yapılan incelemelerde, 5 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 2.alternatif çalışma olduğu, 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın ise 3.alternatif çalışma olduğu anlaşılmaktadır. Yatay deformasyon değişimlerine göre yapılan incelemelerde, 5 metre ve 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 3.alternatif çalışma olduğu, düşey deformasyon değişimlerine göre yapılan incelemelerde ise, 5 metre ve 10 metre istinat duvarı için en uygun çalışmanın 2.alternatif çalışma olduğu tespit edilmiştir.

3-) Çalışma Sahası-2 de güvenlik sayısı, statik ve dinamik (yarı statik) durumlara göre hesaplanmıştır. Doğal haldeki şev için güvenlik sayısı 4.674, inşaatın tamamlandığı son durumda ise 3.241 olarak hesaplanmıştır. Dinamik etkinin artırılması ile güvenlik sayılarında azalma olduğu görülmüştür. Statik ve dinamik olmak üzere tüm aşamalarda hesaplanan güvenlik sayılarının güvenli bölgede kaldığı tespit edilmiştir.

4-) Çalışma Sahası-2’de doğal hal durumunda toplam, yatay ve düşey deplasman değerlerinin oldukça düşük seviyede olduğu, dolayısıyla bu şartlarda zeminin doğal halinde stabil olduğunu ve önemli bir deformasyon riskine sahip olmadığını göstermiştir.

İnşaatin tamamlanmış olduğu en son yük durumunda oluşan deformasyonların da sınır değerler içerisinde kaldığı ve zeminin stabilite açısından güvenli tarafta olduğu belirlenmiştir. Gerçek saha verilerine göre analizleri gerçekleştirilen ve inşaatı tamamlanmış olan Çalışma Sahası-2'nin statik ve dinamik duruma göre güvenli olduğu tespit edilmiştir.

5-) Çalışma Sahası-3'te doğal haldeki şev için güvenlik katsayısı 4.029 olarak hesaplanmış ve doğal halde güvenli olduğu anlaşılmıştır. Güvenlik sayısının 3 metre istinat duvarı çalışmasındaki değeri 3.050, 5 metre istinat duvarı çalışmasındaki değeri ise 2.262 olarak hesaplanmıştır. İstinat duvarının yükseklik artışına ve dinamik etkinin artırılmasına bağlı olarak güvenlik sayılarında azalma olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, tüm durumlarda güvenlik sayılarının yeterli kriteri sağlayarak güvenli tarafta kaldığı tespit edilmiştir. Yeraltı Su Seviyesi (YASS), elastisite Modülü, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve yük değişimlerine göre yapılan analizlerde de, güvenlik sayılarının yeterli kriterlerde olduğu görülmüştür. Statik ve dinamik olmak üzere tüm aşamalarda hesaplanan güvenlik sayılarının güvenli bölgede kaldıkları tespit edilmiştir.

6-) Çalışma Sahası-3'te tasarlanan 3 metre ve 5 metre yüksekliğindeki istinat duvarları için yapılan analizlerde, tüm durumlarda hesaplanan deformasyonların risk oluşturabilecek düzeyde olmadığı ve güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir.

7-) Çalışma Sahası-3'te, yeraltı su seviyesi (YASS) yükseldikçe toplam, yatay ve düşey deplasmanların, yanısıra toplam gerilme ve aktif su basıncı değerlerinin de arttığı, efektif gerilme değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde istinat duvarı tasarımı yapılırken özellikle drenaj sistemlerinin ve zemin iyileştirme yöntemlerinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

8-) Çalışma Sahası-3'te, elastisite modülünün artmasıyla istinat duvarlarındaki deformasyonların azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, elastisite modülünün toplam gerilme üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı, elastisite modülündeki artışın efektif gerilme üzerindeki etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğu ve aktif su basıncının elastisite modülünden bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Yapılan bu analizlere göre elastisite modülünün, zemin-duvar etkileşiminde deformasyon kontrolü açısından kritik bir parametre olduğu ve istinat duvarlarının tasarımında dikkate alınması gerektiği görülmüştür.

9-) Çalışma Sahası-3'te, 3 metre ve 5 metre istinat duvarlarının kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden çok az etkilendiği ve bu değişimlerin ihmal edilebilir seviyede olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber, 5 metre istinat duvarlarının kohezyon

ve içsel sürtünme açısı değişimlerinden 3 metre istinat duvarına göre çok daha az etkilendiği tespit edilmiştir.

10-) Çalışma Sahası-3'te, 3 metre ve 5 metre duvarlarda oluşan deformasyon ve gerilmeler sürşarj yükünün artışıyla orantılı olarak artış göstermiştir. Burada, 5 metre istinat duvarı, yük artışlarına karşı daha stabil bir davranış sergileyerek deformasyon değerlerindeki değişimleri daha sınırlı kalmıştır. Ayrıca, efektif gerilmenin yük arttıkça düzenli bir artış gösterdiği, aktif su basıncının ise sabit kalarak yük değişimlerinden etkilenmediği tespit edilmiştir.

11-) Çalışma Sahası-1 ve Çalışma Sahası-2'de yer alan istinat duvarlarının statik hesaplamaları, çizimleri, tahkik ve analizleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TDBY, 2018) dikkate alınarak hesaplanmıştır. Betonarme konsol istinat duvarlarının statik ve dinamik durumlara göre güvenlik tahkikleri yapılmış olup devrilme güvenliği, kayma güvenliği, toptan göçme güvenliği ve zemin emniyet gerilmesinin güvenli bölgede kaldığı tespit edilmiştir.

12-) İstinat duvarlarının maliyet analizine ilişkin yapılan hesaplamalar, duvar boyutlarının maliyet üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermiştir. Çalışma Sahası-1'de, 5 metre yükseklikteki duvarın maliyeti 30.177,68 TL iken 10 metre yükseklikte bu maliyet 60.868,65 TL'ye yükselmiş ve maliyetin neredeyse iki katına çıktığı görülmüştür. Benzer şekilde, Çalışma Sahası-2'de 3 metre yükseklikteki duvarın maliyeti 16.868,43 TL, 5 metre yükseklikte ise 29.670,99 TL olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, Çalışma Sahası-1'deki istinat duvarlarının maliyetleri, Çalışma Sahası-2'deki duvarlara göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, zemin koşulları ve istinat duvarı boyut farklılıklarının maliyetleri önemli ölçüde etkilediğini ortaya koymaktadır.

6.2 Öneriler

Zemindeki yeraltı su seviyesinin durumu, zemine etkiyen yüklerin durumu, elastisite modülü, kohezyon ve içsel sürtünme açısı gibi parametreler, istinat duvarlarının performansında kritik bir rol üstlenmişlerdir. Bu parametrelerin, zemin özellikleri ile birlikte alternatif tasarımlar ve mühendislik projelerinde dikkate alınması önem arz etmektedir. Farklı zemin koşullarında şev stabilitesinin sağlanması, yapı güvenliğinin artırılması ve çevresel faktörlerin dikkate alınarak mühendislik çözümlerinin geliştirilmesi oldukça önemlidir. İstinat duvarı statik projeleri yapılırken, şev ve zemin durumunun ihmal edilmemesi gerektiği, tasarım yapılırken inşaat aşamalarının

analizlerinin ayrıntılı yapılması dikkate alınmalı ve geoteknik mühendisliği ile işbirliği içerisinde olan tasarımlar ortaya konmalıdır. Geoteknik mühendisliği ve inşaat mühendisliği alanında, özellikle eğimli arazilerde karşılaşılan zemin problemlerine yönelik daha etkin ve dayanıklı çözümler üretilmesi önem arz etmektedir.

Bunun yanısıra, dinamik yükler altında (deprem etkileri) şev stabilitesinin daha geniş kapsamda incelenmesi gerekmektedir. Gelecekte, farklı büyüklükteki deprem senaryolarına dayalı analizler gerçekleştirilerek istinat duvarlarının performansı değerlendirilmelidir. Farklı istinat duvarı türleri karşılaştırmalı olarak incelenmeli ve bu türlerin ekonomik ve mühendislik performansları ayrıntılı analiz edilmelidir. Daha farklı zemin türleri ve topoğrafyalar için benzer analizler yapılarak sonuçların genellenebilirliği artırılmalıdır. Dolayısıyla, farklı yazılım programları ile modellemeler ve analizler gerçekleştirilerek analizlerin doğruluğu ve genellenebilirliği üzerinde durulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Arslan, Ö., Keskin, İ., & Ateş, A. (2018). Farklı Deprem Yüklerinin Betonarme Konsol Bir İstinat Duvarının Maliyetine Etkisinin Analizi. *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, 6, 28-35.
- Aytekin, M., (2004). *Deneyisel Zemin Mekaniği, Mühendislik ve Mimarlık Yayınları*, Teknik Yayınevi, Ankara.
- Bajlan, H.G.F. (2016). *Numerical analysis of geosynthetic reinforced earth walls with finite element method* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 432289).
- Bilgin, H. (2006). *İstinat Duvarlarının Dinamik ve Statik Yükler Altındaki Davranışının Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 102 s.
- Binici, E. ve Öztürk, Ş. (2019). Konsol istinat duvar tasarımı üzerine parametrik bir çalışma. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Araştırma Makalesi, Iğdır Üniversitesi, Iğdır*.
- Bowles, J.E., (1996) “*Foundation analysis and design*,” 5th Edn, The McGraw-Hill Companies, New York.
- Bowles, J.E.(2001). “*Foundation analysis and design*”, McGraw-Hill, New York
- Braja, M., D.(2000). Fundamentals of Geotechnical Engineering, *California State University, Sacramento*
- Brinkgreve, R. B. J., & Vermeer, P. A. (2002). Plaxis finite element code for soil and rock analyses, Version 8. *Balkema, Rotterdam*.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations*. 3 rd Edition. The United States of America: John Wiley & Sons
- Bülbül, M.B, Demir, G., “*Derin Kazılarda İksa sistemlerinin Tasarımının Ve Deformasyonlarının İncelenmesi*” 6. Geoteknik Sempozyumu 26-27 Kasım 2015, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Canadian Geotechnical Society, 2006. “*Canadian Foundation Engineering Manual*”, 4th Edition.
- Celep, Z.,ve Kumbasar, N.(1998). *Betonarme Yapılar*, Sema Matbaacılık, İstanbul, 291-328.
- Civil Engineering Lode of Practice Cp2, Earth Retaining Structures, Institute of Structural Engineering, London, 1951. (NowSopersededby BS 8002:1994)
- Coduto, D.P., “*Foundation design, principles and practices*”, Prentice Hall, New Jersey, 2011.

- Coulomb, K.(1967). & Peck, R., B., *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., Wiley, New York
- Clayton, C. R. I., & Symons, I. F. (1992). The pressure of compacted fill on retaining walls. *Géotechnique*, 42(1), 127-130.
- Clayton, C. R., Woods, R. I., Bond, A. J., & Milititsky, J. (2014). *Earth pressure and earth-retaining structures*. CRC press.
- Craig, R.F. (2004). *Craig's Soil Mechanics*. Spon Press, Great Britain. ISBN: 0-415-32702-4
- Çiçek, E., Güler, E. ve Yetimoğlu T. (2015). Sedde şevlerinin geosentetik ile donatılmasının stabiliteye etkisi. *EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8(1), 100-114. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr>
- Das, M. B. (1984), *Principles of Foundation Engineering*. USA: Brookes/Cole Engineering Division.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering*, Sevent. *Cengage learning*.
- Das B. M., “Principles of Geotechnical Engineering”, PWS Publishing, USA, 2011.
- Das, M. R., Purohit, S., & Das, S. K. (2016). Multi-objective optimization of reinforced cement concrete retaining wall. *Indian Geotechnical Journal*, 46, 354-368.
- Day RW. (2001). *Geotechnical earthquake engineering hand book*. New York: McGraw-Hill
- Day, R. W. (2002). *Geotechnical earthquake engineering handbook. (No Title)*.
- Day, R.W. (2004). “Geotechnical Earthquake Engineering Hand Book”, McGrawHill, New York
- DBYBHY, (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- Duncan, J.M. ve Wright, S.G., 2005. *Zemin Şevlerinin Duraylılığı*, Gazi Kitabevi.
- Elms, D.G.,& Richards, R. Jr.(1990). *Seismic Design of Retaining Walls, Design and Performance of Eart Retaining Structures*, ASCE, Geotechnical Special Publication, No.25, New York, 854-871
- Emir, A.S. (2005). *Donatılı zemin istinat duvarlarının statik ve dinamik yüklere göre tasarımı* (Yüksel lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.166220)
- Eren, S., & Aksoy, C. O. (2020). Yeraltısuyu Seviyesinin Açık Ocaklarda Şev Duraylılığına Etkilerinin Araştırılması. *MT Bilimsel*, (17), 23-31.

- Ertuğrul, Ö. L., Çalışan, O., ve Özkan, M. Y. (2008). “İstinat duvarlarının dinamik yükler altındaki davranışının sonlu elemanlar metodu kullanılarak modellenmesi”
- Eurocode 7: (2004) Geotechnical design - Part 1 General Rules, EN 1997-1. *British Standards, UK.*
- FHWA U.S Department of Transportation, 2009, Federal highway administration. Washington.
- Hunt, R.E. (1986). “*Geotechnical Engineering Techniques and Practices*”,Mc-Graw-Hill Companyinc., USA
- İdeCAD Statik, I. D. S. v10. 05, 2018. *Yapı Analiz Programı, ideYAPI Bilgisayar Destekli Tasarım Mühendislik Danışmanlık Taahhüt AŞ, İstanbul*
- İncecik, M., Balkaya M. ve Afatoğlu H. A. (2006). Yumuşak zemin üzerine inşa edilen yol dolgularının geosentetikler ve taş kolonlar ile stabilizasyonu. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Birinci Ulusal Kongresi*, 212-219, Trabzon
- Güler, E. ve Demirkan, M. (2002). Geosentetik donatılı istinat duvarlarının dinamik yükler altında davranışı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi*, 302-311, Eskişehir
- Kenneth, L., L., Bobby, D., A., and Jean-Maric J, Vagneron.(1973). Reinforced Earth Retaining Walls, J.Soil Mech. Found. Eng. Div., ASCE
- Kramer, S.L., *Geotechnical Earthquake Engineering*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- Kumbasar, V.,& Kip, F.(1992). *Zemin Mekaniği Problemleri*, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 143-183
- Nadim, H. N., & Hadjian, A. H.(1979). Eartquake-Induced Lateral Soil Pressures On Structures, *ASCE Journal of The Geotechnical Enginering Division*, 1049- 1066
- Önalp, A. (1983). *İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi*, Cilt 2, 1. Baskı, K.T.Ü. Yayınevi, Trabzon
- Örnek, M., Demir, A., Yıldız, A. ve Laman, M., (2008). Yumuşak kil zeminlerde geogrid donatı etkisinin sayısal analizi. *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı*, 1-11,İstanbul
- Özaydın, K. (1989). *Zemin Mekaniği*, Meya Matbaacılık ve Yayıncılık Ltd. Şti. İstanbul
- Plaxis. (2012b): Plaxis 2D - Material Models Manual 2012. *Plaxis B.V*, Delft, Netherlands.
- Rafnsson, E.A., & Prakash, S. (1991). “ Stiffness and Damping Parameters for Dynamic Analysis of Retaining Walls”, *Proc. Second International Conference on Recent Advances in Geotechnica Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, Vol. III, pp.1943-1952

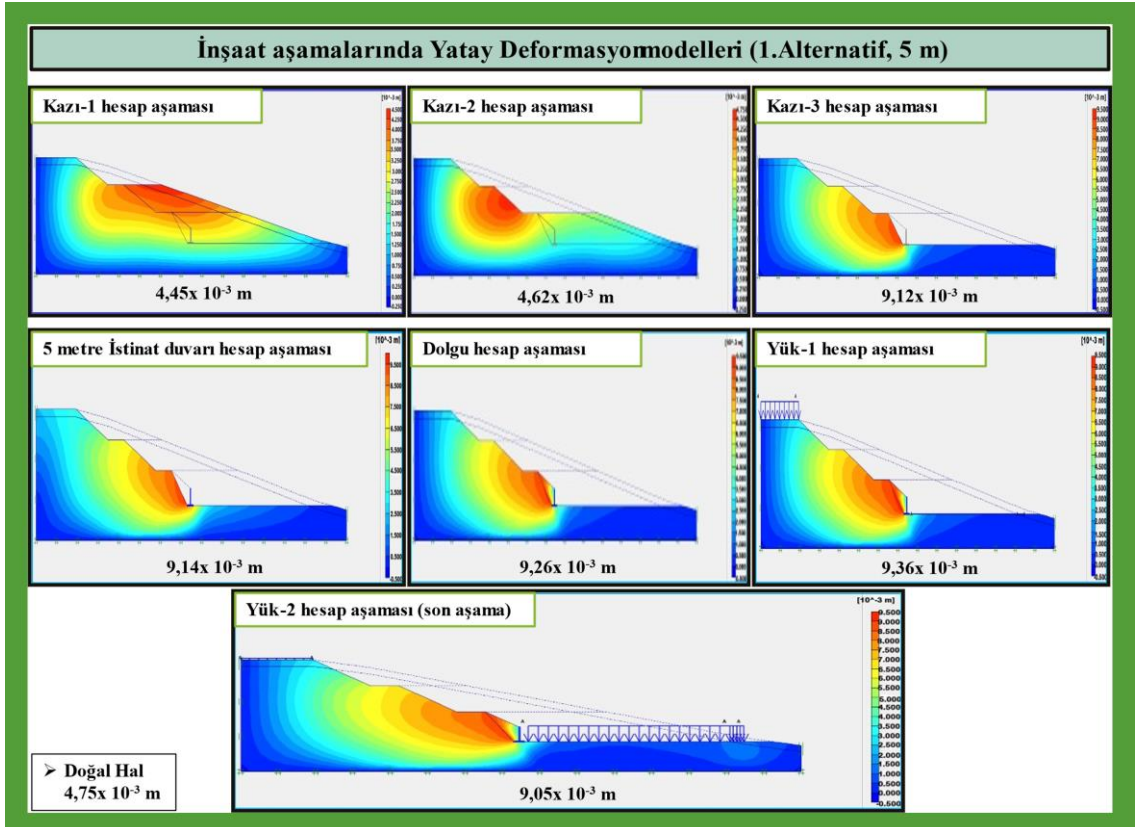
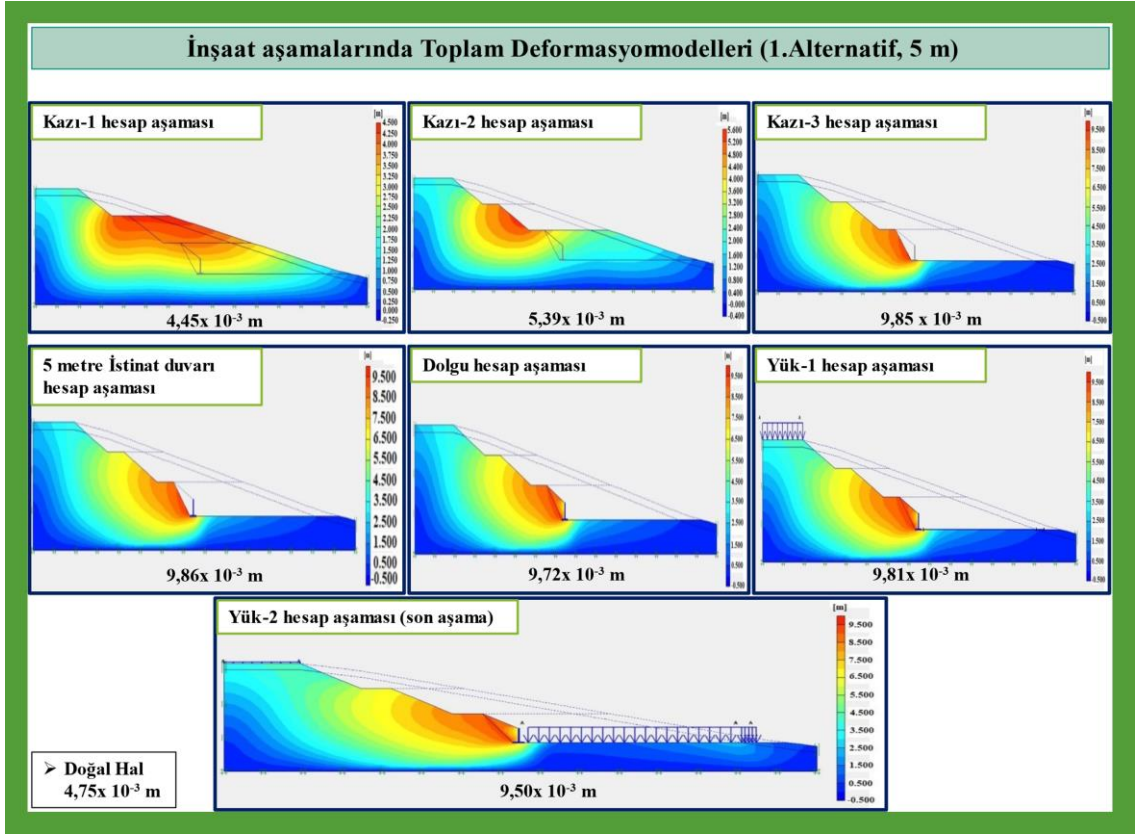
- Rafnsson, E.A., Prakash, S., (1994). "Displacement Based A seismic Design of Retaining Walls", *Proc. XIII Inter. Conf. On SMFE*, New delhi, Vol 3, pp. 1029-1032
- Rankine, W. J. M. (1857). II. On the stability of loose earth. *Philosophical transactions of the Royal Society of London*, (147), 9-27.
- Richards Jr, R., & Elms, D. G. (1979). Seismic behavior of gravity retaining walls. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 105(4), 449-464.
- Richards Jr, R., Huang, C., & Fishman, K. L. (1999). Seismic earth pressure on retaining structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 125(9), 771-778.
- Seed, H. B., & Whitman, R. V. (1970). *Design Of Earth Retaining Structures For Dynamic Loads, Lateral Stresses in The Ground and Design Of Eart Retaining Structures*, ASCE, 103-147
- Schmied, C., & Karlsson, V. (2021). Optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls considering environmental impact and investment cost.
- Sherif, M. A., & Fang, Y. S. (1984). Dynamic earth pressures on walls rotating about the top. *Soils and Foundations*, 24(4), 109-117.
- Shinde, A. L., & Mandal, J. N. (2007). Behavior of reinforced soil retaining wall with limited fill zone paramete. *Geotechnical and Geological Engineering*, 25, 657-672.
- Steedman, R. S., & Zeng, X. (1990). The influence of phase on the calculation of pseudo-static earth pressure on a retaining wall. *Geotechnique*, 40(1), 103-112.
- Suliman, B.A., Mohamed, Kuo-Hsin Yang & Wen-Yi Hung, (2014). Finite element analyses of two-tier geosynthetic-reinforced soil walls: Comparison involving centrifuge tests and limit equilibrium results. *Computers and Geotechnics*, 61, 67-84. Erişim adresi: www.elsevier.com/locate/compgeo
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara. Erişim adresi: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1.pdf>
- Terzaghi, K., 1943. *Theoretical Soil Mechanis*, John Wiley, New York.
- Terzaghi, K., & Peck, R., B. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed., Wiley, New York. TS 7994, 1990
- Terzaghi, K. (1996). *Soil mechanics in engineering practice*, John Wiley & Sons.
- TS7994.(1990). "Zemin dayanma yapıları: Sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme esasları", Türk Standartları Enstitüsü, İ.T.Ü. Merkez Kütüphanesi

- Tuğrul A.T., (2019). *İstinat Yapılarının Depreme Dayanıklı Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 202 s.
- Tunç, A., “*Yol Mühendisliğinde Geoteknik ve Uygulamaları*,” Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002.
- USACE (United States Army Corps of Engineers). (2003). *Design of retaining walls*. U.S. Army Corps of Engineers.
- Uzuner, B.A.(1998). *Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği*, 4. Baskı, Teknik Yayınevi, Ankara
- Visone, C., (2008). “*Performance-Based approach in seismic design of Embedded Retaining Walls*”,Yüksek Lisans Tezi, Università Degli Studi di Napoli Federico II Polo delle Scienze e delle Tecnologie, Napoli
- Yardımcı, T. (2013). *Investigation of geosynthetic reinforced tiered retaining walls using finite element analysis* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 338864).
- Yıldırım, S., (2009). “*Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*”, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Whitlow, R.(2001). *Basic Soil Mechanics*, Fourth Edition, Pearson Education Ltd.
- Whitman, R. V.(1990). Seismic Design and Behaviour of Gravity Retaining Walls, *Design and Performance of Earth Retaining Structures*, ASCE, Geotechnical Special Publication, No.25, New York, 817-842.
- Whitman, R. V. (1990). Seismic design and behavior of gravity retaining walls. In *Proc. of ASCE Specialty Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures* (pp. 817-834).
- Wu, Y., & Prakash, S., (1999). Effect of Submergence on Seismic Displacement of Rigid Walls. *Second International Conference on Earthquake Geotechnical and Soil Dynamics*, Lisbon, 277-289.
- Zienkiewicz, O.C., Taylor R.L., & Zhu J.Z. (2005): *The Finite Element Method*. Elsevier Butterworth-Heinemann. ISBN: 07506632000.

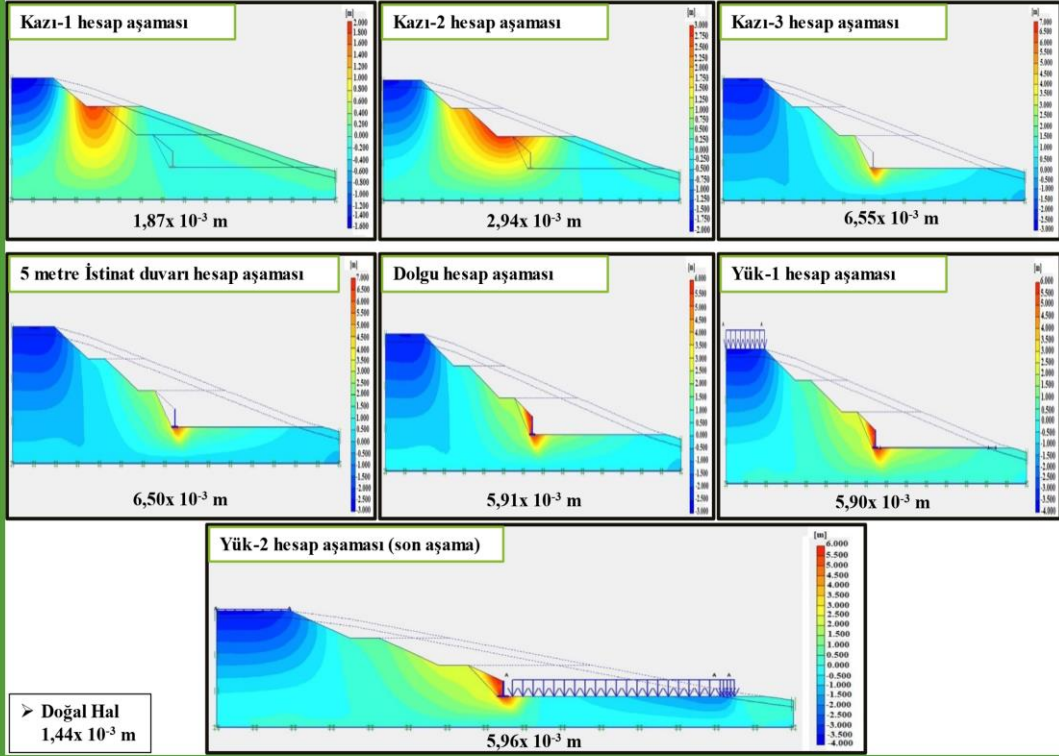
<https://sanalsantiye.com/>

EKLER

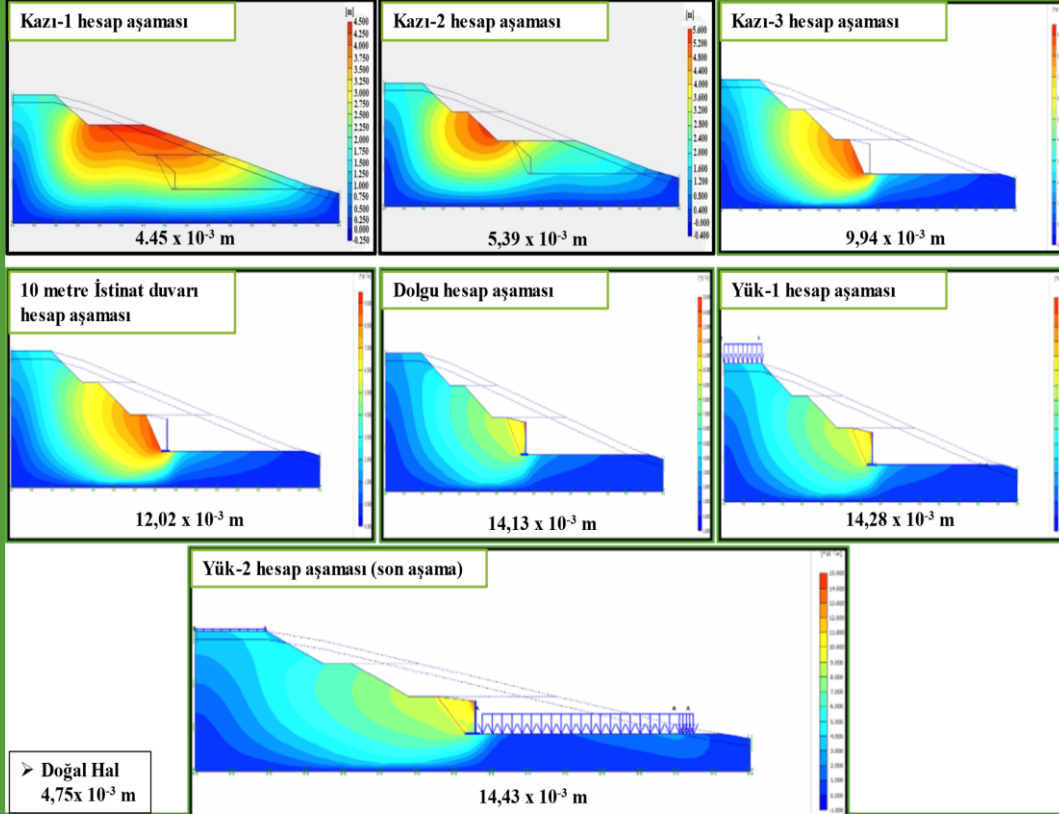
EK-1 Çalışma Sahası-1 Analiz Modelleri



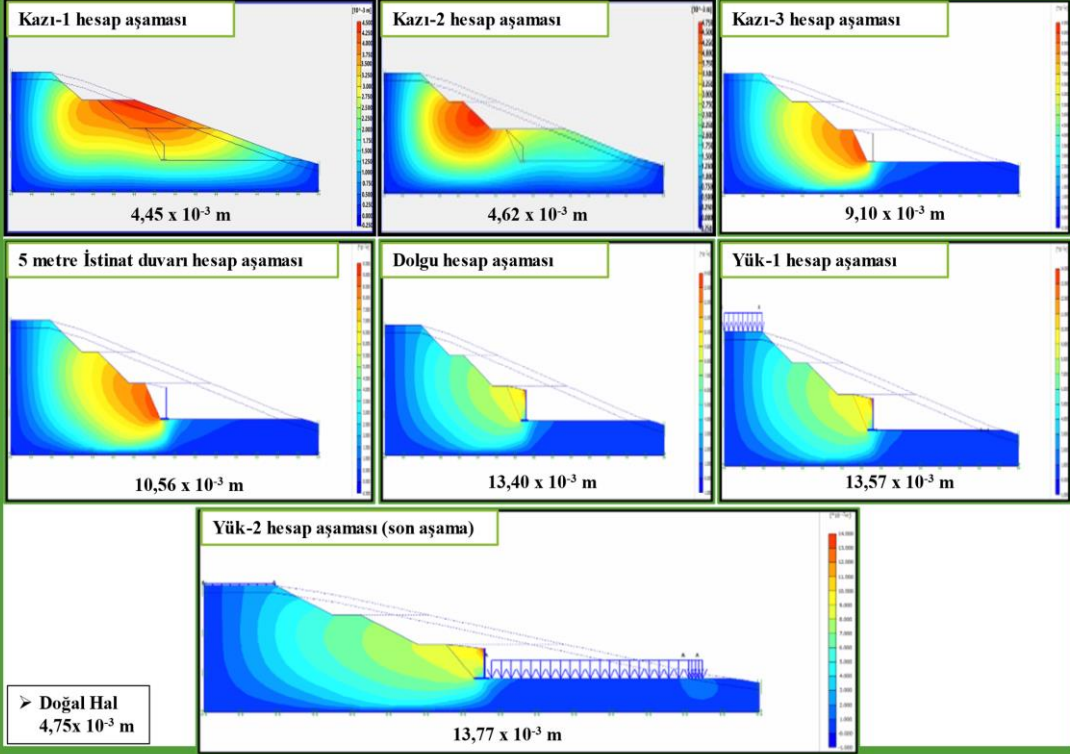
İnşaat aşamalarında Düşey Deformasyomodeleri (1.Alternatif, 5 m)



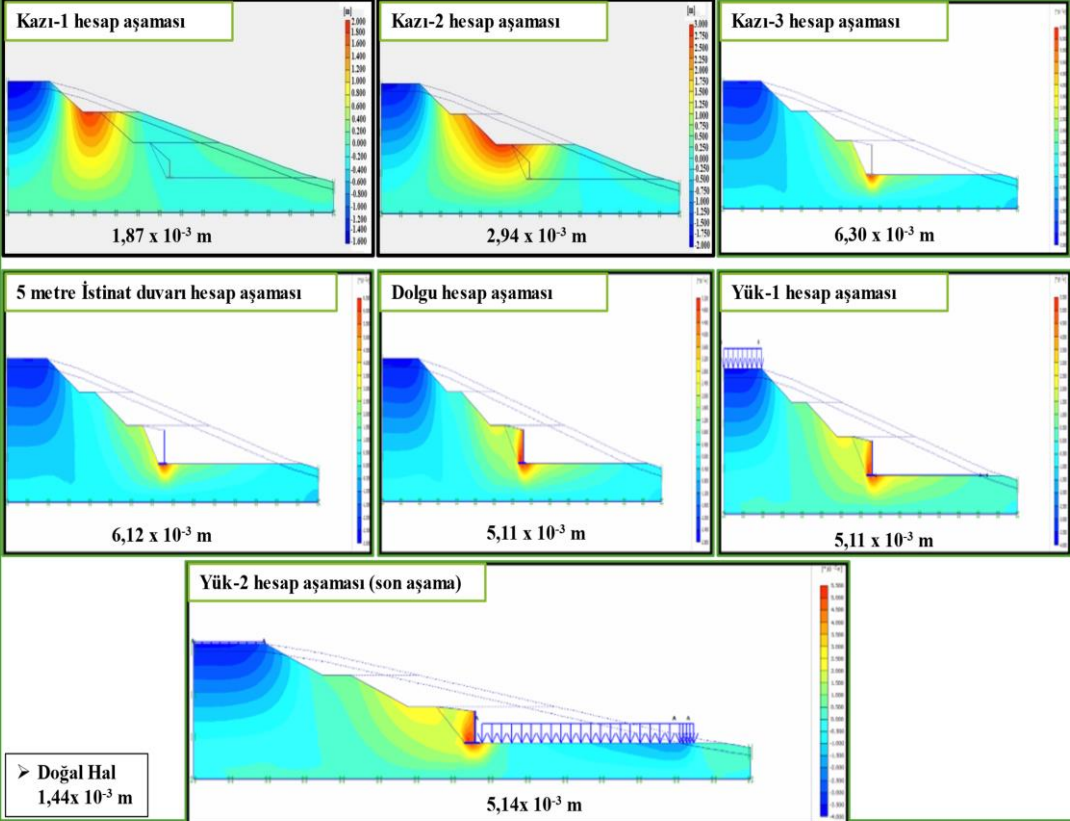
İnşaat aşamalarında Toplam Deformasyomodeleri (1.Alternatif, 10 m)



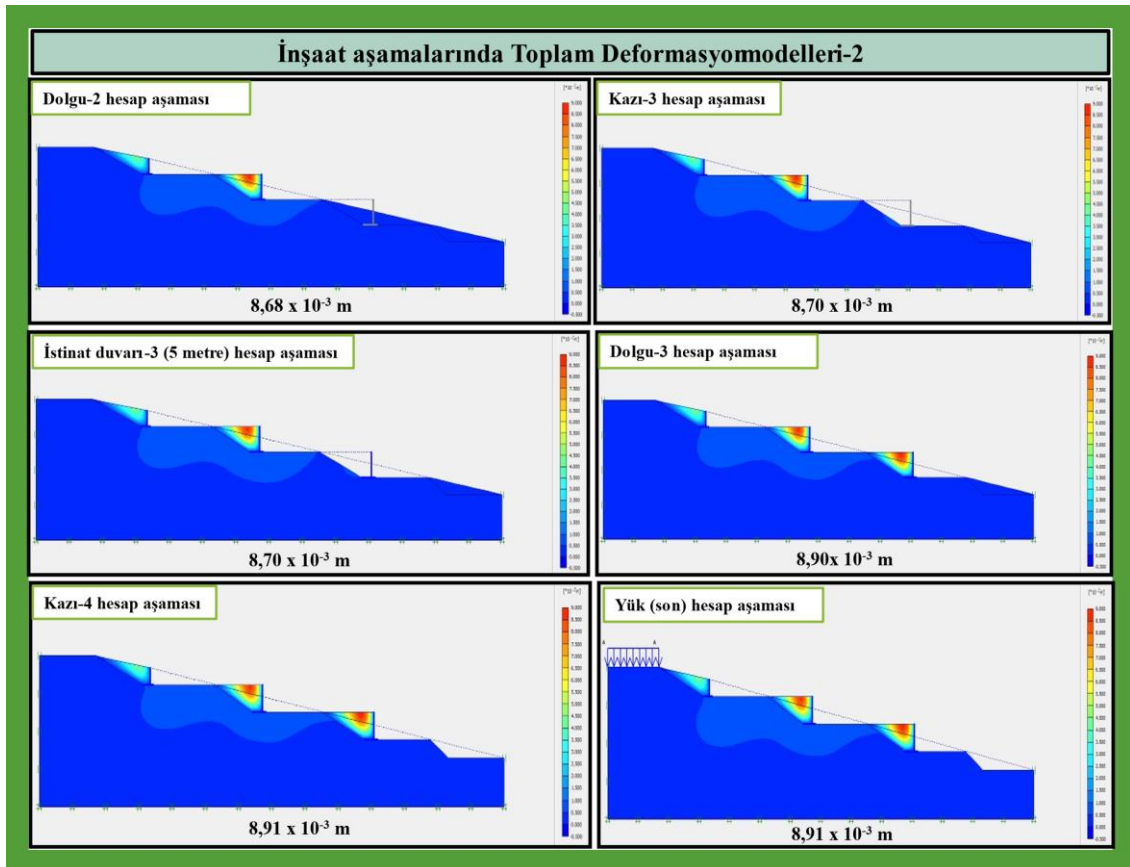
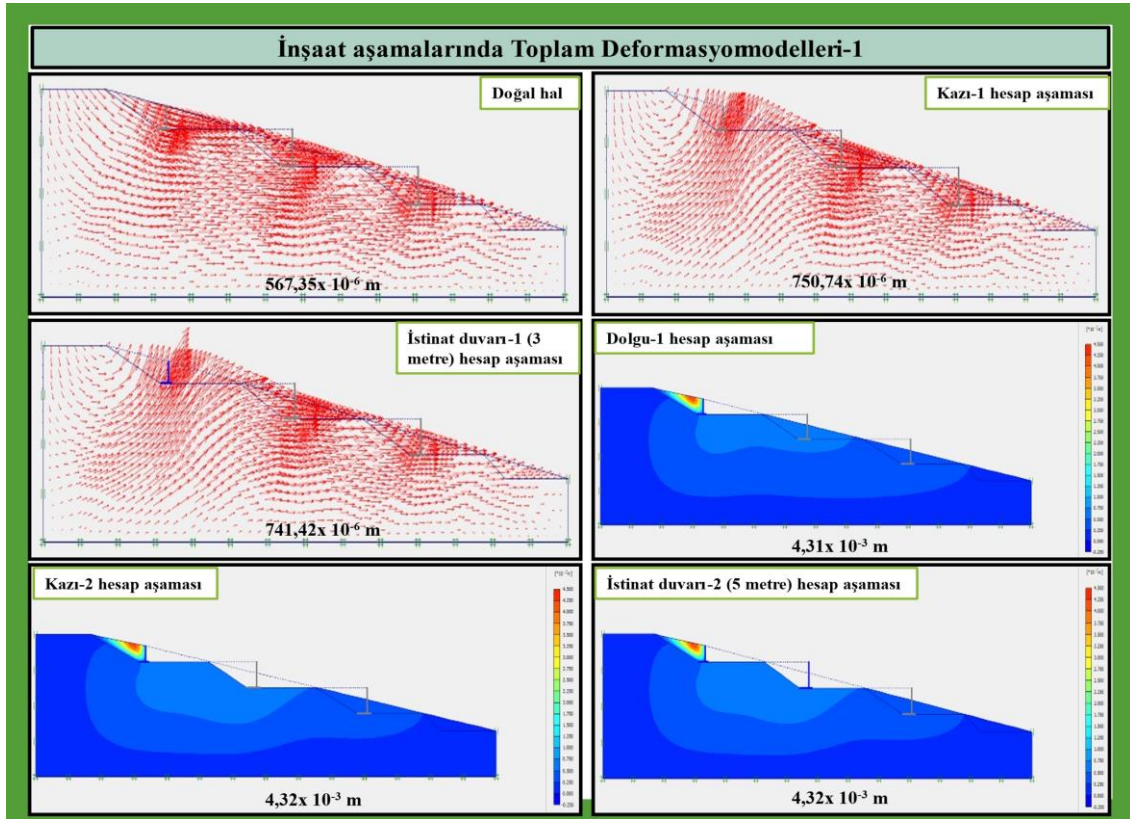
İnşaat aşamalarında Yatay Deformasyon modelleri (1.Alternatif, 10 m)



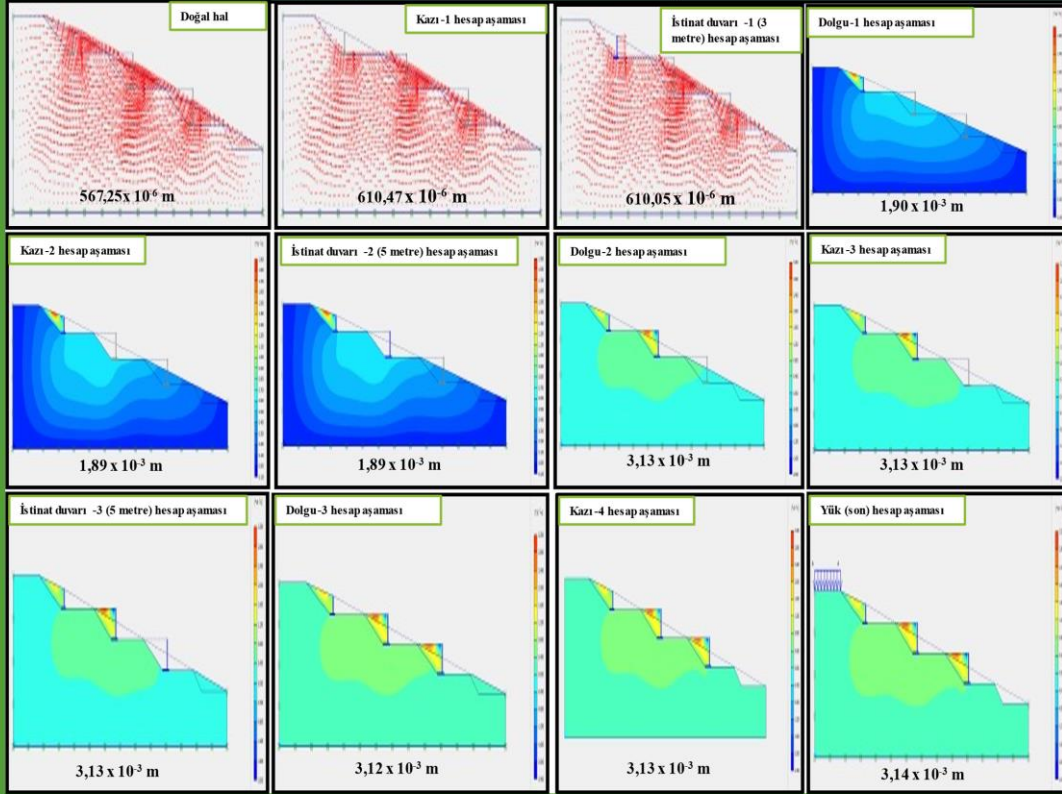
İnşaat aşamalarında Düşey Deformasyon modelleri (1.Alternatif, 10 m)



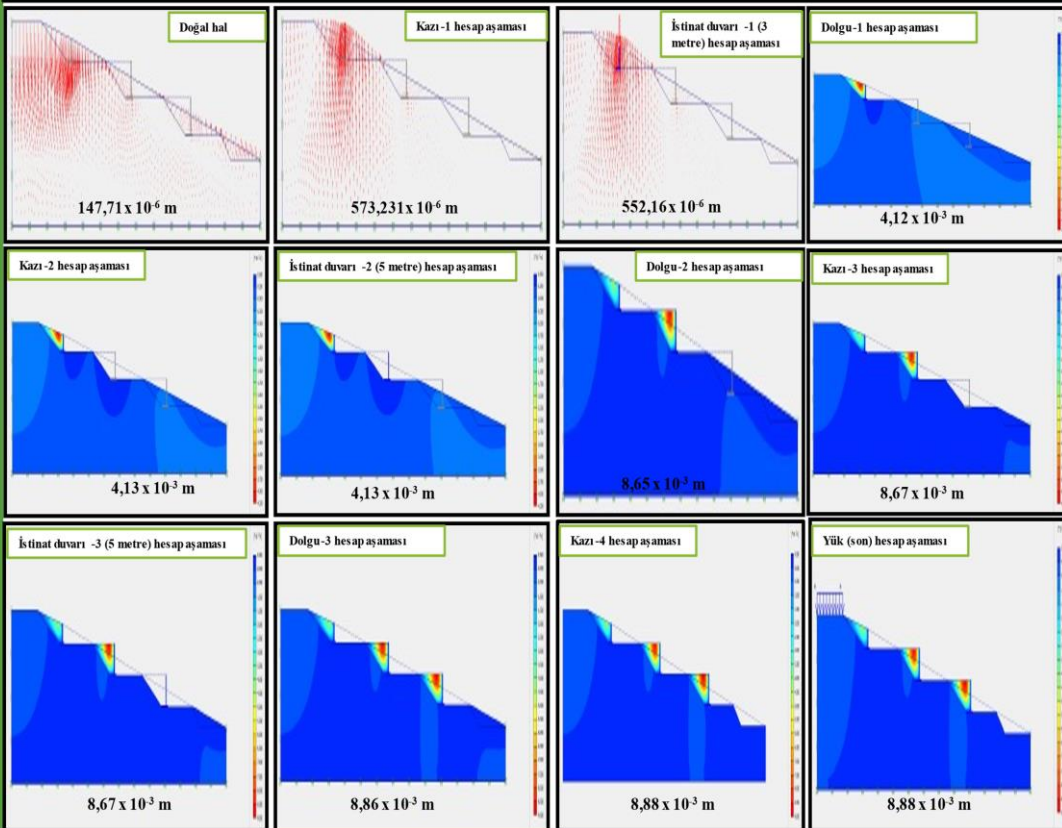
EK-2 Çalışma Sahası-2 Analiz Modelleri



İnşaat aşamalarında Yatay Deformasyomodeleri



İnşaat aşamalarında Düşey Deformasyomodeleri



EK-3 Çalışma Sahası-3 Analiz Modelleri

