T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ VE BİR VAKA ANALİZİ

Ozan NATUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

DİYARBAKIR
Mayıs 2018

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ VE BİR VAKA ANALİZİ

Ozan NATUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

DİYARBAKIR
Mayıs 2018

T.C

DİCLE UNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Ozan NATUR tarafından yapılan "Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri ve Bir Vaka Analizi" konulu bu çalışma , jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan: Doç. Dr.	M. Salih KESKİN
Üye : Prof. Dr.	Taha TAŞKIRAN
Üye : Prof. Dr.	Hanifi ÇANAKCI

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 22/06/2018

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../20

Doç.Dr.Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana destek olan değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. M. Salih KESKİN'e saygılarımı sunarım.

Katkılarından dolayı değerli hocalarım sayın Prof. Dr. Taha TAŞKIRAN'a ve sayın Prof. Dr. Hanifi ÇANAKCI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez incelemesindeki katkılarından ve tez konusundaki yardımlarından dolayı değerli hocam sayın Doç. Dr. Ahmet ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca desteklerini esirgemeyen, başta Araş.Gör. Bilal KORKMAZ olmak üzere tüm çalışma arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi katkıları ile her zaman yanımda hissettiğim değerli aileme teşekkür ederim.

Bu çalışma Mühendislik.18.005 No'lu proje kapsamında DÜBAP tarafından desteklenmiş olup yazar DÜBAP'a teşekkürlerini sunar.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

TEŞEKKÜR ..... **I**

İÇİNDEKİLER ..... **II**

ÖZET ..... **VI**

ABSTRACT ..... **VII**

ÇİZELGE LİSTESİ ..... **VIII**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **IX**

EKLER LİSTESİ ..... **XXI**

KISALTMA VE SİMGELER ..... **XXII**

1. GİRİŞ **1**

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **3**

2.1. Şev Stabilitesi Terminolojisi 3

2.2. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri 5

2.2.1. Dairesel Kesitli Drenajsız Kayma Analizi 6

2.2.2. Dilim Yöntemiyle Efektif Kayma Analizi 7

2.2.2.1. Fellenious Çözümü 9

2.2.2.2. Basit Bishop Çözümü 9

2.2.2.3. Dilim Yönteminin Kullanıldığı Diğer Metodlar 9

2.2.3. Bishop ve Morgenstern Abaklarıyla Efektif Analiz 10

2.2.4. Düzlem Yüzeyde Kayma Analizi 11

2.2.5. Kama ve Blok Kayma Analizi 12

2.2.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi 12

2.3. Güvenlik Sayısı Seçimi 15

2.4. Toplam veya Efektif Gerilme Seçimi 16

2.5. Şev Stabilitesi Parametrelerinin Belirlenmesi 18

2.5.1. Laboratuvar Deneyleri 18

2.5.2. Arazi Deneyleri 18

2.5.3. Geri Hesap Yöntemi 19
2.6. Şev Stabilitesi Islah Metodları 19
2.6.1. Yük Kaldırma – Dolgu Yaklaşımı 19
2.6.2. Drenaj 20
2.6.3. Dış Destek Sağlanması 21
2.6.3.1. İstinat Yapıları 21
2.6.3.2. Kazıklar 21
2.6.3.3. Geotekstil Kullanımı 22
2.6.3.4. Zemin Ankrajları 22
2.7. Sismik Şev Stabilitesi Analizi 22
2.7.1. Psudostatik Analiz Metodu 23
2.7.1.1. Psudostatik Analiz Metodunun Avantaj ve Dezavantajları 24
2.7.2. Newmark Kayan Blok Analiz Metodu 25
3. MATERYAL VE METOT 27
3.1. Vaka Analizi 27
3.1.1 İnceleme Alanının Tanıtılması 27
3.1.2. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi ve Depremselliği 28
3.1.3. Saha Çalışmaları ve Laboratuvar Deneyleri 30
3.1.3.1. Zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi 30
3.1.3.2. Permeabilite 31
3.1.3.3. Kaya Mekaniği Deneyleri 32
3.1.3.4. Kayaç Türlerinin Sınıflandırılması 32
3.1.3.5. İnceleme Alanındaki Birimlerin Zemin Grupları ve Yerel Zemin Sınıfları 35
3.1.3.6. Temel Zeminlerin Taşıma Gücü 37
3.1.4. Zemin Yapısı 37
3.1.4.1. A-A’ Kesiti 38
3.1.4.2. B-B’ Kesiti 40
3.1.4.3. C-C’ Kesiti 41
3.1.4.4. D-D’ Kesiti 42
3.2. Metot 42
3.2.1. Plaxis Programı 44
3.2.1.1. Geometrik Modelin Oluşturulması 44
3.2.1.2. Zemin Elemanları 45

3.2.1.3. Kiriş Elemanlar....46
3.2.1.4. Zemin Modelleri....46
3.2.1.4.1. Lineer Elastik Model (LE)....46
3.2.1.4.2. Mohr – Coulomb Model (MC)....46
3.2.1.4.3. Jointed Rock Model (JR)....47
3.2.1.4.4. Soft Soil Model (SS)....47
3.2.1.4.5. Soft Soil Creep Model (SSC)....47
3.2.1.4.6. Hardening Soil Model (HS)....47
3.2.1.5. Sonlu Elemanlar Analizi....48
3.2.1.5.1. Geometrik Model....48
3.2.1.5.2. Sınır Koşulları....48
3.2.1.5.3. Malzeme Özellikleri....48
3.2.1.5.4. Sonlu Elemanlar Ağı....49
3.2.1.5.5. Başlangıç Gerilmelerinin Oluşturulması....49
3.2.1.5.6. Hesaplamalar....51
3.2.2. Rocscience Slide Programı....51
3.2.2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması....52
3.2.2.2. Malzeme Özellikleri....52
3.2.2.2..1. Model Zemin....52
3.2.2.2.2. Model Kazıklar....52
3.2.2.2.3. Model İstinat Duvarı....53
3.2.2.3. Hesaplamalar....53
3.2.3. İstcad Programı....53

4. BULGULAR VE TARTIŞMA....55

4.1. A-A’ Kesitinin Stabilite Analizi....55
4.2. B-B’ Kesitinin Stabilite Analizi....58
4.3. C-C’ Kesitinin Stabilite Analizi....62
4.4. D-D’ Kesitinin Stabilite Analizi....65
4.5. A-A’ Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri....69
4.6. B-B’ Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri....78
4.7. C-C’ Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri....87
4.8. D-D’ Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri....96

5. SONUÇ VE ÖNERİLER 105

6. KAYNAKLAR 107

EKLER LİSTESİ 111

ÖZGEÇMİŞ 133

ÖZET

ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ YÖNTEMLERİ VE BİR VAKA ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ozan NATUR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

2018

Eğimli alanlardaki yapılaşmalarda şev stabilitesi sorunlarıyla karşılaşılmakta ve projelendirme aşamasında farklı yöntemlerle uygun güvenlik sayısına ulaşmaya çalışılmaktadır. Şevlerde stabilite sorununu doğru bir şekilde değerlendirebilmek için göçmeye sebep olan koşulların ve zemine ait parametrelerin doğru seçilmesi ve bu doğrultuda analiz ve projelendirme aşamalarına geçilmesi, ilerleyen süreçte tekrar stabilite sorunuyla karşılaşmamak açısından çok önemlidir.

Bu tez çalışmasında şev stabilitesi kavramına öncelikli olarak değinilmiştir. Bir vaka olarak karşılaşılan Kahramanmaraş Çağlayan Trafo Merkezi kazı şevlerinde meydana gelen şev hareketleri; sonlu elemanlar ve limit denge yöntemlerini kullanan bilgisayar programlarıyla farklı zemin kesit profilleri üzerinde ayrı ayrı incelenmiştir. Analizlerde yeraltı suyu ve depremin şevin güvenlik sayısı üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Daha sonra aynı programlarla hazırlanan iyileştirme projeleri güvenlik ve maliyet açısından karşılaştırılmış ve uygun iyileştirme projesi önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Şev stabilitesi, sonlu elemanlar yöntemi, limit denge yöntemi, vaka analizi

ABSTRACT

SLOPE STABILITY ANALYSIS METHODS AND A CASE STUDY

MASTER'S THESIS

Ozan NATUR

UNIVERSITY OF DICLE
INSTUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
DEPARTMANT OF CIVIL ENGINEERING

2018

There have been encountered problems about slope stability during construction period especially which are constructed in sloping land. Because of that, it is tried to achieve the desired safety factors in the design stages with the help of different ways. In terms of avoid the stability problem once again in the process and remove the problems both in the analysis and design stages, it is important to assess the slope stability problems correctly, circumstances that led to the failure and the parameters of the ground, properly.

In this study, primarily, the slope stability concept. As a case study, the movements of Kahramanmaraş Çağlayan Transformer Station's cutting slope was investigated by means of finite element method and limit equilibrium analysis in different soil profile. In analysis, groundwater and earthquake affects on the safety factor of slope were determined.

Later, the safety factors of improvement projects which were designed with the same programs were compared in terms of security and economy, finally the most convenient project was recommended.

Key words: Slope stability, finite element method, limit equilibrum method, case study

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No:		Sayfa
Çizelge 2.1.	Şevler için önerilen minimum güvenlik sayıları	16
Çizelge 3.1.	Deprem bölgesi haritasına göre olası maksimum yer ivmesi değerleri	29
Çizelge 3.2.	İnceleme alanındaki zeminlere ait fiziksel ve mekanik özellikler	30
Çizelge 3.3.	Zeminlerin geçirimlilik katsayılarına göre tanımlanması	31
Çizelge 3.4.	İnceleme alanındaki kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri	32
Çizelge 3.5.	Zemin grupları (AİGM 2007)	36
Çizelge 3.6.	Yerel zemin sınıfları (AİGM 2007)	37
Çizelge 3.7.	İnceleme alanındaki birimlerin nihai taşıma gücü ve yatak katsayıları	37
Çizelge 3.8.	Şevlerde güvenlik sayıları (TS 8853)	43
Çizelge 3.9.	MC model için malzeme parametreleri	49
Çizelge 3.10.	Model zemin için malzeme parametreleri	52
Çizelge 4.1.	A-A' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları	55
Çizelge 4.2.	B-B' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları	58
Çizelge 4.3.	C-C' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları	62
Çizelge 4.4.	D-D' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları	65
Çizelge 4.5.	A-A' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları	69
Çizelge 4.6.	A-A' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları	73
Çizelge 4.7.	B-B' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları	78
Çizelge 4.8.	B-B' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları	82
Çizelge 4.9.	C-C' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları	87
Çizelge 4.10.	C-C' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları	92
Çizelge 4.11.	D-D' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları	96
Çizelge 4.12.	D-D' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları	100
Çizelge 5.1.	İyileştirme öncesi ve sonrası güvenlik sayısı değerleri	106

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No:		Sayfa
Şekil 2.1.	Şevleri tanımlamada kullanılan terminoloji	4
Şekil 2.2.	Tipik kayma hareketleri	4
Şekil 2.3.	Drenajsız kayma ($\phi_u = 0$)	7
Şekil 2.4.	Efektif gerilme analizi – dilimler ve tek bir dilim üzerinddeki kuvvetler	8
Şekil 2.5.	Bishop ve morgenstern efektif gerilme analizi stabilite katsayıları	10
Şekil 2.6.	Düzlem yüzeyde kayma	12
Şekil 2.7.	Kama ve blok analizi	12
Şekil 2.8.	Sürekli bir sistemin sonlu elemanlara ayrılması	13
Şekil 2.9.	Ağırlık arttırma yöntemi	14
Şekil 2.10.	Mukavemet azaltma yöntemi	14
Şekil 2.11.	Kazı yoluyla inşa edilen bir şevde güvenlik sayısının boşluk suyu basıncının sönümlenmesine bağlı değişimi	17
Şekil 2.12.	Dolgu yoluyla inşa edilen bir şevde güvenlik sayısının boşluk suyu basıncının sönümlenmesine bağlı değişimi	18
Şekil 2.13.	Stabilitenin şev üzerinden yük kaldırılması yoluyla sağlanması	20
Şekil 2.14.	Stabilitenin şev üzerine dolgu yapılarak sağlanması	20
Şekil 2.15.	Şevlerde uygulanan drenaj yöntemleri	21
Şekil 2.16.	Stabilite sağlamak amacıyla yapılan dış destek uygulamaları	22
Şekil 2.17.	Psudostatik yaklaşımın limit denge metodlarında uygulanması	23
Şekil 2.18.	Newmark analizinde kayan kütlenin modellenmesi	25
Şekil 2.19.	Newmark analizi algoritmasının uygulanışı	26
Şekil 3.1.	İnceleme alanının google earth görünümü	27
Şekil 3.2.	İnceleme alanında kumtaşı kiltaşı ardalanması	38

Şekil 3.3. İnceleme alanında gözlenen moloz akmalarının görünümü 28

Şekil 3.4. Kahramanmaraş ilinin deprem bölgeleri haritası 29

Şekil 3.5. Zeminden alınan örselenmemiş numune 30

Şekil 3.6. Kayaç gruplarının genelleştirilmiş hidrolik geçirimlilikleri 31

Şekil 3.7. Fliş tipi heterojen kaya kütlelerinin belirlenmesi 33

Şekil 3.8. E sınıfı kumtaşı kiltaşıardalanması 33

Şekil 3.9. F sınıfı kumtaşı kiltaşıardalanması 34

Şekil 3.10. Kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan E sınıfı için hoek brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri 34

Şekil 3.11. Kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan F sınıfı için hoek brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri 35

Şekil 3.12. 154 kV Çağlayan trafo merkezi kazı şevlerinde stabilite analizleri için seçilen kesit lokasyonları 38

Şekil 3.13. A-A' kesitinin alındığı lokasyonda oluşan heyelanın görünümü 39

Şekil 3.14. Kayan kütlenin görünümü 39

Şekil 3.15. A-A' kesitinde oluşan heyelanın yukarıdan görünümü 39

Şekil 3.16. B-B' kesitinin alındığı şevin genel görünümü 40

Şekil 3.17. B-B' kesitinde tabakaların konumu ve yamaç boyunca oluşan döküntülerin görünümü 40

Şekil 3.18. C-C' kesitinin genel görünümü 41

Şekil 3.19. C-C' kesitinde yağışın etkisi ile fiziksel ve kimyasal ayrışmaya bağlı olarak şev eğimi boyunca oluşan yamaç döküntüsü 41

Şekil 3.20. D-D' kesitinin genel görünümü 42

Şekil 3.21. Düzlem şekil değiştirme - Eksenel simetrik problem 45

Şekil 3.22. Zemin elemanlarındaki düğüm ve gerilme noktalarının pozisyonu 45

Şekil 3.23. Kiriş elemanları 46

Şekil 3.24. Ağırlık yüklemesinin geçerli olduğu durumlar 50

Şekil 3.25. Zemin ağırlığından dolayı oluşan başlangıç gerilmeleri için hesap şeması 51

Şekil 4.1. A-A' şevinin Plaxis programında genel kesiti 56

Şekil 4.2. A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 56

Şekil 4.3. A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 56

Şekil 4.4. A-A' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 57

Şekil 4.5. A-A' şevinin Slide programında genel kesiti 57

Şekil 4.6. A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 57

Şekil 4.7. A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 58

Şekil 4.8. A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 58

Şekil 4.9. B-B' şevinin Plaxis programında genel kesiti 59

Şekil 4.10. B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 59

Şekil 4.11. B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 60

Şekil 4.12. B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 60

Şekil 4.13. B-B' şevinin Slide programında genel kesiti 60

Şekil 4.14. B-B’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 61

Şekil 4.15. B-B’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 61

Şekil 4.16. B-B’ kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 61

Şekil 4.17. C-C’ şevinin Plaxis programında genel kesiti 62

Şekil 4.18. C-C’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 63

Şekil 4.19. C-C’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 63

Şekil 4.20. C-C’ kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 63

Şekil 4.21. C-C’ şevinin Slide programında genel kesiti 64

Şekil 4.22. C-C’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 64

Şekil 4.23. C-C’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 64

Şekil 4.24. C-C’ kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 65

Şekil 4.25. D-D’ şevinin Plaxis programında genel kesiti 66

Şekil 4.26. D-D’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 66

Şekil 4.27. D-D’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 66

Şekil 4.28. D-D’ kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 67

Şekil 4.29. D-D’ şevinin Slide programında genel kesiti 67

Şekil 4.30. D-D’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 67

Şekil 4.31. D-D’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 68

Şekil 4.32. D-D’ kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 68

Şekil 4.33. A-A’ kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları 69

Şekil 4.34. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı A-A’ şevine ait kesit 70

Şekil 4.35. İstinat duvarlı A-A’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 70

Şekil 4.36. İstinat duvarlı A-A’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 70

Şekil 4.37. İstinat duvarlı A-A’ kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 71

Şekil 4.38. Plaxis de istinat duvarlı A-A’ kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 71

Şekil 4.39. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı A-A’ şevine ait kesit 71

Şekil 4.40. İstinat duvarlı A-A’ kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 72

Şekil 4.41. İstinat duvarlı A-A’ kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 72

Şekil 4.42. İstinat duvarlı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 72

Şekil 4.43. İstinat duvarlı A-A' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 73

Şekil 4.44. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 73

Şekil 4.45. A-A' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları 74

Şekil 4.46. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı A-A' şevine ait kesit 74

Şekil 4.47. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 75

Şekil 5.48. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 75

Şekil 4.49. Fore kazıklı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 75

Şekil 4.50. Plaxis de fore kazıklı A-A' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 76

Şekil 4.51. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı A-A şevine ait kesit 76

Şekil 4.52. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 76

Şekil 4.53. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 77

Şekil 4.54. Fore kazıklı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 77

Şekil 4.55. Fore kazıklı A-A' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 77

Şekil 4.56. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 78
Şekil 4.57. B-B' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları 78
Şekil 4.58. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı B-B' şevine ait kesit 79
Şekil 4.59. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 79
Şekil 4.60. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 79
Şekil 4.61. İstinat duvarlı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 80
Şekil 4.62. Plaxis de istinat duvarlı B-B' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 80
Şekil 4.63. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı B-B' şevine ait kesit 80
Şekil 4.64. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 81
Şekil 4.65. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 81
Şekil 4.66. İstinat duvarlı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 81
Şekil 4.67. İstinat duvarlı B-B' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 82
Şekil 4.68. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 82
Şekil 4.69. B-B' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları 83

Şekil 4.70. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı B-B' şevine ait kesit 83

Şekil 4.71. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 84

Şekil 4.72. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 84

Şekil 4.73. Fore kazıklı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 84

Şekil 4.74. Plaxis de fore kazıklı B-B' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 85

Şekil 4.75. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı B-B' şevine ait kesit 85

Şekil 4.76. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 85

Şekil 4.77. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 86

Şekil 4.78. Fore kazıklı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 86

Şekil 4.79. Fore kazıklı B-B' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 86

Şekil 4.80. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 87

Şekil 4.81. C-C' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları 87

Şekil 4.82. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı C-C' şevine ait kesit 88

Şekil 4.83. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 88

Şekil 4.84. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 89
Şekil 4.85. İstinat duvarlı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 89
Şekil 4.86. Plaxis de istinat duvarlı C-C' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 89
Şekil 4.87. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı C-C' şevine ait kesit 90
Şekil 4.88. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 90
Şekil 4.89. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 90
Şekil 4.90. İstinat duvarlı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 91
Şekil 4.91. İstinat duvarlı C-C' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 91
Şekil 4.92. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 91
Şekil 4.93. C-C' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları 92
Şekil 4.94. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı C-C' şevine ait kesit 92
Şekil 4.95. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 93
Şekil 4.96. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 93
Şekil 4.97. Fore kazıklı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 93

Şekil 4.98. Plaxis de fore kazıklı C-C' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 94

Şekil 4.99. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı C-C' şevine ait kesit 94

Şekil 4.100. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 94

Şekil 4.101. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 95

Şekil 4.102. Fore kazıklı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 95

Şekil 4.103. Fore kazıklı C-C' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 95

Şekil 4.104. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 96

Şekil 4.105. D-D' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları 96

Şekil 4.106. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı D-D' şevine ait kesit 97

Şekil 4.107. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 97

Şekil 4.108. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 97

Şekil 4.109. İstinat duvarlı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 98

Şekil 4.110. Plaxis de istinat duvarlı D-D' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 98

Şekil 4.111. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı D-D' şevine ait kesit 98

Şekil 4.112. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 99

Şekil 4.113. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 99

Şekil 4.114. İstinat duvarlı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 99

Şekil 4.115. İstinat duvarlı D-D' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası 100

Şekil 4.116. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 100

Şekil 4.117. D-D' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları 101

Şekil 4.118. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı D-D' şevine ait kesit 101

Şekil 4.119. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 102

Şekil 4.120. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 102

Şekil 4.121. Fore kazıklı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi 102

Şekil 4.122. Plaxis de fore kazıklı D-D' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları 102

Şekil 4.123. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak slide programında hazırlanan fore kazıklı D-D' şevine ait kesit 103

Şekil 4.124. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 103

Şekil 4.125. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 103

Şekil 4.126. Fore kazıklı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi 104
Şekil 4.127. Fore kazıklı D-D' kesitinin istcad programında veri giriş sayfası 104
Şekil 4.128. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi 104

EK LİSTESİ

EK No:		Sayfa
EK 1.	A-A' ve B-B' kesitleri istinat duvarı donatı detayı	111
EK 2.	A-A' ve B-B' kesitleri istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı	112
EK 3.	A-A' ve B-B' kesitleri istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre)	113
EK 4.	C-C' kesiti istinat duvarı donatı detayı	114
EK 5.	C-C' kesiti istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı	115
EK 6.	C-C' kesiti istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre)	116
EK 7.	D-D' kesiti istinat duvarı donatı detayı	117
EK 8.	D-D' kesiti istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı	118
EK 9.	D-D' kesiti istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre)	119
EK 10.	Fore kazık donatı detayı	120
EK 11.	Fore kazık donatı metraj tablosu (1 adet)	121
EK 12.	İstinat duvarı imalatı yaklaşık maliyet hesabı	122
EK 13.	A-A' ve B-B' kesitleri istinat duvarı metrajı	124
EK 14.	C-C' kesiti istinat duvarı metrajı	126
EK 15.	D-D' kesiti istinat duvarı metrajı	128
EK 16.	Fore kazık imalatı yaklaşık maliyet hesabı	130
EK 17.	Fore kazık metrajı	131

KISALTMA VE SİMGELER

τ_m : Zemine etkiyen kayma gerilmesi

τ_f : Zemin kayma dayanımı

c_u : Toplam kohezyon

c' : Efektif kohezyon

L : Kayma düzleminin uzunluğu

W : Toplam ağırlık

R : Yarıçap

N : Toplam normal kuvvet

N' : Efektif normal kuvvet

ϕ : İçsel sürtünme açısı

ϕ' : Efektif içsel sürtünme açısı

c : Kohezyon

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

γ' : Efektif birim hacim ağırlık

T : Dilim tabanına etkiyen kesme kuvveti

E_1,E_2 : Dilimin her iki yanına etkiyen dik kuvvetler

X_1,X_2 : Dilimin her iki yanına etkiyen kesme kuvveti

u : Boşluk suyu basıncı

z : Düşey kayma yüzeyi derinliği

P_P : Pasif yanal basınç

P_A : Aktif yanal basınç

a_h : Yatay yöndeki psudostatik deprem ivmesi değeri

a_v : Düşey yöndeki psudostatik deprem ivmesi değeri

k_h,k_v : Boyutsuz sismik yük katsayıları

a_{max} : Maksimum yer ivmesi

a_o : Etkin yer ivmesi

k : Zeminlerde geçirimlilik katsayısı

e : Boşluk oranı

n : Görünür gözeneklilik

Aw : Ağırlıkça su emme

σ_c : Tek eksenli sıkışma dayanımı

E : Elastisite modülü

B : Temel genişliği

L : Temel uzunluğu

Df : Temel derinliği

Qult : Nihai taşıma gücü

ks : Yatak katsayısı

A_o : Yerçekim ivmesi

MAF : Mukavemet azaltma faktörü

GS : Güvenlik katsayısı

1. GİRİŞ

Günümüzde nüfusun hızlı bir şekilde artması ve kentleşme nedeniyle yapı alanları daralmakta ve uygun yerleşim bölgeleri azalmaktadır. Bu durum her türlü zemin koşullarında yapılaşmayı da beraberinde getirmiştir. Uygun alanların azalmasından dolayı kayma riski taşıyandağ ve tepe yamaçlarına inşa edilen yapıların bulunduğu konumlarda ortaya çıkan kütle hareketleri dünyada ve ülkemizde yapısal hasarların yanı sıra can ve mal kayıplarına da sebep olmaktadır. Bu durumda şev stabilitesi sorunu, öncelikle çözüm bekleyen bir konu olarak geoteknik mühendisliğinin karşısına çıkmıştır.Şevli yüzeylerdeki yapılaşmalarda daha ekonomik ve güvenilir sonuçlar alınabilmesi adına birçok araştırmacı tarafından farklı çalışma ve tasarım yöntemleri geliştirilmiştir. Doğal ve yapay tüm şevlerin gerek kendi ağırlıkları, gerekse uygulanan yüklerin etkisi altında stabiliteleri elastik teoriye dayanan limit denge yöntemleri ile analiz edilmektedir. Ayrıca, bilgisayar kullanımının tüm alanlarda olduğu gibi geoteknik mühendisliğinde de yaygınlaşması ile şev stabilite analizlerinde sonlu elemanlar yöntemi de artan bir şekilde kullanılmaktadır.

Şev kaymaları ile ilgili yapılacak araştırmalarda; çevre koşulları, şevli kısmın boyutları, geoteknik ve malzeme parametrelerinin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, öncelikle şev stabilitesi kavramı hakkında bilgi verilmiş ardından stabilite tahkik yöntemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca, şev stabilitesinde kullanılan yöntemlere kısaca değinilmiştir. Daha sonra Kahramanmaraş'ta bulunan bir trafo merkezi sahasının yapım aşamasında tesviye kotuna getirilmesi için açılan desteksiz kazılarda meydana gelen şev hareketi, limit denge yöntemi ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programları ile analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. İyileştirme projesi olarak iki alternatif ele alınmış, gerekli hesaplamalar ve analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kritik kesitler belirlenmiş ve yeraltı suyu ile deprem etkileri incelenmiştir. Son olarak alternatif projeler için maliyet hesaplamaları gerçekleştirilerek uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.

Çalışma özetle giriş bölümünden sonra;

2. bölüm; şev stabilitesi ile ilgili teorik çalışmaları konu edinen literatür çalışmasını ve çalışmalarda kullanılan limit denge ve sonlu elemanlar yöntemlerine ait kuramların açıklamasını,

3. bölüm;Kahramanmaraş'ta karşılaşılan şev hareketinin detaylı olarak incelemesini,

4. bölüm; inceleme ve analizler sonucunu ve çözüm önerilerini,

5. bölüm; elde edilen bulgular ışığında, sonuç ve öneriler kısmını,

kapsamaktadır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şevlerde stabilite sorununu inceleme yöntemleri 18. yy'ın sonlarından itibaren başlamış (Coduto 2006) ve zemin mekaniğindeki kuramsal çalışmaların ilerlemesiyle geliştirilmiştir.

İlk olarak Coulomb'un zemin kütlesi içinde doğrudan doğruya bir kayma kamasının dengesini inceleyerek oluşturduğu kayma yüzeyi kabulü ilerleyen dönemlerde bu tür çalışmaların temelini oluşturmuştur.

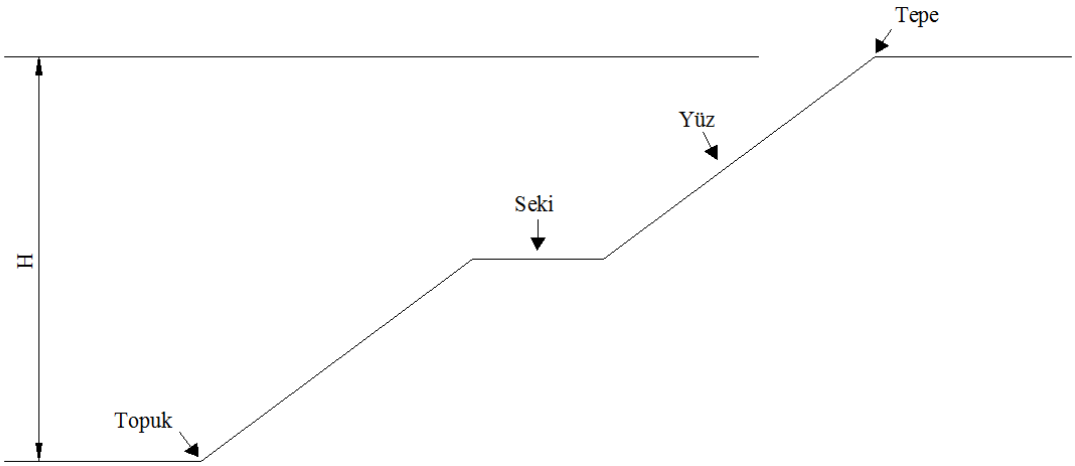
20. yy'ın başlarında Avrupa, İskandinavya ülkeleri ve Amerika'da yol, demiryolu, kanal, liman yapımlarında büyük kaymalar oluşmuş ve bu olaylar konu üzerine ilgiyi artırmıştır. Karşılaşılan zararların büyük boyutlara ulaşması ile heyelan sorununu incelemek için Amerika ve İsveç'te başta olmak üzere çeşitli kuruluşlar oluşturulmuştur. Bu kuruluşlar araştırmaları sonucu geçerli yöntemler önermişlerdir. Fellenius ve Petterson tarafından zeminlerde kayma analizi ile ilgili yeni yöntemler geliştirilmiştir (Bjerrum 1963, Petterson 1955). İsveç kayma dairesi yöntemi de bu çalışmaların sonucunda sunulmuştur (Coduto 2006).

Bu çalışmalardan sonra Janbu ve Bishop "Dilim Yöntemi"nde önceden ihmal edilen yanal kuvvetleri de hesaplara katacak çalışmalar yapmışlardır. Bu konudaki diğer gelişmeler Bishop ve Morgenstern (1960), Morgenstern, Morgenstern ve Price'ın çalışmalarında görülmektedir (Skempton 1964). Bu çalışmalarda ise analiz yöntemleri geliştirilerek, ortaya konan yöntemlerin uygulama sınırlarının genişletilmesi amaçlanmıştır.

2.1. Şev Stabilitesi Terminolojisi

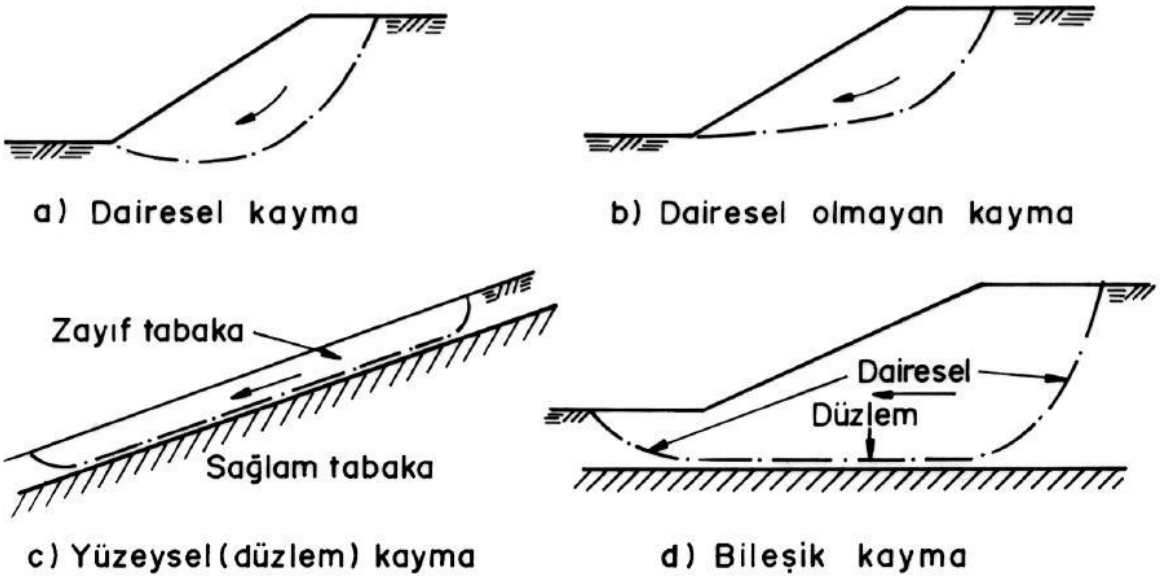
Şevler orjinleri dikkate alındığında doğal olarak oluşan veya sonradan yapılan (yapay) eğimli yüzeyler olarak tanımlanabilir. Şevler tanımlanırken kullanılan bazı terimler ve şekil üzerinde gösterimi aşağıda verilmiştir (Şekil 2.1.).

- Şev tepesi ve şev topuğu, şevin düz yüzeyi kestiği noktalardır.
- Şev yüksekliği, şevin tepesi ile topuğu arasındaki kot farkıdır.
- Şev yüzeyi, şevin tepesi ve topuğu arasında kalan yüzeydir.
- Palye (Seki), şev yüzeyi üzerinde oluşturulan düzlük alandır.
- Şev oranı, şevin dikliğidir, yatay:düşey olacak şekilde ifade edilir.



Şekil 2.1. Şevleri tanımlamada kullanılan terminoloji (Coduto 2006)

Stabilite kaybı şevi oluşturan zeminin mukavemet özellikleri, tabakalanma, şev açısı gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkabilir. Bu durumda yamaç hareketinden etkilenen kısımlarda bulunan yapıların güvenliği bakımından büyük sorunlar teşkil eder. Şevlerde karşılaşılan tipik kayma hareketleri şekil 2.2.'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Tipik kayma hareketleri (Huvaj 2017)

Şevlerde stabilite kaybı, şevi oluşturan zeminin ağırlığı ile şeve dışarıdan etkiyen kuvvetlerin (statik ve/veya dinamik) ortaya çıkardığı kayma gerilmelerinin şev zeminin mevcut gerilme kapasitesini aşması olarak açıklanabilir. Bu açıklamaya göre stabilite kaybı için güvenlik katsayısı şöyle ifade edilmektedir:

$$GS = \frac{\tau_f}{\tau_m} \qquad (2.1)$$

Burada τ_m kayma düzlemi üzerinde zemine etkiyen kayma gerilmesini, τ_f ise zemin kayma dayanımını temsil etmektedir; dolayısıyla, güvenlik sayısının 1.0 veya daha küçük olduğu durumlarda şev stabilitesi kaybı beklenmelidir.

Uygulamada bu varsayımın geçerli olabilmesi için, şev stabilitesi analizlerinde kullanılacak parametrelerin sahadaki mevcut koşulları doğru olarak yansıtıyor olması gerekmektedir. Saha koşullarını belirlemede; zeminin durumu (konsolide durumu, sıkı veya gevşek), drenaj koşulları ve şev stabilitesi üzerinde etkili olabilecek diğer faktörler değerlendirilmelidir.

2.2. Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri

Şev stabilitesi amacıyla kullanılan yöntemler iki ana başlık altında gruplandırılabilir.

Bu yöntemler grubundan ilki daha eski bir yöntem olan ve kullanım alanı daha yaygın olan limit denge (limit equilibrium) metodlarıdır. Limit denge metodu, potansiyel bir kayma düzlemi üzerinde yer alan zemin kütlesinin kuvvet ve/veya moment dengesinin sağlandığı kabulünü esas alır.

Bu metodlarda; şevli zemin kütlesi içerisinde bir kayma yüzeyi tanımlanır ve bu yüzey üzerindeki zemin kütlesine etkiyen kuvvetlerin ve/veya momentlerin statik denge durumu dikkate alınarak zemin kayma mukavemeti hesaplanır. Bu işlem diğer potansiyel kayma yüzeyleri için de tekrarlanarak en kritik kayma yüzeyi belirlenir. En kritik kayma yüzeyi için hesaplanacak güvenlik sayısı şev güvenlik sayısı olarak alınır (Atkinson 1993).

Diğer yöntemler grubunu ise, zeminde gerilme-deformasyon davranışının modellendiği ve çözümlemede genel olarak sonlu elemanlar metodunu kullanan uygulamalar oluşturmaktadır. Limit denge yöntemlerine göre daha yeni olan bu yaklaşımda zemin içerisinde meydana gelen gerilmelerin, deplasmanların ve boşluk suyu basınçlarının düzeyleri ve dağılımı detaylı olarak hesaplanabilmektedir. Bu metodla zemin davranışı lineer olmayan gerilme-deformasyon modelleriyle ifade edilebilmekte, karmaşık geometri ve sınır koşulları dikkate alınarak inşa süreci modellenebilmektedir.

İki boyutta modellenen şev kesitinde tanımlanan kayma yüzeyleri dikkate alınarak, şevin bu yüzeylerde kayma eğiliminde olduğu varsayımıylave denklem 2.1.'de ifade edildiği şekilde, her kayma yüzeyi için güvenlik sayısı hesaplanır. Bu hesaplamalar sonucunda bulunan en küçük güvenlik sayısı da şev güvenlik sayısı olarak belirlenir. Normal olarak Mohr-Coulomb göçme kriteri kullanılarak hesaplanan zemin kayma mukavemeti toplam ve efektif gerilme analizleri için sırasıyla şu ifadelerle verilmektedir:

$$\tau_f = c_u \tag{2.2}$$

$$\tau_f = c' + \sigma' \tan \phi' \tag{2.3}$$

Kayma yüzeyleri gerçekte genellikle eğimli olmakla birlikte, topoğrafik koşullara bağlı olarak düzlem bölümler de ihtiva edebilirler. Bu yüzden analiz metodu seçiminde muhtemel kayma şekline göre, dairesel veya dairesel olmayan yüzeylerle analiz yapan uygun bir metod tercih edilmelidir (Bakır 2013).

Bir şeve ait kritik güvenlik sayısının tespiti için bir dizi potansiyel kayma yüzeylerine düzinelerle analiz yapılması gerekmekte, dolayısıyla bu işlemler yaygın olarak bilgisayar programları aracılığıyla yapılmaktadır.

2.2.1. Dairesel Kesitli Drenajsız Kayma Analizi

Şev zemininin suya doygun killerden oluşması halinde ve şev inşaları sonrasında kısa dönem stabilite analizleri için uygun olan bu yöntem, toplam gerilmeler kullanılarak uygulanmaktadır (Bakır 2013). Bu varsayım analizinde sadece moment dengesi dikkate alınır (Şekil 2.3.).

Kayma düzlemine dik yönde oluşacak gerilmeler moment noktasından geçmeleri nedeniyle hesaplamalarda dikkate alınmaz. Şevin denge durumunda kayma yüzeyi üzerine etkiyen kayma gerilmesi (mobilize olan gerilme) düzeyi

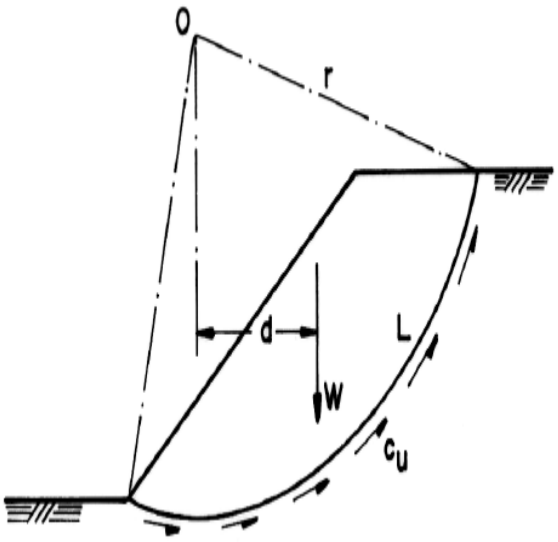
$$\tau_m = \frac{c_u}{GS} \tag{2.4}$$

İfadesiyle tanımlanarak şekil 2.3 'de O noktasına göre moment alınır:

$$Wd = \frac{c_u}{GS} L_a r \tag{2.5}$$

Bu durumda güvenlik sayısı:

$$GS = \frac{c_u L_a r}{Wd} \tag{2.6}$$

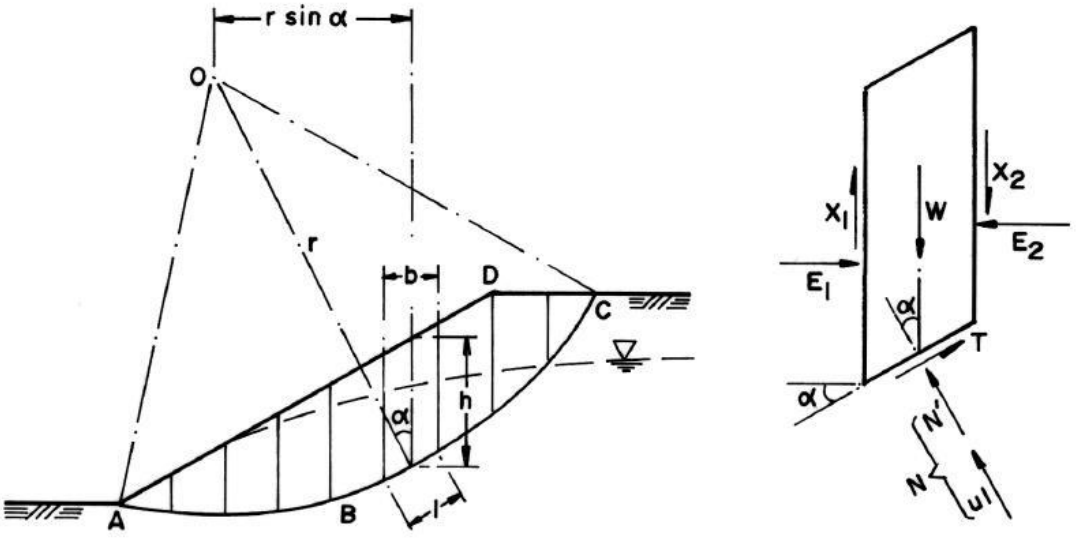


Şekil 2.3. Drenajsızkayma ($\phi_u = 0$) (Huvaj 2017)

2.2.2. Dilim Yöntemiyle Efektif Kayma Analizi

Hidrostatik fazla basıncın zamanla ortadan kalktığı kabul edilen şevlerde potansiyel kayma yüzeyleri üzerinde efektif gerilmelerin hesaplanabilmesi için o yüzey üzerindeki boşluk suyu basıncı düzeyinin bilinmesi gereklidir. Bu analizlerde, kayma yüzeyi üzerinde yer alan kütle düşey düzlemlerle dilimlere bölünerek her dilime ait statik denge durumları belirlenir. Sonraki aşamada tüm dilimler toplu analiz edilerek kayma yüzeyi için güvenlik sayısı hesaplanır.

Potansiyel dairesel kayma yüzeyi üzerinde yer alan bir kütlenin dilimlere bölünmüş hali ve bir dilimine ait etkiyen kuvvetler şekil 2.4.'de verilmektedir. Dilimler arasındaki etkileşim sebebiyle kayma yüzeyi üzerinde bulunan kütlenin bir bütün olarak hareket edeceği varsayımından güvenlik sayısı tüm dilimler için aynı kabul edilir. Efektif gerilme durumuna ait zemin kayma mukavemeti denklem 2.3'le ifade edilmektedir.



Şekil 2.4. Efektif gerilme analizi- dilimler ve tek bir dilim üzerindeki kuvvetler (Huvaj 2017)

Bir dilim üzerine etkiyen kuvvetler (kayma kesitine dik yönde birim uzunluk için) şunlardır (Şekil 2.4.):

Dilimin toplam ağırlığı, $W = \gamma bh$ (dilimin sature olan kısmı için suya doygun birim ağırlık kullanılmalıdır).

Dilim tabanına etkiyen toplam normal kuvvet, N ($= \sigma l$). dilim tabanının su seviyesi altında olması durumunda N, şu iki kuvvetin toplamı olarak ifade edilir: efektif normal kuvvet, N' ($= \sigma' l$) ve dilim tabanına etkiyen boşluk suyu basıncına bağlı kuvvet ($= ul$). Burada u dilim tabanı orta noktasında boşluk suyu basıncıdır.

Dilim tabanına etkiyen kesme kuvveti, T ($= \tau_m l$).

Dilimin her iki yanına etkiyen dik kuvvetler, E1 ve E2.

Dilimin her iki yanına etkiyen kesme kuvvetleri, X1 ve X2.

Bu kuvvetler dışında dilimler üzerine dışarıdan etkiyen kuvvetler mevcut ise, onlarda analize dahil edilmelidir.

Kayma yüzeyi üzerine etkiyen kesme kuvvetleri ve dilimlerin ağırlıklarının şekil 2.4.'de O noktasına göre momentlerin birbirini dengeleyeceği dikkate alınarak güvenlik sayısı için şu ifade elde edilir:

$$GS = \frac{\sum(c' + \sigma' \tan\phi')l}{\sum W \sin\alpha} \qquad (2.7)$$

Zeminin homojen olması durumunda ise:

$$GS = \frac{c'L + \tan\varphi' \sum N'}{\sum W \sin\alpha} \quad (2.8)$$

Burada L kayma düzleminin toplam uzunluğudur. Güvenlik sayısının değeri sistemin çözümlenebilmesi için yapılan varsayımlara bağlı olarak belirlenir.

2.2.2.1. Fellenious Çözümü

Bu çözümde dilimler arasında etkiyen dik ve kesme kuvvetlerin bileşkesinin sıfır olacağı kabul edilir. Dolayısıyla, N' şu ifadeyle tanımlanır:

$$N = W\cos\alpha - ul \quad (2.9)$$

Elde edilen güvenlik sayısının daha hassas metodlardan elde edilen sonuçlara oranla %5-20 arasında daha küçük olması nedeniyle fellenious çözümü genel olarak konservatif bir yaklaşımdır (Bakır 2013).

2.2.2.2. Basit Bishop Çözümü

Bishop (1955) tarafından önerilen çözümde dilimlerin her iki yanında etkiyen kesme kuvvetlerinin bileşkesinin sıfır olacağı varsayılır. Bu durumda güvenlik sayısının veren eşitlik:

$$GS = \frac{1}{\sum W \sin\alpha} \sum \left[\{c'b + W(1 - r_u)\tan\phi'\} \frac{\sec\alpha}{1 + \frac{\tan\alpha \tan\phi'}{GS}} \right] \quad (2.10)$$

Burada r_u ile ifade edilen faktör boşluk suyu basıncının toplam basınca oranıdır. Bu oran kayma düzlemi boyunca değişken olmakla birlikte, genellikle ortalama bir değer hesaplanarak sabit alınır. Güvenlik sayısının eşitliğin her iki tarafında da yer alıyor olması nedeniyle iteratif çözümleme gereklidir (Bakır 2013).

2.2.2.3. Dilim Yönteminin Kullanıldığı Diğer Metodlar

Dairesel kayma yüzeyi üzerinde bulunan kütlenin düşey düzlemlerle dilimlere ayrılması sonucunda dilimlerin yan yüzlerine etkiyen kuvvetlerle ilgili varsayımlara bağlı olarak geliştirilen çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları:

Janbu Metodu: Janbu (1957) dilimler arasındaki yatay ve düşey yönde oluşan kuvvetlerin denge koşullarını ve sistemin tümü için moment koşullarını sağlayan bir yöntem önermiştir.

Spencer Metodu: Spencer (1967), dilimler arasında etkiyen kuvvetlerin birbirine paralel olduğu varsayımı ile moment ve kuvvet dengelerinin her ikisinin birden sağlandığı bir yöntem önermiştir.

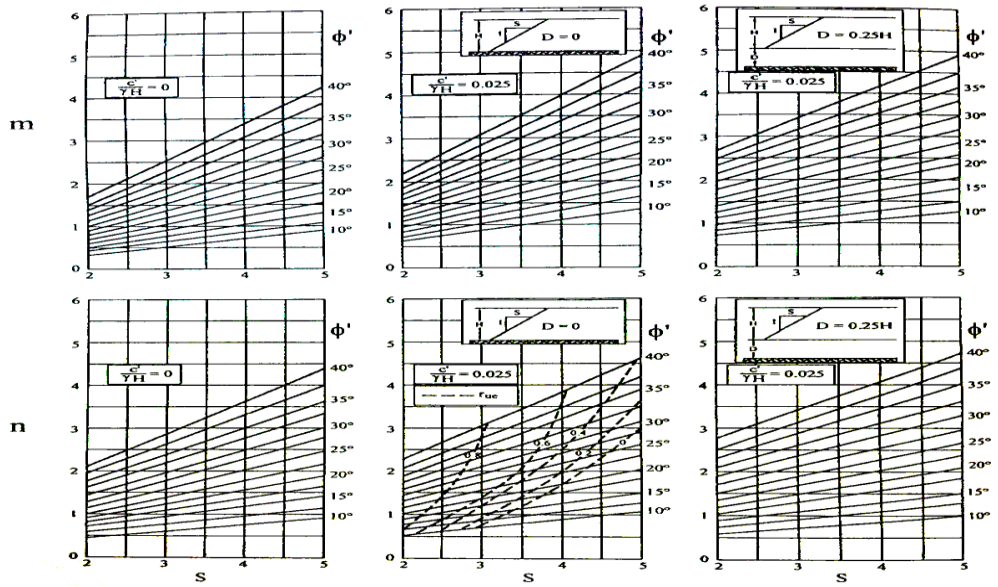
Morgenstern ve Price Metodu: Morgenstern ve Price (1965) tarafından sistemde bütün denge ve sınır koşullarının sağlandığı bir yöntem geliştirilmiştir. Bu metodun başlıca avantajı kayma düzleminin herhangi bir formda (dairesel ve/veya düzlem) olabilmesidir. Oldukça karmaşık iteratif çözüm gerektiren bu yöntem bilgisayar programları yardımıyla uygulanabilir.

2.2.3. Bishop ve Morgenstern Abaklarıyla Efektif Analiz

Bishop ve Morgenstern (1960), Bishop tarafından önerilen dilim metodunu kullanarak, abaklar yardımıyla nisbeten çabuk ve kolay bir şekilde efektif gerilmeler cinsinden şev stabilitesi analizine imkan veren bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemde boşluk suyu basıncı oranı oranı (r_u) bağımsız bir parametre olarak yer almaktadır. Artan boşluk suyu oranı ile azalan güvenlik sayısı şu eşitlikle ifade edilmektedir:

$$F = m - nr_u \qquad (2.11)$$

Burada m ve n boyutsuz parametreler olup, şev açısı β, c'/(ɣH), ϕ' parametrelerinin ve derinlik faktörü D'nin fonksiyonu olarak abaklardan belirlenmektedir. Bishop ve Morgenstern tarafından hazırlanan abaklardan örnekler şekil 2.5.'de bulunmaktadır.



Şekil 2.5. Bishop ve Morgrnstern efektif gerilme analizi stabilite katsayıları (Bakır 2013)

2.2.4. Düzlem Yüzeyde Kayma Analizi

Bu tür analizlerde potansiyel kayma yüzeyinin şev yüzeyine paralel bir düzlem üzerinde yer aldığı varsayılır. Şekil 2.6.'da eğimi β açısıyla, düşey kayma yüzeyi derinliği ise z ile ifade edilen bir şev kesitinde düzlem kayma durumu şematik olarak gösterilmektedir. Su tablasının kayma yüzeyinden mz (0<m<1) mesafesinde yer aldığı ve şeve paralel sızma halinde olduğu varsayıldığından düşey zemin diliminin iki tarafında bulunan kuvvetlerin birbirine zıt yönlü ve eşit olduğu kabul edilir (Bakır 2013). Kayma düzlemi üzerinde efektif gerilmeler cinsinden zemin kayma mukavemeti:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u)\tan\phi' \tag{2.12}$$

Güvenlik sayısı ifadesi:

$$GS = \frac{\tau_f}{\tau_m} \tag{2.13}$$

Bu eşitlikte yer alan σ, τ ve u ifadeleri ise :

$$\sigma = \{(1-m)\gamma + m\gamma_{sat}\}\, z\cos^2\beta \tag{2.14}$$

$$\tau = \{(1-m)\gamma + m\gamma_{sat}\}\, z\sin\beta\cos^2\beta \tag{2.15}$$

$$\mu = mz\gamma_w\cos^2\beta \tag{2.16}$$

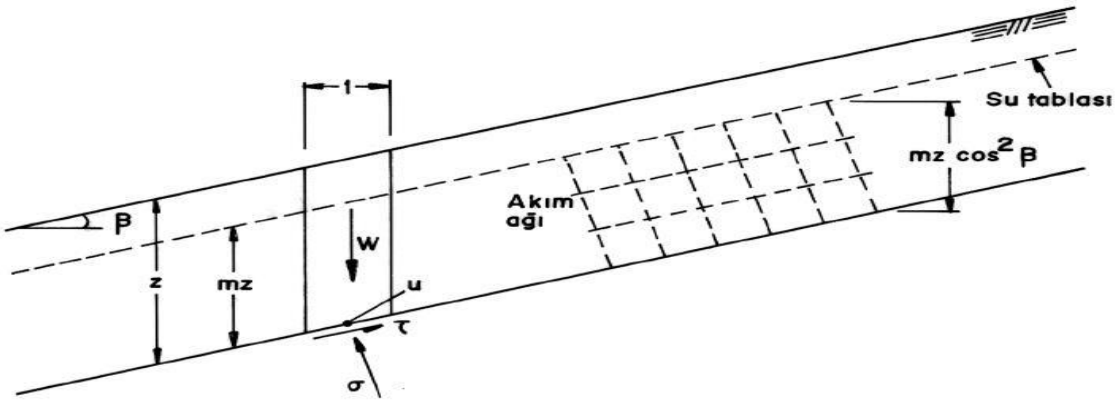
Şevin tam sature olmaması (m=0) durumu için güvenlik sayısı :

$$FS = \frac{\tan\phi'}{\tan\beta} \tag{2.17}$$

Su tablasının şev yüzeyinde olması (m=1) durumu için güvenlik sayısı :

$$FS = \frac{\gamma'}{\gamma_{doygun}}\frac{\tan\phi'}{\tan\beta} \tag{2.18}$$

Toplam gerilme analizi durumunda boşluk suyu basıncı sıfır alınarak c_u ve $\phi_u$parametreleri kullanılır.



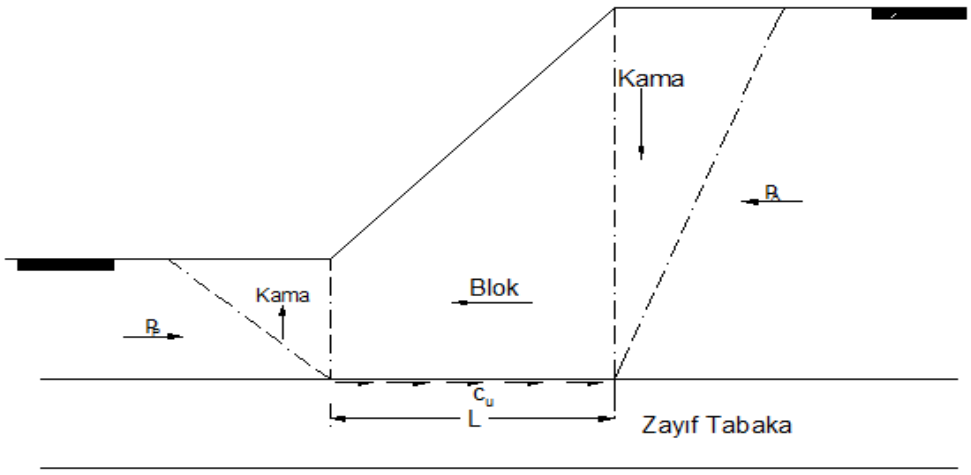
Şekil 2.6. Düzlem yüzeyde kayma (Huvaj 2017)

2.2.5. Kama ve Blok Kayma Analizi

Zayıf bir tabaka üzerinde yer alan şevli zeminlerde bu zayıf tabakanın üzerinde bulunan zemin bloğu kayarak hareket edebilir (Şekil 2.7.). Bu durumda, bloğun önünde pasif arkasında ise aktif yanal basınç dağılımlarına bağlı olarak iki kama meydana geleceği varsayılarak güvenlik sayısı şöyle ifade edilir:

$$GS = \frac{C_u L + P_P}{P_A} \tag{2.19}$$

Burada P_A ve P_P, sırasıyla, bloğun arkasındaki toplam aktif itki ve bloğun önündeki toplam pasif dirençtir.

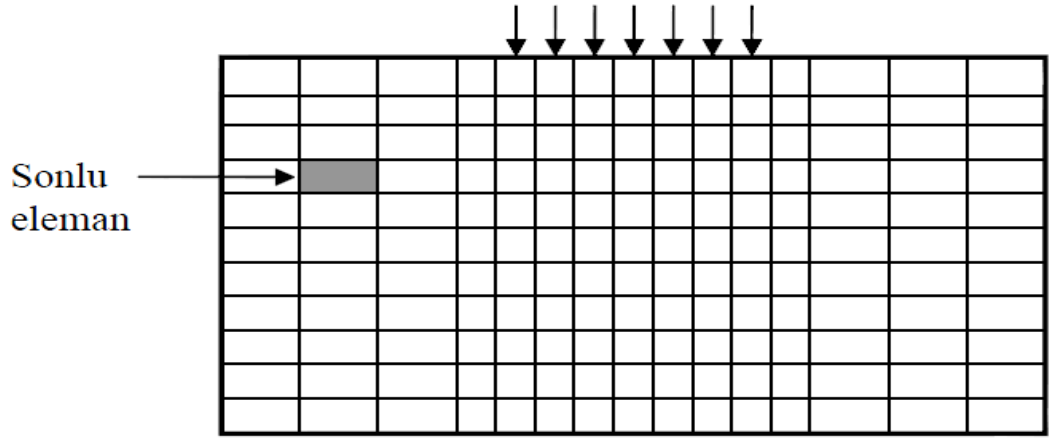


Şekil 2.7. Kama ve blok analizi (Bakır 2013)

2.2.6. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi, Zeinkiewicz (1977) tarafından sürekli sistemleri matematiksel ifadelerle tanımlayan genel çözüm yöntemi olarak tarif edilmiştir. Bu yöntemde sürekli sistemler kendi içlerinde sonlu sayıda elemanlardan ve bu elemanları

bir araya getiren düğüm noktalarından oluşan bir sistem olacak şekilde modellenmektedir (Şekil 2.8.). Daha sonra her bir düğüm noktasındaki deplasmanlardan yola çıkılarak sisteme ait gerilme ve şekil değiştirmeler bulunmaktadır.



Şekil 2.8. Sürekli bir sistemin sonlu elemanlara ayrılması (Keskin 2009)

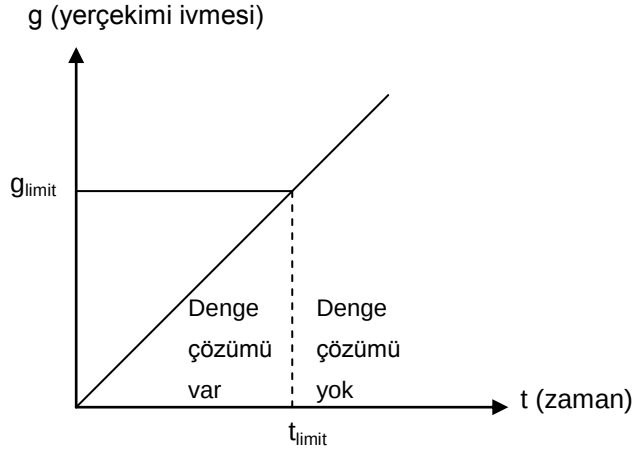
Sonlu elemanlar yönteminde, limit denge yöntemlerinde olduğu gibi kritik kayma dairesinin şekli ve konumu ile ilgili herhangi bir varsayımda bulunulmaz fakat buna rağmen Kim ve diğerleri (2002), homojen olmayan ve düzensiz yüzeye sahip şevlerde sonlu elemanlar yönteminde bulunan kritik kayma dairesinin, limit denge analizlerinde bulunan kritik kayma dairesine yakın konumlarda olduğunu ortaya koymuşlardır.

Bunlarla birlikte sonlu elemanlar yöntemi sayesinde zeminde oluşan gerilmeler, yer değiştirmeler, boşluk basıncı dağılımları başarılı bir şekilde tespit edilebilmektedir (Hammouri ve diğerleri 2008).

Sonlu elemanlar yöntemi, karmaşık şev geometrileri, farklı zemin, sınır ve yükleme koşullarında iki veya üç boyutlu olarak tüm göçme mekanizması tiplerinde uygulanabilmektedir. Şev modellenirken birçok zemin malzeme modeli kullanılarak gerçeğe yakın malzeme bünye davranışı elde edilebilmekte, zeminde oluşan gerilmeler ve deplasmanlar doğru bir şekilde hesaplanabilmektedir. Ayrıca, uzun ve kısa süreli stabilite analizlerinde, yeraltı su seviyesi bulunması, şevin geosentetikler veya zemin çivisi gibi materyallerle güçlendirilmesi durumlarında da yöntem rahatlıkla kullanılabilmektedir (Keskin 2009).

Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilitesi analizlerinde genel olarak iki yaklaşım bulunmaktadır. İlk yaklaşım ağırlık arttırma yönteminde (Şekil 2.9.),

yerçekimi ivmesi, g şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar arttırılır. İkinci yaklaşım mukavemet azaltma yönteminde (Şekil 2.10.) ise, kayma mukavemeti parametreleri, c ve ϕ şev göçünceye ve denge çözümü ortadan kalkıncaya kadar azaltılır (Keskin ve Laman 2007).

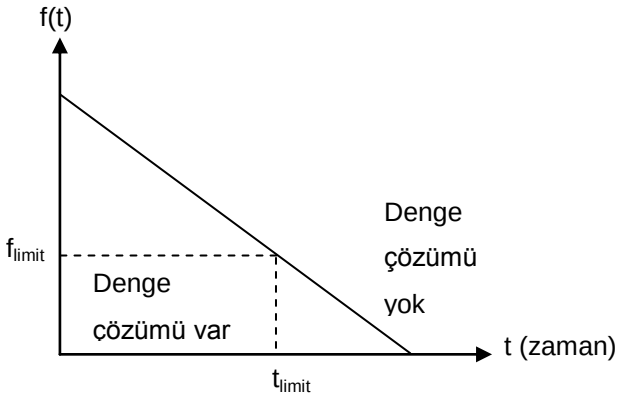


Şekil 2.9. Ağırlık arttırma yöntemi (Keskin ve Laman 2007)

$$g(t) = g_{base} f(t) \tag{2.20}$$

$$GS = \frac{g_{limit}}{g_{true}} \tag{2.21}$$

Burada g_{true} gerçek graviteyi göstermektedir.



Şekil 2.10. Mukavemet azaltma yöntemi (Keskin ve Laman 2007)

$$Y(t) = Y_{base} f(t) \tag{2.22}$$

$$F_s = \frac{y_{true}}{Y(t_{limit})} = \frac{1}{f(t_{limit})} \tag{2.23}$$

Burada Y_{base}gerçek mukavemet parametrelerini göstermektedir.

Mukavemet azaltma yönteminde,

$$c_f = \frac{c}{MAF} \tag{2.24}$$

$$\phi_f = \tan^{-1}\left(\frac{tan\phi}{MAF}\right) \tag{2.25}$$

şeklinde hesaplanırlar.

Denklemdeki MAF mukavemet azaltma faktörüdür. Bu metod mukavemet azaltma faktörü olarak adlandırılmaktadır. Doğru MAF değerinin elde edilebilmesi için, şevde göçmeye neden olacak güvenlik sayısının bulunması gerekmektedir.

Güvenlik sayısı ise,

$$GS = \frac{c}{c_{azaltılmış}} = \frac{\phi}{\phi_{azaltılmış}} \tag{2.26}$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

Yapılan sayısal çalışmalar, sonlu elemanlar analizi ve limit denge yöntemi sonuçları ile oldukça yakın değerler verdiği ve sonlu elemanlar yönteminin şev stabilitesi analizlerinde rahatlıkla ve güvenle kullanılabileceğini göstermektedir. Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sayısal analizler sonucunda deplasman ve gerilme konturlarının da elde edilebiliyor olması bu problemin daha rahat anlaşılabilmesine katkı sağlamaktadır (Keskin ve Laman 2007).

2.3. Güvenlik Sayısı Seçimi

Şev tasarımında; mevcut zemin yapısının tasarımda kabul edildiği gibi homojen olmaması, laboratuvarda tespit edilen kayma mukavemeti parametrelerinin arazideki gerçek değerlerini tam olarak yansıtamaması, gerçekte şev üzerine etkiyen yüklerin tasarımda dikkate alınandan farklı olması ve kabul edilen kayma yüzeyi formunun kritik kayma formundan farklı olması nedenlerinden kaynaklı belirsizlikleri ortadan kaldırma amacıyla zemin kayma mukavemetine güvenlik sayısı uygulanır.

Güvenlik sayısı; Şevi oluşturan zemin birimlerinin kayma mukavemet parametreleri, şevin geometrisi, drenaj durumu ve diğer şartlardaki belirsizliklerin derecesi, şev durağanlığını artırmanın maliyeti, şevin göçmesi durumunda oluşabilecek sorunların boyutu ve maliyeti ile şevin geçici veya kalıcı olması durumları göz önünde bulundurularak tercih edilmelidir (Duncan ve diğerleri 1987).

Yukarıda belirtilen durumlara bağlı olarak statik durum için önerilen minimum güvenlik sayıları çizelge 2.1.'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Şevler için önerilen minimum güvenlik sayıları (Bakır 2013)

Şev Kayması Maliyeti ve Sonuçları	**Mukavemet Parametrelerindeki Belirsizlik**	
	Küçük	**Büyük**
Onarım maliyeti şev inşaatı maliyetine yakın. Can kaybı veya yapılara hasar söz konusu değil	1,25	1,5
Onarım maliyeti şev inşaatına kıyasla çok daha büyük veya şevin kayması durumunda can kaybı veya önemli yapıların hasara uğraması söz konusu	1,5	2,0 veya daha büyük

Burada üzerinde durulması gereken bir diğer durum da, güvenlik sayısının şevin bir bütün olarak durağanlığını sağlayacak şekilde belirtilmiş olmasıdır. Çizelge 2.1.'de verilen güvenlik sayıları şev üzerinde lokal deformasyonların oluşmayacağını garanti etmez (Bakır 2013).

2.4. Toplam veya Efektif Gerilme Seçimi

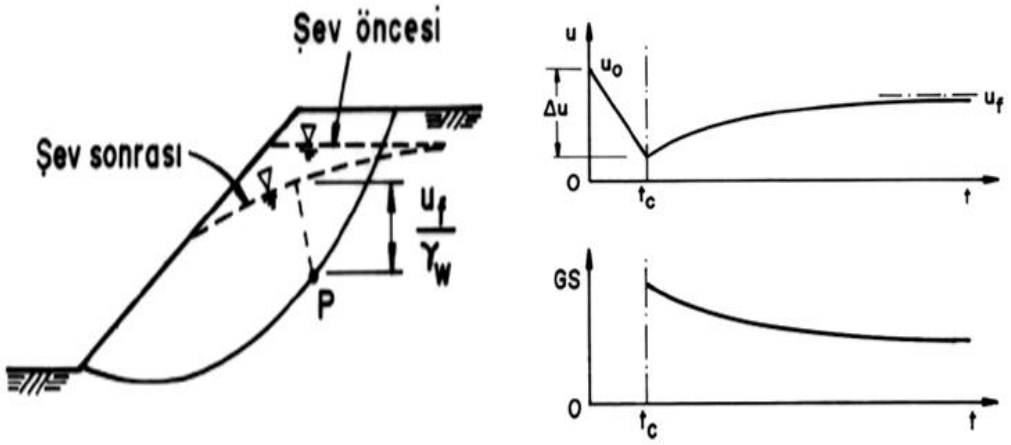
Şev stabilite analizleri toplam veya efektif gerilmeler cinsinden yapılabilmektedir.Şevli zemin birimlerinin permeabilite durumları, kazı veya dolgu yoluyla inşa edilecek şevlerin; kısa veya uzun dönemli boşluk suyu basınçlarında yaşanacak değişimler, geçici veya kalıcı süreler için tasarlanmış olması gibi faktörler göz önünde bulundurularak toplam veya efektif gerilme cinsi analizlerinden uygun olanı stabilite analizinde tercih edilir.

Toplam gerilme analizinde suya doygun zeminler için içsel sürtünme açısı (ϕ_u) sıfır alınarak drenajsız kayma mukavemeti kohezyon (c_u) parametresi ile ifade edilir ve boşluk suyu basınçları hesaplamaya dahil edilmez. Efektif gerilme analizinde ise zeminin efektif kayma mukavemeti parametreleri (c' ve ϕ') kullanılır ve boşluk suyu basınçları hesaplamada bağımsız parametre olarak yer alır.

Zemin permeabilitesinin düşük olduğu durumlarda boşluk suyu basınçlarının denge durumuna ulaşması uzun süre gerektireceğinden şevli zemin kütlesinin pratik olarak drenajsız durumda olduğu kabulüyle toplam gerilme analizi yapılması uygundur.

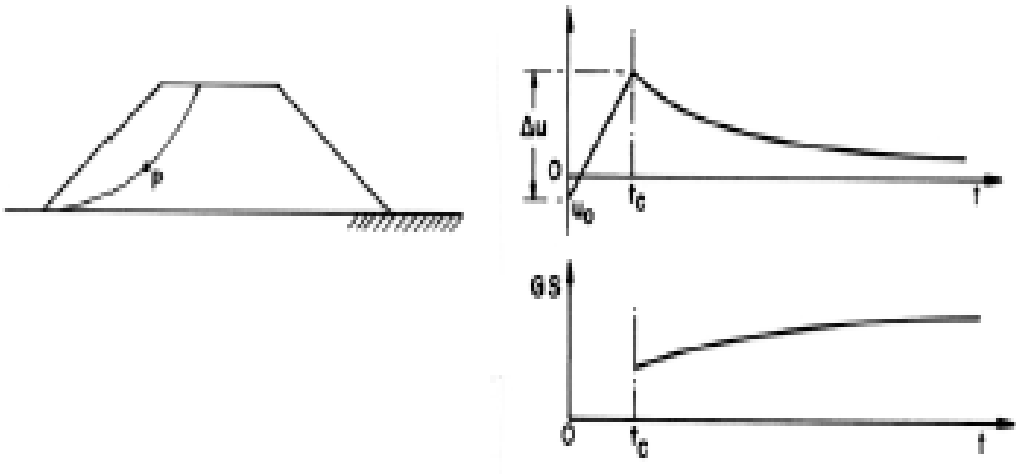
Zemin permeabilitesinin yüksek olduğu durumlarda ise şev inşaatının tamamlanacağı süre içerisinde boşluk suyu basınçları büyük ölçüde denge durumuna ulaşacağından, boşluk suyu basınçları belirlenerek efektif gerilmeler cinsinden şev stabilite analizinin yapılması uygundur.

Kazı yoluyla inşa edilen şevlerde stabilite uzun dönemde daha kritiktir. bu yüzden genel olarak şev kazısı sırasında boşluk suyu basınçlarında meydana gelecek değişiklikleri belirlemeye gerek yoktur. Stabilite analizlerini uzun dönemli boşluk suyu basınçları dikkate alınarak efektif gerilme seçimiyle hesaplanmalıdır.Geçici süreler için gerek duyulan ve kazı yoluyla inşa edilen şevlerde kısa dönemli şev stabilitesinin belirlenmesi için toplam gerilme analizi uygulanır (Bakır 2013).Şekil 2.11.'de kil zeminde kazı yoluyla inşa edilen bir şev kesitinde boşluk suyu basıncı ve güvenlik sayısının zamana bağlı değişimi şematik olarak verilmektedir.



Şekil 2.11. Kazı yoluyla inşa edilen bir şevde güvenlik sayısının boşluk suyu basıncının sönümlenmesine bağlı değişimi (Huvaj 2017)

Dolgu yapılarak inşa edilen şevlerde ise yük artışına bağlı olarak kısa dönemde toplam gerilmeler ve boşluk suyu basınçları artacak, daha sonra boşluk suyu basınçlarının zaman içerisinde denge durumuna doğru sönümlenmesiyle efektif gerilmeler artacaktır (Şekil2.12.).



Şekil 2.12. Dolgu yoluyla inşa edilen bir şevde güvenlik sayısının boşluk suyu basıncının sönümlenmesine bağlı değişimi (Huvaj 2017)

Doğal şevlerde ise stabilite problemleri çoğunlukla uzun dönemli olarak sınıflandırılır. Yer altı su seviyesinin yağışlı dönemlerde yükselmesinden kaynaklı şev stabilitesi üzerindeki etkileri genel olarak efektif gerilme analizi yoluyla belirlenir (Bakır 2013).

2.5. Şev Stabilitesi Parametrelerinin Belirlenmesi

2.5.1. Laboratuvar Deneyleri

Laboratuvar deneyleri, şev stabilitesi tahkiklerinde kullanılan zemin ve kaya özelliklerinin belirlenebildiği yaygın bir yöntemdir. Sahadan elde edilmiş örselenmiş ve örselenmemiş numuneler üzerinde saha dışında farklı bir ortamda modelleme yapılır ve zeminin mühendislik özellikleri ortaya konur (Coduto 2006).

2.5.2. Arazi Deneyleri

Arazi deneyleri diğer bir alternatiftir. Laboratuvar deneylerinden farklı olarak, yerinde, modellenmeden yapılmaktadır. Bu deneyler özel ekipmanların araziye getirilerek zemine uygulanmasını içerir. Bu tür deneyler, temiz kum gibi özellikle numune almanın zor olduğu zeminlerde faydalıdır. Laboratuvar deneylerine kıyasla, yerinde deneyler genellikle daha ekonomiktir. Bu sayede aynı bütçe ile daha fazla deney yapılması sağlanabilmektedir. Bu ilave bilgiler ile planlanan inşaat sahasında yer alan zemin profilinin değişkenliği hakkında daha fazla bilgi edinilebilmektedir (Coduto 2006).

2.5.3. Geri Hesap Yöntemi

Bir şev kayması incelendiği zaman, zemin ve çevre koşulları hakkında bir takım bilgiler edinmek mümkün olmaktadır. Şevin kaydığı andaki yük, yeraltı suyu durumu ve zemin özellikleri arasında bazı ilişkiler kurulabilmektedir. Şev yenilmiş olduğundan yenilme anındaki güvenlik katsayısı 1,0 olarak değerlendirilir. Bu bilgiyi uygun bir analiz yöntemiyle birlikte kullanmak suretiyle, şevin yenildiği zaman için bir model geliştirmek mümkündür (Duncan ve Wright 2005).

2.6. Şev Stabilitesi Islah Metotları

Şevlerin; çok dik veya yüksek dizayn edilmiş olmaları, tasarım geometrilerinin erozyon, kazı, dolgu gibi nedenlerden bozulması, boşluk suyu basınçlarının artması, drenaj sisteminin etkili çalışamaması, şevli zemin biriminin kayma mukavemetinin zamanla ayrışma nedeniyle azalması gibi faktörlerden kaynaklı stabiliteleri bozulabilmektedir. Tasarım aşamasında yeterli güvenlik sayısı elde edilemeyen, kayan ya da kayma belirtileri gösteren şevlerin stabilitelerini sağlayabilmek için şev ıslah uygulamaları yapılır.

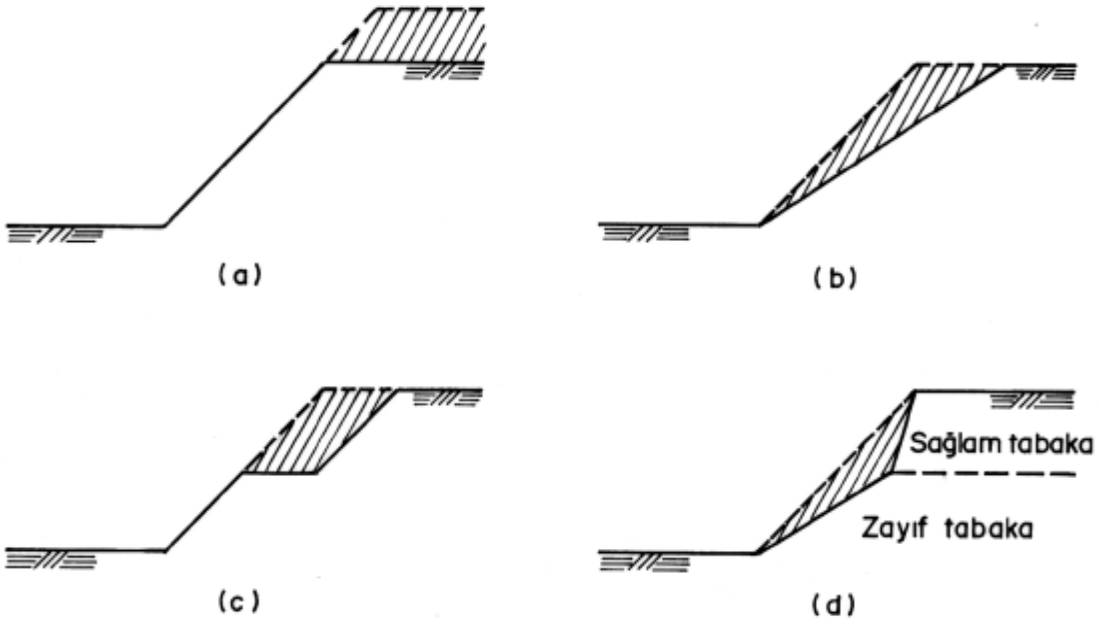
Şev ıslahının gerekli olduğu durumlarda, stabilite bozulmasına neden olan faktörün veya faktörlerin doğru olarak belirlenebilmesi için öncelikle şevin detaylı geoteknik incelemesi yapılmalıdır.Şev kayması meydana geldiği durumda zemin kayma mukavemet parametreleri rezidüel değerlere düşeceğinden, tasarım aşamasında şev stabilitesi üzerinde etkili olabilecek faktörlerin dikkatle değerlendirilerek projelendirmenin uygun bir güvenlik sayısıyla yapılması her zaman için daha ekonomiktir (Bakır 2013).

Şevlerde stabilitenin sağlanması amacıyla yapılabilecek ıslah çalışmaları aşağıda sıralanmaktadır.

2.6.1. Yük Kaldırma – Dolgu Yaklaşımı

Şevlerde kritik kayma yüzeyi üzerinde yer alan zemin kütlesinin yük kaldırma veya dolgu yapılarak yeniden düzenlenmesi yoluyla stabilitenin artırılması sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Ancak, bu yöntemin uygulanabilmesi şevin ıslahı öncesinde kullanılandan daha geniş bir arazi şeridini gerektirdiğinden, bazı hallerde ekonomik olmayabilir.

Stabilitenin sağlanması amacıyla kritik kayma yüzeyi üzerinde kalan zemin kütlesinin şev üzerinden yük kaldırılarak veya şev yüzeyi üzerine dolgu yapılarak hangi şekillerde yeniden düzenlenebileceği, sırasıyla şekil 2.13. ve şekil 2.14.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.13. Stabilitenin şev üzerinden yük kaldırılması yoluyla sağlanması a) Şev tepesinden kütle kaldırılması, b) Şev yüzeyinden kütle kaldırılması, c) Şev üzerinden basamak teşkil edecek şekilde kütle kaldırılması, d) Şev kesitinde üst tabakanın daha kuvvetli olması durumunda tabakalara farklı eğimler verilmesi (Huvaj 2017)



Şekil 2.14. Stabilitenin şev üzerine dolgu yapılarak sağlanması a) Şev yüzeyine dolgu yapılması (yüzeysel stabilitenin sağlanmasında daha etkili), b) Şev topuğuna dolgu yapılması (derin stabilitenin sağlanmasında daha etkili) (Huvaj 2017)

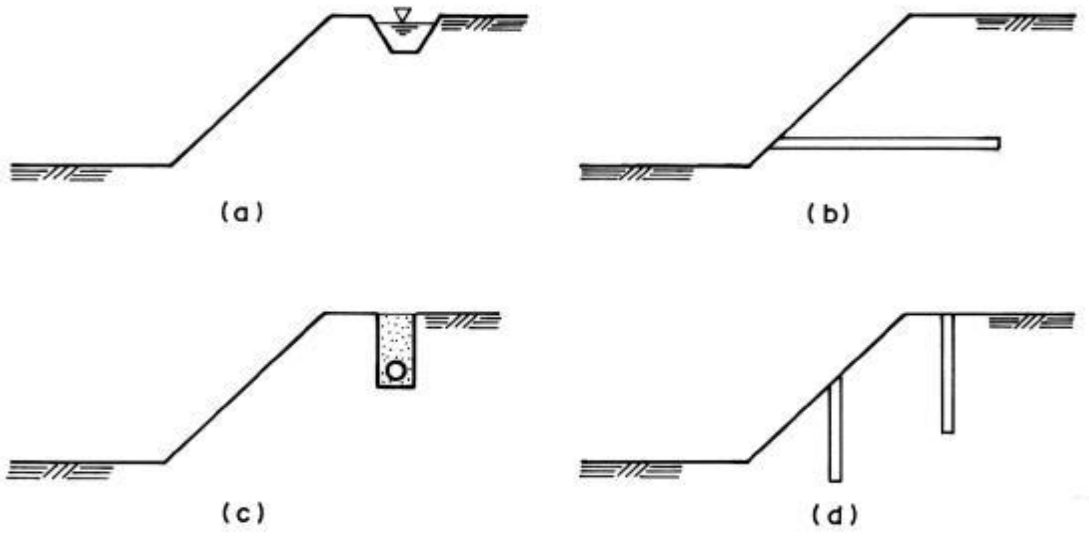
2.6.2. Drenaj

Drenaj sistemi güvenilir şekilde çalıştığı müddetçe etkili bir ıslah metodu olup yüzeysel drenaj ve derin drenaj olmak üzere iki farklı şekilde uygulanabilir.

Yüzeysel drenaj, zemin birimi içerisine sızma durumu içerisinde olabilecek yüzey sularına fırsat verilmeden uzaklaştırılması yoluyla boşluk suyu basınç artışını önlemeye yönelik çalışmalardır. Yüzeysel kanal sistemleri veya sığ drenaj uygulamalarıyla yapılabilir.

Derin drenaj, şevli zemin birimlerinin içerisindeki sızma rejimine doğrudan müdahale edilerek boşluk suyu basınçlarının düşürülmesini sağlayan uygulamalardır.

Derin drenaj, yüzeysel drenaj uygulamalarına göre daha pahalı ve daha etkili bir yöntemdir.Şevlerde drenaj uygulamaları şekil 2.15.'de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.15. Şevlerde uygulanan drenaj yöntemleri : a) Yüzeysel drenaj, b) Küçük çaplı yatay perfore borular kullanılması, c) Drenaj kanalları (genellikle 1,5 – 4,5 m arası derinliklerde), d) Düşey drenaj kuyuları (genellikle 0,4 – 0,9 m arasındaki çaplarda) (Huvaj 2017)

2.6.3. Dış Destek Sağlanması

Dış destek sağlanmak suretiyle şev ıslahı farklı yöntemler kullanılarak uygulanabilmektedir. Bu yöntemler şekil 2.16.'da şematik olarak gösterilmiştir.

2.6.3.1. İstinat Yapıları

Zemini tabii şev açısından daha dik açılarda tutmak ve toprak kaymasını engellemek amacıyla uygulanan yapılardır. Eğimli arazilerde güvenli kademelendirme, derin kazıları ve yapıları tutma, şev stabilitesini artırma gibi birçok fayda sağlarlar. Genellikle pahalı çözümlerdir. Duvar temelinin kazıklarla veya duvarın ankrajla desteklenmesi gerekebilir (Şekil 2.16.a).

Zemin hareketlerinin nispeten küçük olduğu hallerde veya şevin kısa süreli desteklenmesi amacıyla palplanş perdelerde kullanılmaktadır.

2.6.3.2. Kazıklar

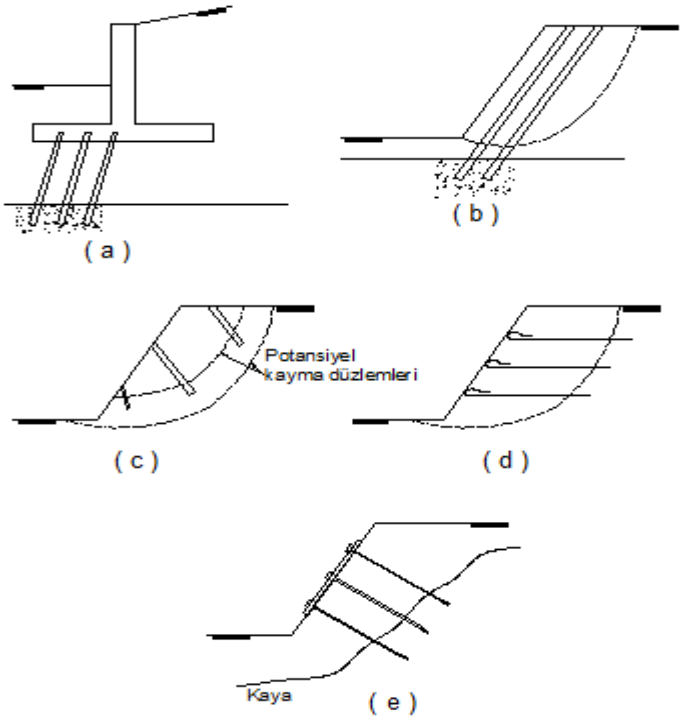
Şev stabilitesi probleminin niteliğine bağlı olarak farklı uzunluk ve çapta kazıklar kullanılabilmektedir. Bu yapılandırmalarda kazıklar genellikle basınç veya kayma gerilmelerine maruz kalacak şekilde yerleştirilmektedir (Şekil2.16.b-c).

2.6.3.3. Geotekstil Kullanımı

Şevlerde stabiliteyi sağlamak için yaygınlaşarak kullanılan geotekstiller, iki farklı amaca yönelik uygulanmaktadır. Bu amaçlardan ilki zayıf zeminlerde olası lokal deformasyonları kısıtlamak, diğeri ise zemin ankrajı olacak şekilde kullanımlarıdır. Geotekstillerin tipik bir uygulaması şekil 2.16.d'de verilmektedir.

2.6.3.4. Zemin Ankrajları

Şevli yüzeye uygulanacak ankraj kuvvetleri, zemin kütlesinin kayma gerilim yönüne ters yönde kuvvet ve moment meydana getirerek şev stabilitesinde güvenlik sayısını artıran bir şev ıslah metodudur. Ankraj kuvvetleri şev stabilitesi analizlerinde hesaplamaya dahil edilebilmektedir. Şekil 2.16.e şev stabilitesini sağlamak amacıyla oluşturulan bir ankraj uygulamasını göstermektedir.



Şekil 2.16. Stabilite sağlamak amacıyla yapılan dış destek uygulamaları (Bakır 2013)

2.7. Sismik Şev Stabilite Analizi

Sismik şev stabilite analizi, deprem etkisinden kaynaklı dinamik gerilmeleri ve bu gerilmelerin şevi oluşturan zeminin mukavemeti ile gerilme – deformasyon davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmesini gerektirmektedir. Sismik stabilite kayıpları, kütlesel mukavemet kaybı ve zemin mukavemeti kaybı olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir (Kramer 1996).

Kütlesel mukavemet kaybında, kritik kayma yüzeyi üzerinde dinamik yüklemelerden kaynaklı gerilmeler dinamik yükleme süresi içerisinde zemin mukavemetini aşması durumunda şevde kalıcı deformasyonlar oluşur (Bakır 2013).

Zemin mukavemeti kaybına bağlı stabilite bozulmalarında ise şevi teşkil eden zeminlerin dinamik yüklemeler sonucu kayma mukavemetinde büyük ölçüde azalmalar meydana gelir. Bu durumda, zemin sıvılaşarak şev üzerinde akabileceği gibi dinamik yükleme boyunca geçici süreler için akma da oluşabilir (Bakır 2013).

Kütlesel mukavemet kaybı nedeniyle oluşan stabilite bozulma durum analizleri için kullanılan yöntemler:

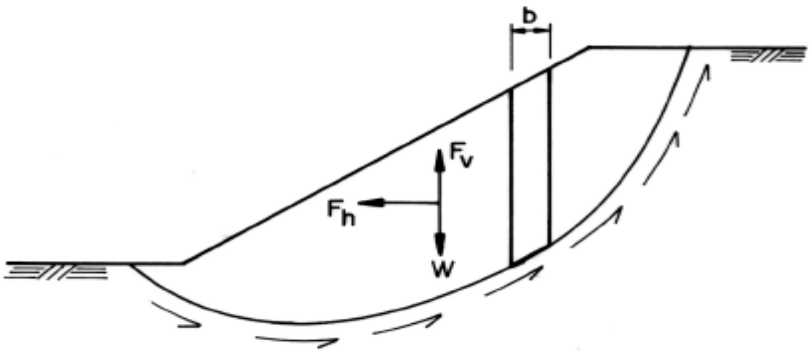
2.7.1. Psudostatik Analiz Metodu

Psudostatik yaklaşım şevlerin sismik stabilitesinin analizi amacıya 1920lerden bu yana kullanılmaktadır. Bu yöntemde sismik hareketin potansiyel bir kayma yüzeyi üzerinde yer alan kütle üzerindeki etkisi yatay ve düşey yönlerde sabit kuvvetlerle ifade edilmektedir. Kayan kütlenin ağırlık merkezinde etkidiği varsayılan bu sabit kuvvetlerin büyüklükleri, kütlenin ağırlığı cinsinden şu denklemlerle verilmektedir:

$$F_h = \frac{a_h W}{g} = k_h W \quad (2.27.a)$$

$$F_v = \frac{a_v W}{g} = k_v W \quad (2.27.b)$$

Burada a_h ve a_v, yatay ve düşey yönlerdeki psudostatik deprem ivmesi değerleri; k_h ve k_v ise kayan kütle üzerinde bu ivmelere karşılık gelen boyutsuz sismik yük katsayıları, W ise kayan zemin kütlesinin ağırlığıdır. Bu yaklaşım, deprem hareketinin şev üzerindeki etkisini temsil eden kuvvetlerin sisteme dahil edilmesiyle, şev analizi için kullanılanmetodlarlabütünleştirilebilmektedir (Şekil 2.17.).



Şekil 2.17. Psudostatik yaklaşımın limit denge metodlarında uygulanması (Huvaj 2017)

Potansiyel kayma kütlesi üzerine yatay yönde uygulanan psudostatik kuvvet bir yandan şev stabilitesini bozan kuvvetlerde artış yaratırken, diğer yandan zemin direncinin azalmasına ($\phi>0$ olması durumunda) neden olmaktadır; dolayısıyla, şevin güvenlik sayısının azalmasına neden olacağı açıktır. Düşey yönde uygulanan psudostatik kuvvet ise hem şev stabilitesini bozan kuvvetlerin, hem de zemin direncinin azalmasına (veya uygulandığı yöne bağlı olarak artırması) neden olduğundan şevin güvenlik sayısı üzerindeki etkisi çok daha küçüktür; bu nedenle, psudostatik yaklaşımda düşey ivmelerin şev üzerindeki etkileri genellikle ihmal edilir.

Denklem 2.27.'de ifade edildiği üzere, psudostatik analizde kayan kütleye uygulanan kuvvetlerle hesaplamada kullanılan sismik katsayı arasında doğru orantılı bir ilişki mevcuttur. Sismik katsayı, öngörülen deprem hareketi sırasında potansiyel bir kayma kütlesi üzerinde etkiyecek olan kuvvetlerin büyüklüğünü hesaplamada yansıtmalıdır. Gerek şev malzemesinin rijit olmaması, gerekse dinamik hareket sırasında maksimum ivmenin çok kısa bir süre için etkimesi göz önüne alınarak, sismik katsayılarının belirlenmesinde kayan kütle üzerine etkiyen maksimum ivme (a_{max}) değerinden daha küçük ivme değerleri göz önüne alınır (Bakır 2013).

Sismik katsayının belirlenmesinde tasarım mühendislerinin yaklaşımını araştıran Seed ve Martin (1966), bu konuda rasyonel bir metodolojinin mevcut olmadığı, genel olarak bölgenin sismisitesinin ve projenin öneminin dikkate alındığı sonucuna varmışlardır.

2.7.1.1. Psudostatik Analiz Metodunun Avantaj ve Dezavantajları

Deprem hareketi sırasında şevin maruz kalacağı karmaşık dinamik etkileri sabit bir kuvvete indirgeyen bu analiz metodunun yeterince hassaslaştırılmadığı açıktır. Fakat hem uygulamadaki, hem de elde edilen sonuçların değerlendirilmesindeki kolaylıklar nedeniyle bu metod halen yaygın olarak kullanılmaktadır.

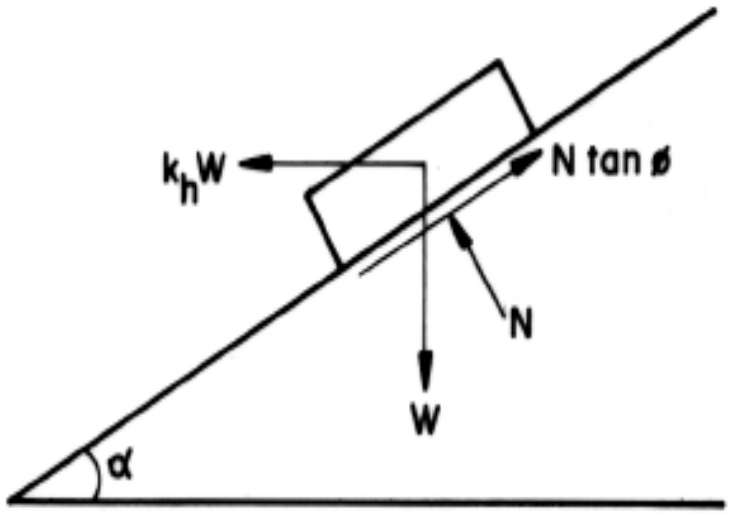
Psudostatik ve statik analiz sonucunda elde edilen güvenlik sayıları arasında kavramsal olarak bir fark yoktur; dolayısıyla, psudostatik analiz sonucunda güvenlik sayısının 1 veya daha küçük çıkması halinde deprem hareketi sırasında şev stabilitesinin bozulacağı varsayılır. Gerçekte ise, kayan kütlenin güvenlik sayısı deprem hareketi sırasında kütleye etkiyen dinamik kuvvetlerin mertebelerine bağlı olarak, ihmal edilebilir düzeylerde deformasyonlara neden olacak şekilde, kısa süreler için 1 in altına

düşebilir. Bu yüzden bu yaklaşım gerçekçi olmadığı gibi ekonomik de değildir (Bakır 2013).

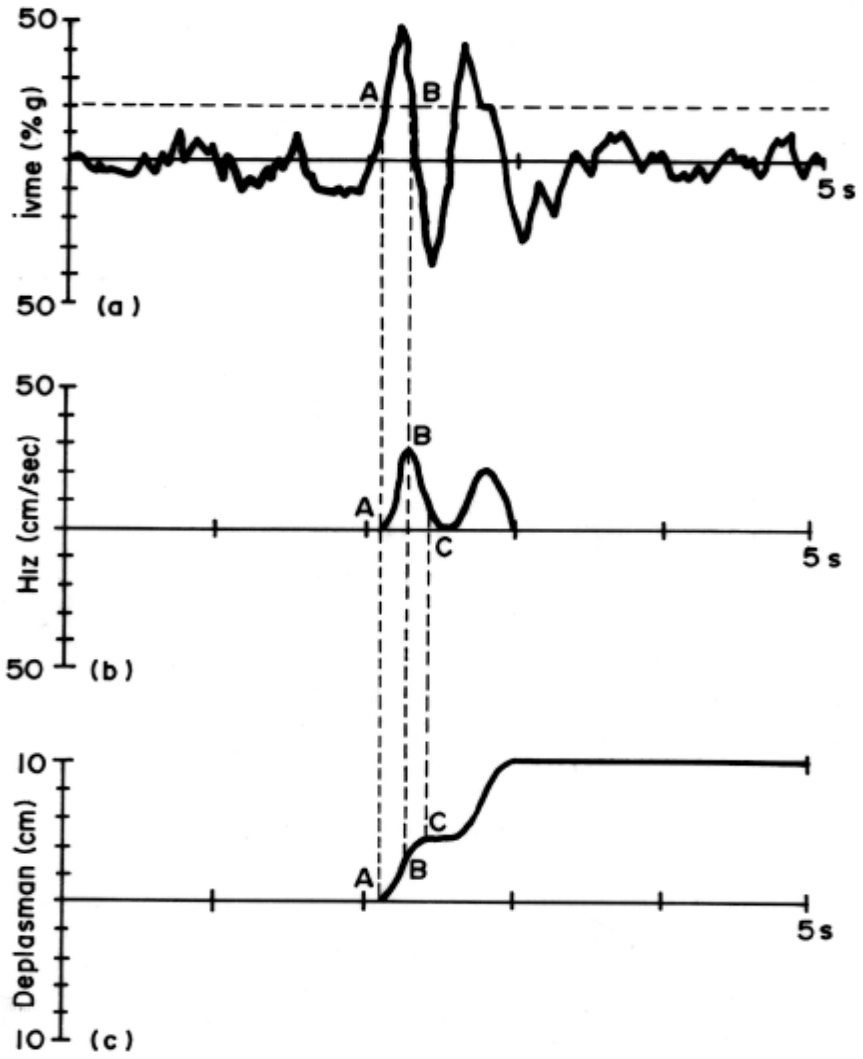
2.7.2. Newmark Kayan Blok Analiz Metodu

Deprem sonrasında bir şevin fonksiyonel durumda olup olmadığı, şevin maruz kalmış olduğu deformasyonlar dikkate alınarak belirlenmektedir. Newmark (1965) tarafından,psudostatikmetodla hesaplanan güvenlik sayısına alternatif bir göçme kriteri olarak şevlerde kalıcı deformasyon kavramının kullanılması önerilmiştir.

Bu yaklaşımda, tanımlı bir kayma düzlemi üzerinde kalan zemin kütlesi eğimli bir yüzey üzerinde kayabilen bir blok olarak modellenmektedir (Şekil 2.18.). Newmark ayrıca, kütlenin yapacağı deplasmanın yer hareketi özelliklerinin ve kaymanın başlaması için gerekli minimum ivmenin fonksiyonu olarak hesaplanabilmesini sağlayacak gerekli formülasyonu vermektedir. Şev kayması, dinamik hareket sırasında kütle üzerine etkiyen ivmenin toplam kayma direncini aşan bir kuvvet yaratması durumunda başlar ve ivmenin yön değiştirmesiyle son bulur. Böylece, şevde kaymayı başlatacak olan ivme düzeyinin belirlenmesi ve dinamik hareket sırasında kayan kütle üzerinde bu seviyeyi aşan ivmelerin iki kez integre edilmesiyle kütlenin toplam deformasyonu hesaplanabilir (Bakır, 2013). Şekil 2.19'da Newmark analizi algoritmasının uygulanışı gösterilmektedir.



Şekil 2.18. Newmark analizinde kayan kütlenin modellenmesi (Huvaj 2017)



Şekil 2.19.. Newmark analizi algoritmasının uygulanışı: a) Deprem hareketi ve kayma ivmesi düzeyi (kesik çizgi), b) Bloğun hızının zaman içerisinde değişimi, c) Bloğun deplasmanının zaman içerisinde değişimi (Huvaj 2017)

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Vaka Analizi

Kahramanmaraş ilinde bulunan 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi sahasının yapım aşamasında tesviye kotuna getirilmesi için açılan desteksiz kazılarda zamanla şev kaymaları gözlenmiş, bu yüzden kazı şevlerindeki stabilite bozukluklarının nedenleri ve buna bağlı oluşabilecek zararların önlenmesi için alınması gereken tedbirlerin belirlenerek önlem projesi hazırlanması gerekmiştir. Çalışma kapsamında, öncelikle ele alınan şev problemi tanıtılmış gerçekleştirilen arazi ve laboratuvar çalışmalarından bahsedilmiş ve şevin stabilitesinin incelenmesi kapsamında gerçekleştirilen analizler ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir.

3.1.1. İnceleme Alanının Tanıtılması

İnceleme alanı Kahramanmaraş Kayseri Karayolunun yaklaşık 30 km kuzeybatısında Süleymanlı Ilıca yolu üzerinde yeralmaktadır (Sekil 3.1.). Suçatı barajının hemen kıyısında yeralanÇağlayan Trafo Merkezinin sol tarafında (batısı) genel olarak moloz akıntılarının oluşturduğu birimler, sağ tarafında ise (doğusunda) yer yer büyük kanal çökelleri ile üstte kumtası, sonrasında kumtaşı-kiltası ardalanmalı birimler gözlenmiştir.



Şekil 3.1. İnceleme alanının google earth görünümü

3.1.2. İnceleme Alanının Genel Jeolojisi ve Depremselliği

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü tarafından hazırlanan jeoteknik rapora göre; İnceleme alanında yapılan saha çalışmalarında genelde kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler ile havza kenarlarında yamaç ortamında çökelmiş moloz akmaları ve göçme (slump) çökelleri belirlenmiştir.



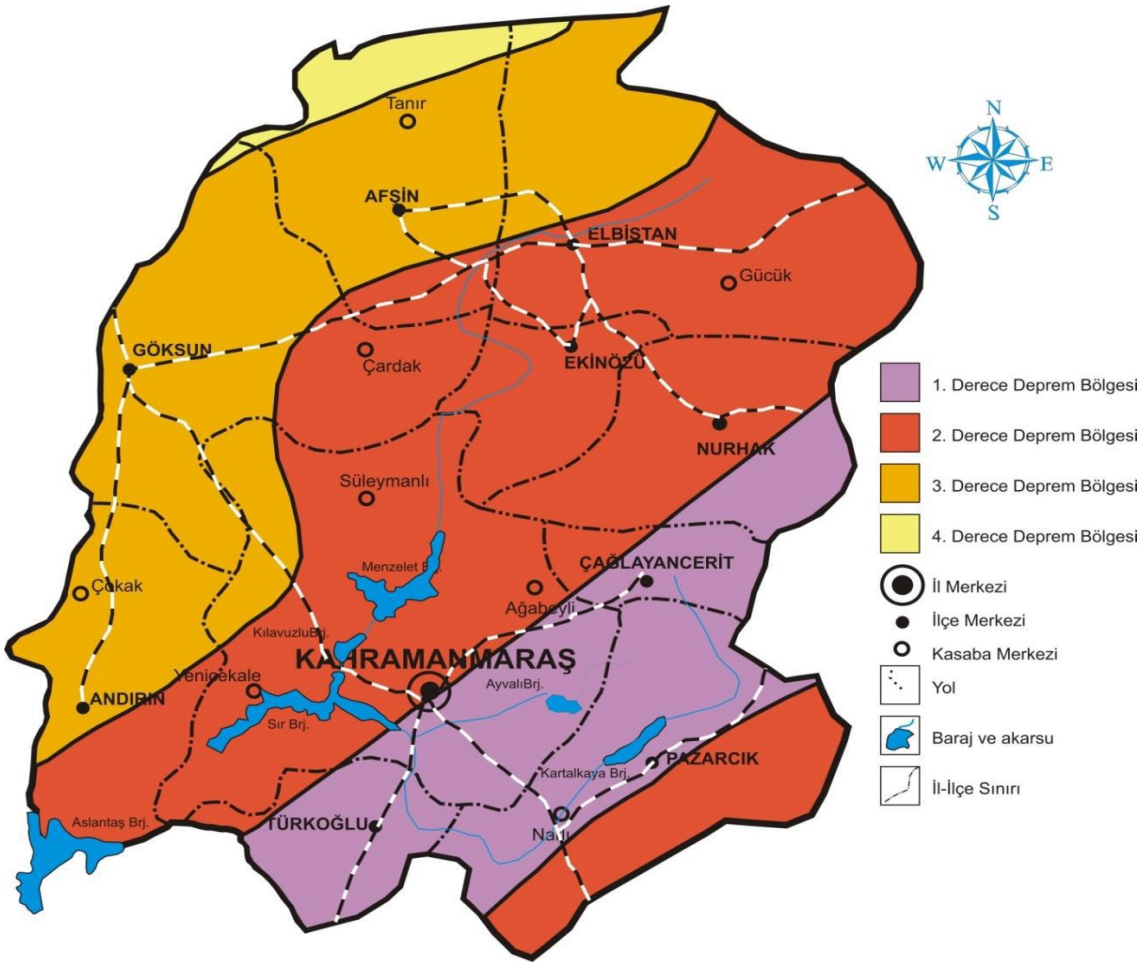
Şekil 3.2. İnceleme alanında kumtaşı kiltaşı ardalanması



Şekil 3.3. İnceleme alanında gözlenen moloz akmalarının görünümü

Ayrıca Doğu Anadolu Fayı'nın deprem potansiyeli ve İnceleme alanınında yakınından geçen Kahramanmaraş Fay Zonu'nun varlığı inceleme alanı için deprem

açısından ciddi şekilde tehlike içermektedir. Bu nedenle dinamik hesaplarda 1. Derece deprem bölgeleri için geçerli olan maksimum yer ivmesi değerleri dikkate alınmıştır.



Şekil 3.4. Kahramanmaraş ilinin deprem bölgeleri haritası (T.C. Başbakanlık Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı , www.deprem.gov.tr)

Çizelge 3.1. Deprem bölgesi haritasına göre olası maksimum yer ivmesi değerleri (T.C. Başbakanlık Afet Acil Durum Yönetimi Başkanlığı , www.deprem.gov.tr)

DepremBölgesi Derecesi	**Maksimum Yer İvmesi (a_{max})**	**Ao (Etkin Yer İvmesi Değeri)**
1. Derece Deprem Bölgeleri	$\boldsymbol{a_{max} \geq 0,40\ g}$	**0,40**
2. Derece Deprem Bölgeleri	$0,30g \leq a_{max} < 0,40g$	0,30
3. Derece Deprem Bölgeleri	$0,20g \leq a_{max} < 0,30g$	0,20
4. Derece Deprem Bölgeleri	$0,10g \leq a_{max} < 0,20g$	0,10
5. Derece Deprem Bölgeleri	$a_{max} < 0,10g$	

3.1.3. Saha Çalışmaları ve Laboratuvar Deneyleri

3.1.3.1.Zeminlerin Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği laboratuvarına alınan yamaç moloz akmalarından oluşan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numunelerine fiziksel ve mekanik özelliklerine ilişkin olarak; Doğal Birim Hacim Ağırlık, Kıvam Limitleri (Likit Limit, Plastik Limit), Dane Boyu Dağılımı (Elek Analizi) ve Kesme Kutusu deneyleri yapılmış, Doğal birim hacim ağırlık değeri 18,69 kN/m^3, LL değeri %42, plastik limit değeri ise %18,36 olarak belirlenmiştir. İnceleme alanındaki tüm zeminler TS 1500 (2000) standartlarına göre CI olarak sınıflandırılmıştır. Kesme deneyi sonuçlarına göre kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0,12 kg/cm^2 ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 31° elde edilmiştir.



Şekil 3.5. Zeminden alınan örselenmemiş numune

Çizelge 3.2. İnceleme alanındaki zeminlere ait fiziksel ve mekanik özellikler

ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	DOĞAL BİRİM HACİM AĞIRLIK	KIVAM LİMİTLERİ			DANE DAĞILIMI		ZEMİN SINIFI (TS 1500)	KESME KUTUSU DENEYİ	
		γ_n(kN/m^3)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	200 No Geçen (%)	10 No Geçen (%)		ϕ°	c (kg/cm^2)
N-1	Yüzeyden	18,69	42,00	18,36	23,64	51,48	83,20	CI	31	0,12

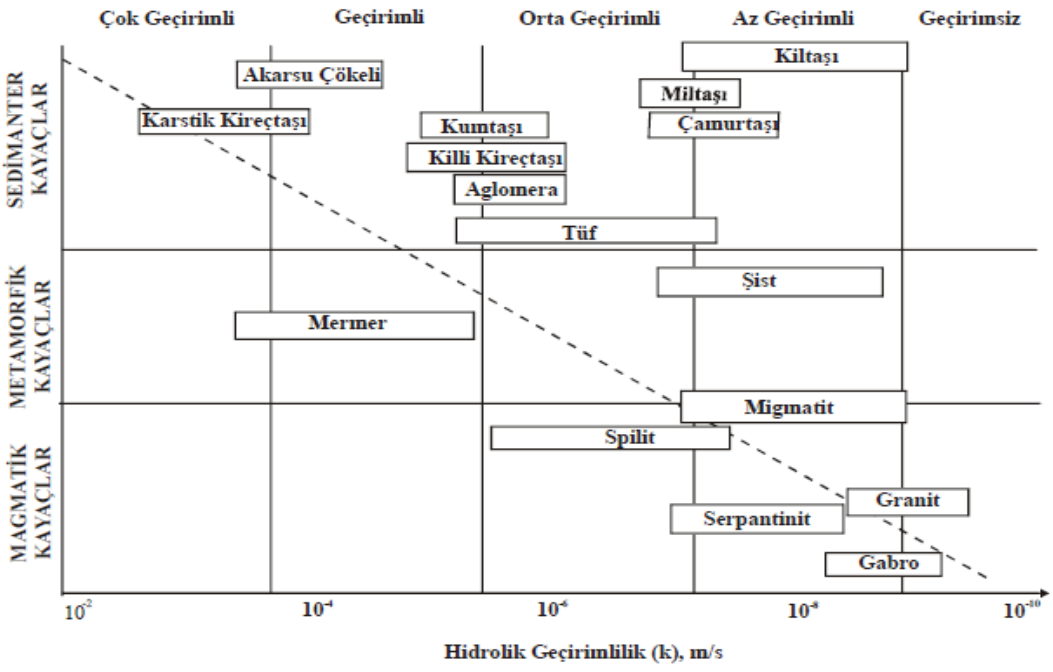
3.1.3.2. Permeabilite

Terzaghi ve Peck (1967) sınıflamasına göre inceleme alanındaki ince taneli (CI) olarak tanımlanan zeminler "Az geçirimli", olarak sınıflandırılmıştır (Çizelge 3.3.).

İnceleme alanında yüzeylenen kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler için Todd (1980) tarafından verilen genelleştirilmiş hidrolik geçirimliliklerine göre "Orta-az geçirimli" kayaç olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.6.).

Çizelge 3.3. Zeminlerin geçirimlilik katsayılarına (k) göre tanımlanması (Terzaghi ve Peck 1967)

Geçirimlilik katsayısı k(cm/s)	Geçirimlilik derecesi	Tanım
10^{-2} - 1	Yüksek derecede geçirimli	Temiz çakıllar
10^{-5} - 10^{-2}	Orta derecede geçirimli	Temiz kumlar,çakıllar ve çakıllı kumlar
10^{-9} – 10^{-5}	Az geçirimli	İnce kumlar, siltler, bazı ayrışmış killer
< 10^{-9}	Geçirimsiz	Killer



Şekil 3.6. Kayaç gruplarının genelleştirilmiş hidrolik geçirimlilikleri

3.1.3.3. Kaya Mekaniği Deneyleri

İnceleme alanında yer alan kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmaları kapsamında yüzeyden derlenen örnekler üzerinde doğal birim hacim ağırlık, görünür gözeneklilik, boşluk oranı, ağırlıkça su emme ve disk makaslama dayanım indeksi deneyleri yapılmıştır.

Kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimlerin doğal birim hacim ağırlık değeri 23,45-25,40 kN/m^3, gözeneklilği %5,68-9,45, boşluk oranı 0,01-0,12 ve ağırlıkça su emme değeri %2,50-4,86 arasında elde edilmiştir (Çizelge 3.4.).

Kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan kayaçlardan laboratuvarda istenilen standartlara uygun karot numuneler elde edilememesi nedeniyle, kayaçların tek eksenli sıkışma dayanımı değerleri, Ulusay ve Gökceoğlu (1997) tarafından önerilen ve daha sonraki yıllarda kullanıcıların ihtiyaçları doğrultusunda daha da geliştirilen disk makaslama indeksi deneyi kullanılarak dolaylı yoldan belirlenmiştir.

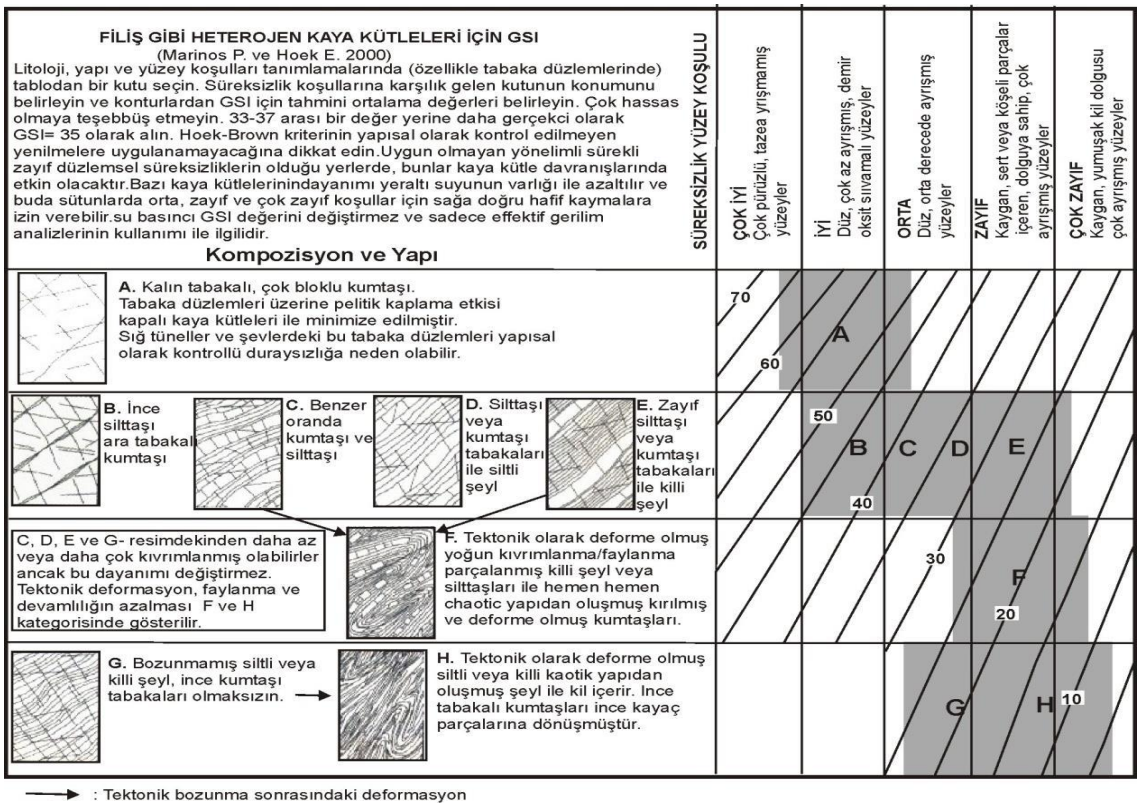
Çizelge 3.4. İnceleme alanındaki kayaçların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Deney No	Doğal birim hacim ağırlık g (kN/m^3)	Ağırlıkça su emme Aw (%)	Görünür gözeneklilik n(%)	Boşluk oranı e	Disk makaslama indeksi deneyi BPI (Mpa)	Tahmini tek eksenli sıkışma σ_c(Mpa)
1	25,40	2,50	7,40	0,08	4,92	25,10
2	23,75	4,85	8,98	0,12	5,45	27,80
3	24,86	2,76	5,68	0,07	4,83	24,65
4	23,45	4,86	9,45	0,01	5,73	29,20
5	24,25	4,30	8,02	0,10	4,86	24,80

3.1.3.4. Kayaç Türlerinin Sınıflandırılması

İnceleme alanında kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan heterojen birimlerin deformasyon ve dayanım özelliklerinin belirlenmesinde Hoek-Brown yenilme kriterleri göz önüne alınmıştır.

Arazide yapılan ölçümler ve incelemeler sonucunda kumtaşı ve kiltaşlarının süreksizlik yüzey koşulu genelde sert ve köşeli parçalar içeren dolgular içeren, çok ayrışmış kaygan yüzeylere sahiptir. Kompozisyon ve yapı açısından iki farklı sınıf belirlenmiştir. Birincisi zayıf kiltaşı ve kumtaşı tabakaları içermekle birlikte kiltaşı oranı kumtaşına göre oldukça yüksek oranlarda tespit edilen E sınıfı, ikincisi ise tektonik olarak deforme olmuş, yoğun kıvrımlanma, kırılmış kiltaşları ile kaotik yapıda kırılmış ve deforme olmuş kumtaşlarından oluşan F sınıfıdır.



Şekil 3.7. Fliş tipi heterojen kaya kütlelerinin belirlenmesi (Marinos ve Hoek 2001)

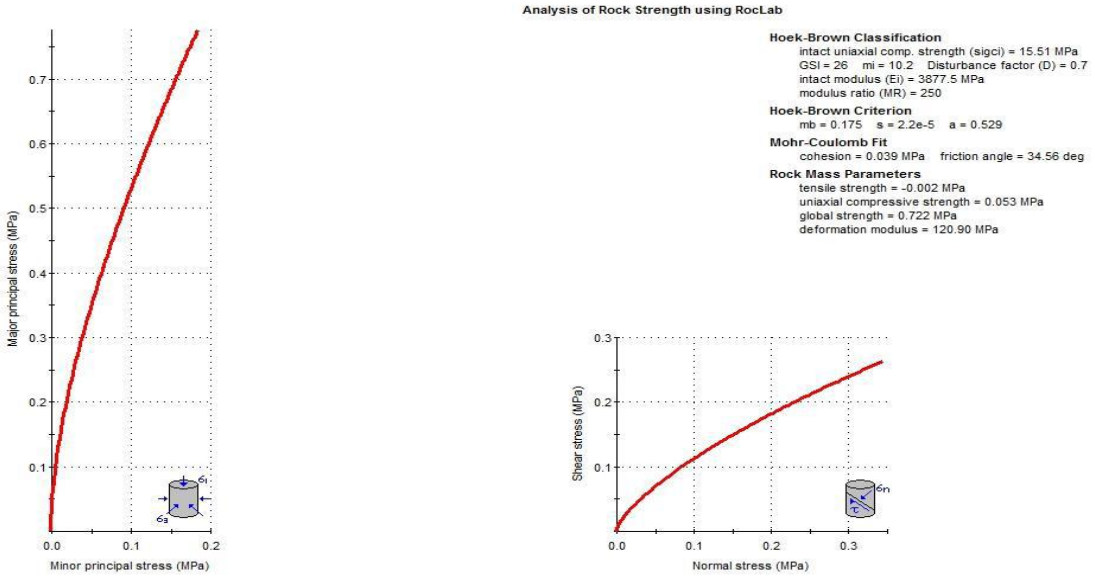


Şekil 3.8. E sınıfı kumtaşı kiltaşı ardalanması



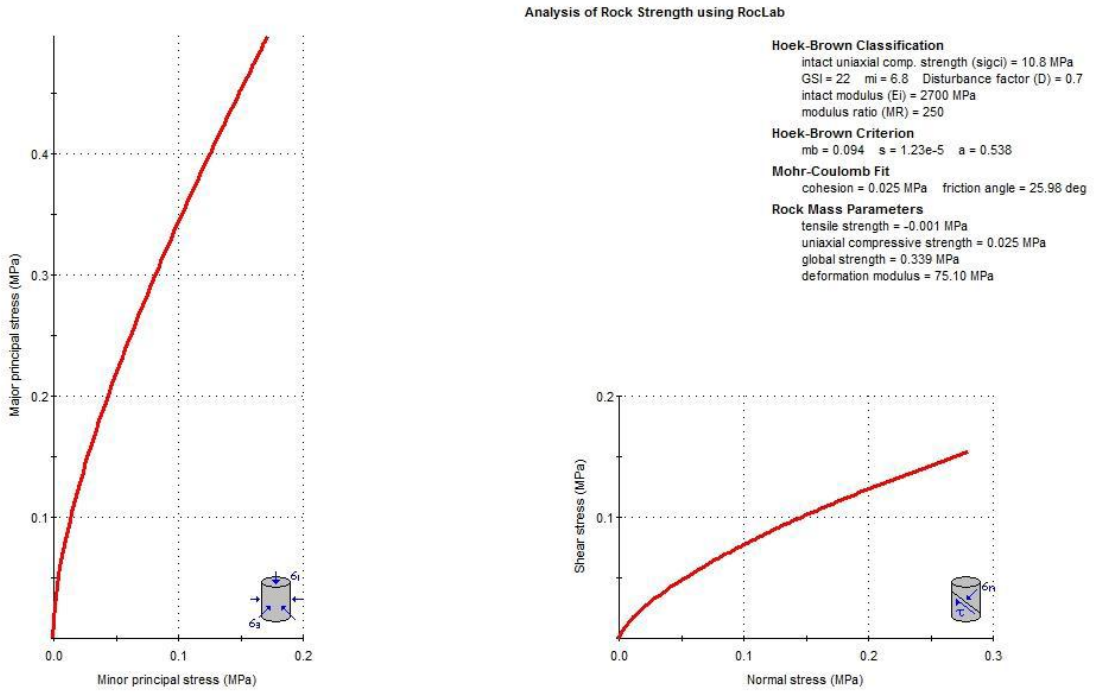
Şekil 3.9. F sınıfı kumtaşı kiltaşı ardalanması

İnceleme alanındaki birimlerin dayanım ve deformasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışmalarda RocLab programı (www. Rocscience.com, 2015) kullanılarak analizler gerçekleştirilmiş, Hoek Brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi dayanım özellikleri iki farklı lokasyon için belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimlerden E sınıfı için, kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0.039 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 34,56° ve elastisite modülü (E) ise 120,90 Mpa belirlenmiştir (Şekil 3.10.).



Şekil 3.10. Kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan E sınıfı için hoek brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri

F sınıfı, yer yer deformasyona uğramış kıvrımlanmış kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler için, kayma dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0,025 MPa, içsel sürtünme açısı (ϕ) 25,98° ve elastisite modülü (E) ise 75,10 MPa olarak belirlenmiştir (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. Kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan F sınıfı için hoek brown yenilme kriterine göre kaya kütlesi parametreleri

3.1.3.5. İnceleme Alanındaki Birimlerin Zemin Grupları ve Yerel Zemin Sınıfları

İnceleme alanında yer alan zeminler için zemin grubu ve yerel zemin sınıfı Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından 1997 yılında hazırlanan "Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik" göz önüne alınarak yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda inceleme alanındaki birimler için zemin grubu ve yerel zemin sınıfı belirlenmiştir.

İnceleme alanında tabakalı bir yapı sunan kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler için zemin gurubu B, zemin sınıfı Z2; ayrışmış, deforme olmuş ve yer yer kıvrımlanmış kumtaşı kiltaşı ile yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalarından oluşan birimler için zemin grubu C, yerel zemin sınıfı Z3olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.5. Zemin grupları (AİGM 2007)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	SPT-N	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası Hızı
	-Masif volkanik kayaçlar ve ayrışmamış, sağlam metamorfik kayaçlar, sert çimentolu tortul kayaçlar	-	-	> 1000	> 1000
(A)	- Çok sıkı kum-çakıl	> 50	85-100	-	> 700
	- Sert kil ve siltli kil	> 32	-	> 400	> 700
	-Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayaçlar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayaçlar	-	-	500 – 1000	700-1000
(B)	- Sıkı kum-çakıl	30 - 50	65-85	-	400-700
	- Çok katı kil ve killi silt	16 - 32	-	200 - 400	300-700
	- Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayaçlar ve çimentolu tortul kayaçlar	-	-	< 500	400-700
(C)	**- Orta sıkı kum-çakıl**	10 - 30	35-65	-	200-400
	- Katı kil ve siltli kil	8 - 16	-	100 - 200	200-300
(D)	- Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	< 200
	- Gevşek kum	< 10	< 35	-	< 200
	-Yumuşak kil, siltli kum	< 8	-	< 100	< 200

Çizelge 3.6. Yerel zemin sınıfları (AİGM 2007)

Yerel Zemin Sınıfı	*Zemin Grubu ve Tabaka Kalınlığı*
Z_1	A Grubu Zeminler H_1<15 m (B) Grubu Zeminler
Z_2	H_1>15 m (B) Grubu Zeminler H_1<15 m (C) Grubu Zeminler
Z_3	15 m<H_1<50 m (C) Grubu Zeminler H_1<10 m (D) Grubu Zeminler
Z_4	H_1>50 m (C) Grubu Zeminler H_1>10 m (D) Grubu Zeminler

3.1.3.6. Temel Zeminlerin Taşıma Gücü

İnceleme alanındaki temel zeminlerin taşıma gücü laboratuvar deneylerinden ve Hoek ve Brown yenilme kriterinden yararlanılarak belirlenmiştir (Çizelge 3.7.).

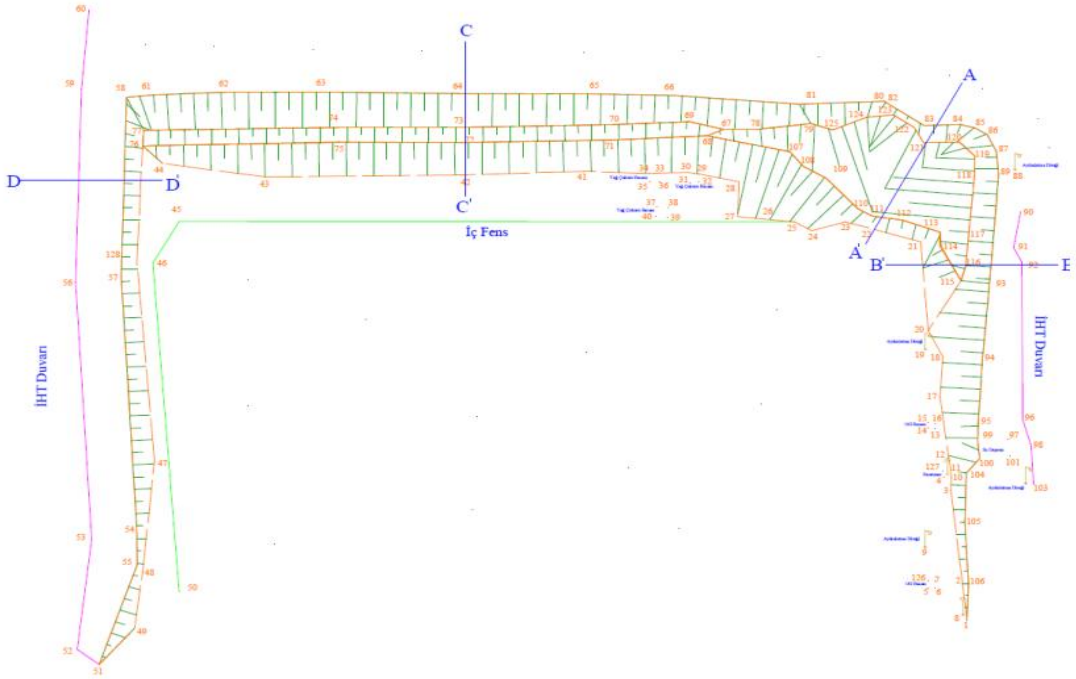
Çizelge 3.7. İnceleme alanındaki birimlerin nihai taşıma gücü ve yatak katsayıları

Zemin	*Temel Tipi*	*qu (kg/cm^2)*	*k_s (kN/m^3)*
Ayrışmış deforme olmuş kumtaşı kiltaşı	Şerit	8,24	32960
	Kare	8,21	32840
Kumtaşı kiltaşı	Şerit	23,22	92880
	Kare	22,61	90440
Yamaç molozu	Şerit	6,80	27200

3.1.4. Zemin Yapısı

Saha çalışmalarında genelde kumtaşı kiltaşı ardalanmaları ve ayrışmış deforme olmuş kumtaşı kiltaşı ardalanmasına ait birimler ile yamaç ortamında çökelmiş moloz akmaları sonucu oluşmuş yamaç molozları gözlenmiştir. Trafo merkezi inşası sırasında oluşturulan kazı şevlerinde yapılan incelemelerde şev boyutları ve zemin/kaya

özellikleri göz önüne alınarak 4 bölgede kesitler alınmış ve stabilite analizleri her bir bölge için ayrı ayrı yapılmıştır. Belirlenen 4 kesit bölgesine ait saha gözlemleri aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Çağlayan trafo merkezi kazı şevlerinde stabilite analizleri için seçilen kesit lokasyonları

3.1.4.1. A-A' Kesiti

A-A' kesitinin seçildiği bölgede genel olarak kumtaşı kiltaşı ardalanması şeklinde tabakalı bir yapı gözlenmiştir. Kiltaşı tabakalarının oranı kumtaşı tabakalarına göre daha fazladır. Tabaka kalınlıkları 10 cm ile 2 cm arasında değişmektedir. Genel olarak şevin eğimi ile tabaka eğimleri birbirine dik konumda olduğundan güney yamaçlarda herhangi bir duraysızlık gözlenmemiştir. Ancak şev eğimi ile tabakaların eğimlerinin aynı yönde olduğu güneybatı alanda kazı nedeniyle topuk kısmının alınması ve yağışların etkisiyle suya doygun hale gelen kumtaşları nispeten geçirimsiz kiltaşı düzlemleri boyunca düzlemsel kayma şeklinde duraysızlıklar oluşturmuştur (Şekil 3.13.).Düzlemsel kayma şeklinde başlayan hareket malzemenin suyla yumuşaması ve kolay dağılması nedeniyle dairesel bir harekete dönüşmüştür. Bu alanda şev stabilite analizi için birim hacim ağırlık 25,13 kN/m^3, Tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 15510 kPa alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki birimlerin yatak katsayısı (ks) 90444-92880 kN/m^3 aralığında belirlenmiştir. Tabakalı bir yapı sunan kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler için zemin gurubu B, yerel zemin sınıfı Z2 alınmıştır.



Şekil 3.13. A-A' kesitinin alındığı lokasyonda oluşan heyelanın görünümü



Şekil 3.14. Kayan kütlenin görünümü



Şekil 3.15. A-A' kesitinde oluşan heyelanın yukarıdan görünümü

3.1.4.2. B-B' Kesiti

B-B' kesitinin alındığı lokasyonun alt kotlarında güneydoğuya eğimli kumtaşı kiltaşı ardalanması gözlenirken üst kotlarda nispeten deforme olmuş ayrışmış kıvrımlanmış bir yapı vardır (Şekil 3.16.). Şev eğimi ile tabakaların eğimi aynı yönde olmasına rağmen topuk kısmında bir kazı yapılmadığından herhangi bir kütle hareketi gelişmemiştir. Ancak bina temel kazısı nedeniyle açılan şevlerde yağışların etkisi ile birlikte kimyasal ve fiziksel ayrışma nedeniyle şev eğimi boyunca akma (Yüzeysel döküntü) şeklinde kütle hareketleri gözlenmiştir (Şekil 3.17.).

Şev stabilite analizi için birim hacim ağırlık 23,85 kN/m^3, tek eksenli sıkışma dayanımı değeri 10800 kPa alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki birimlerin yatak katsayısı (ks) 32840-32960 kN/m^{3}aralığında belirlenmiştir. Tektonizma nedeniyle deforme olmuş kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından oluşan birimler için zemin grubu C, yerel zemin sınıfı Z3alınmıştır.



Şekil 3.16. B-B' kesitinin alındığı şevin genel görünümü



Şekil 3.17. B-B'kesitinde tabakaların konumu ve yamaç boyunca oluşan döküntülerin görünümü

3.1.4.3. C-C' Kesiti

C-C' kesitinin alındığı bölgede genel olarak kumlu yer yer çakıllı kil gözlenmiştir (Şekil 3.18.). Daha çok inceleme alanındaki kiltaşı ve kumtaşının tamamen bozunması ile oluşmuş zemin niteliğindedir. Bu kesit hattında herhangi bir kütle hareketi gözlenmemiştir. Ancak fiziksel ve kimyasal ayrışmanın etkisi ve yağışların zemini doygun hale getirmesine bağlı olarak lokal olarak kuru zemin ve çamur akmaları gerçekleşmiştir (Şekil 3.19.). Şev stabilite analizi için birim hacim ağırlık 18,69 kN/m3, kohezyon (c) 0,12 kg/cm^2 ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 31° alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Yatak katsayısı (ks) 27200 kN/m^{3}olarak belirlenmiştir. Yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalarından oluşan birimler için zemin grubu C, yerel zemin sınıfı Z3alınmıştır.



Şekil 3.18. C-C' kesitinin genel görünümü

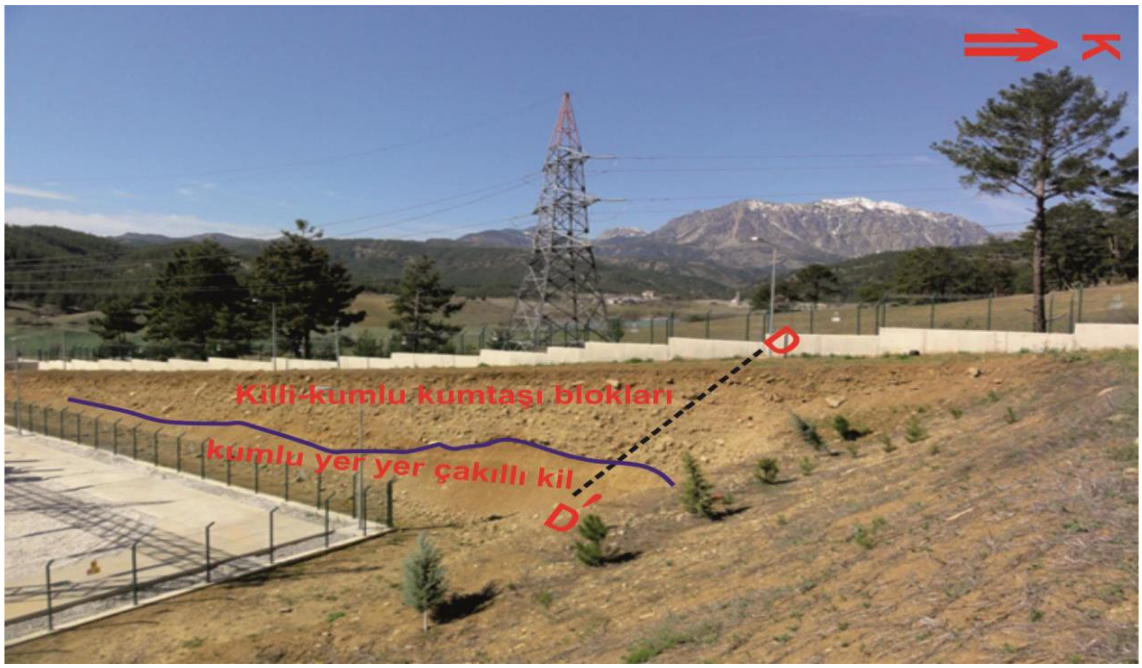


Şekil 3.19. C-C' kesitinde yağışın etkisi ile fiziksel ve kimyasal ayrışmaya bağlı olarak şev eğimi boyunca oluşan yamaç döküntüsü

3.1.4.4. D-D' Kesiti

D-D' kesitinin alındığı bölgede alt kotlarda tamamen ayrışmış yer yer çakıllı kumlu orta plastisiteli kil birimleri gözlenirken üst kotlarda kil ile birlikte iri kumtaşı bloklarının yeraldığı moloz akıntısına ait birimler gözlenmiştir. (Şekil 3.20.). İnceleme alanında genel anlamda bir kütle hareketi gözlenmemiştir. Ancak fiziksel ve kimyasal bozunmanın etkisi ve yıllık yağış miktarına ve tipine bağlı olarak lokal olarak akmalar gerçekleşeceği söylenebilir.

Şev duraylılık analizi için birim hacim ağırlık 18,69 kN/m^3, kohezyon (c) 0,12 kg/cm^2 ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 31° alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki birimin yatak katsayısı (ks) 27200 (kN/m^3)olarak belirlenmiştir. Yamaç ortamında çökelmiş moloz akmalarından oluşan birimler için zemin grubu C, yerel zemin sınıfı Z3alınmıştır.



Şekil 3.20. D-D' kesitinin genel görünümü

3.2. Metot

Şev stabilite analizlerinde laboratuvar deneyleri ile Hoek Brown yenilme kriterine göre elde edilen parametrelerden yararlanılmıştır. Kullanılan parametreler efektif gerilme analizi prensiplerine uygun olarak seçilmiştir. Mevcut kazı şevlerindeki stabilite analizleri Limit Denge Yöntemini kullanan Slide 5.v ve Sonlu elemanlar yöntemini kullanarak iki boyutlu deformasyon ve stabilite analizlerini yapabilen Plaxis 7.2 programları aracılığı ile yapılmıştır.

Güvenlik katsayısı hesaplamaları mevcut şevlerde hem boşluk suyu basıncı gözönüne alınarak statik ve dinamik koşullar için hem de şevlerin tamamen kuru ve doygun olduğu koşullar için yapılmıştır. İnceleme alanının 1. Dereceden deprem bölgesinde yeralmasından dolayı dinamik analizler için yerçekim ivmesi (Ao) 0,4 g alınmıştır. 154 kV Çağlayan Trafo Merkezi alanındaki şev stabilite analizleri topoğrafik özellikler, litolojik sınırlar ve derinlikleri gözönüne alınarak A-A', B-B', C-C' ve D-D'olmak üzere dört farklı kesit güzergahı için geçekleştirilmiştir (Şekil 3.12.). Trafo merkezi sahasının çevre ihata duvarıyla çevrili olmasından, ihata duvarının mevcut konumuna göre kesit profillerde modellenmiş ve sürşarj yükü 2,1 t/m^2 olarak alınmıştır.

Yapılan analizler sonucunda bulunan güvenlik sayıları TS 8853 standartlarınca verilen çizelge göz önünde bulundurularak kazı şevleri için Toplam gerilmeler 1,5, Efektif gerilmeler 1,25 ve Dinamik yük 1,0 alınarak kıyaslandırılmıştır (Çizelge 3.8.).

Çizelge 3.8. Şevlerde güvenlik sayıları (TS 8853)

Şart	**Güvenlik Sayısı**		
	Toplam Gerilme	**Efektif Gerilme**	**Deprem**
Dolgularda yapım sonu	1,5	-	-
Yarmalar	1,5	1,25	1,0
Barajda sızıntı	1,5	1,25	-
Barajda ani su düşmesi	1,5	1,10	-
Laboratuvar maksimum direnç parametreleri	1,5	1,35	1,0
Kalıcı dirence göre	-	1,2	1,0
Uzun vadede duraylılık	-	1,2	-
Yamaç üzerinde yapı olması	1,8	1,5	1,2
Fisürlü killer	-	1,5	-

3.2.1. Plaxis Programı

PLAXIS (Finite Element Code for Soil and Rock Analysis), değişik geoteknik problemleri için, sonlu elemanlar yöntemiyle, deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin-yapı etkileşimi, gerilme – şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmekte ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir.

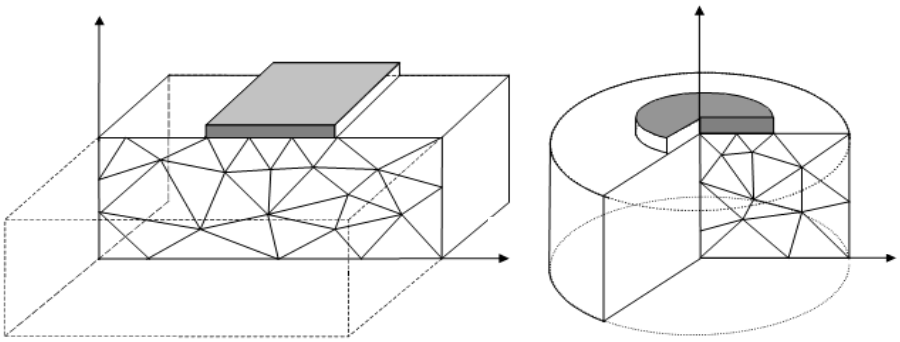
Bu çalışmada, PLAXIS 7.2 versiyonu kullanılmıştır. Versiyon, geoteknik mühendisliği uygulamalarına yönelik olarak geliştirilmiştir. Analizlerde, problemler 2 boyutlu olarak eksenel simetrik veya düzlem şekil değiştirme geometri koşullarında statik ve dinamik olarak analiz edilmektedir. Programda, malzemenin gerilme-deformasyon davranışı lineer olmayan çözüm teknikleri ile modellenmektedir. PLAXIS, çok yönlü ve karmaşık bir yapı arz eden geoteknik uygulamaların analizi için önemli özelliklerle donatılmıştır. Aşağıda bu özelliklerin kısa bir özeti verilmiştir.

3.2.1.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

Programda; zemin tabakaları, yapılar, kazı safhaları, yükler ve sınır şartlarının girişi için özel bir grafik ortamı (CAD) kullanılmaktadır. Böylece program bünyesinde geometrik model, gerçek konumuna uygun olarak doğru ve detaylı bir şekilde oluşturulabilmektedir. Programda, problem tipine göre düzlem şekil değiştirme veya eksenel simetrik geometri koşulları kullanılmaktadır.

Düzlem şekil değiştirme durumu, cismin bir doğrultudaki boyutunun (z ekseni), bu boyuta dik diğer iki doğrultudaki boyutundan çok büyük olması durumunda kullanılabilmektedir. Düzlem şekil değiştirme durumunun uygulanabilmesi için, z doğrultusunda sadece düzgün yayılı yükler etki etmeli ve hacimsel kuvvetler z doğrultusundan bağımsız olmalıdır (Şekil 3.21.a).

Problemin z ekseni etrafında çepeçevre simetrik olması durumunda, deformasyonlar ve gerilmeler dönme açısından bağımsız olmakta, bu nedenle problem Şekil 3.21.b'de görülen alan üzerinde 2 boyutlu problem olarak ele alınabilmektedir.

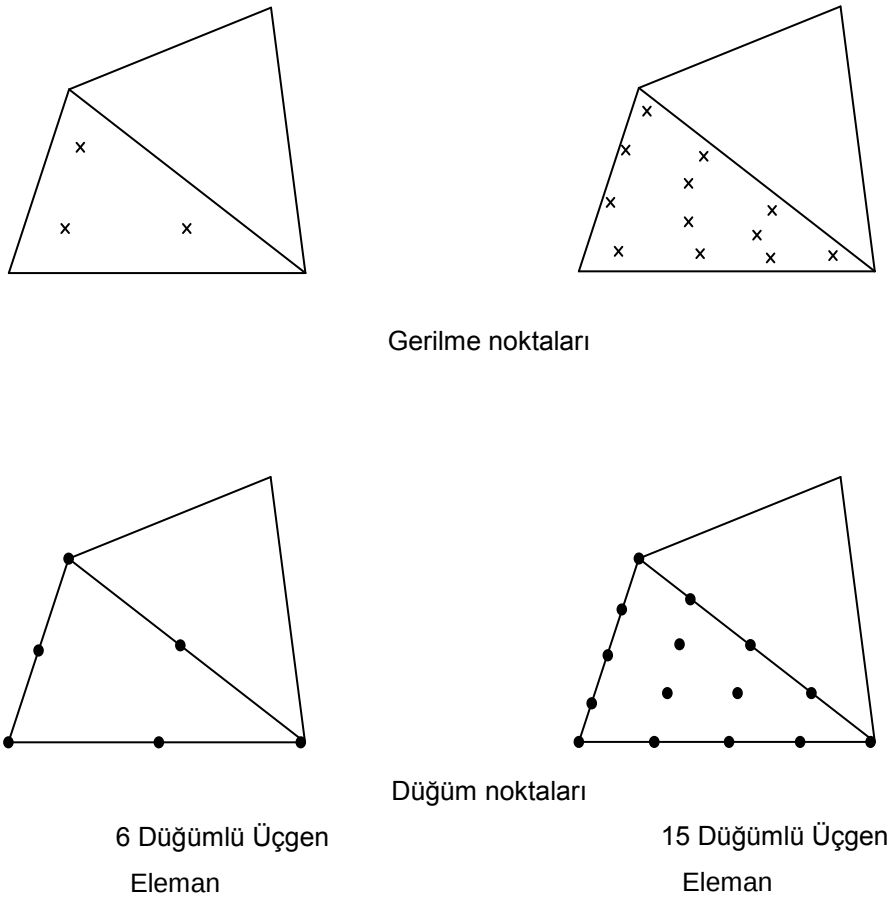


(a) (b)

Şekil 3.21. (a) Düzlem şekil değiştirme (b) Eksenel simetrik problem (PLAXIS Manual, 2002)

3.2.1.2. Zemin Elemanları

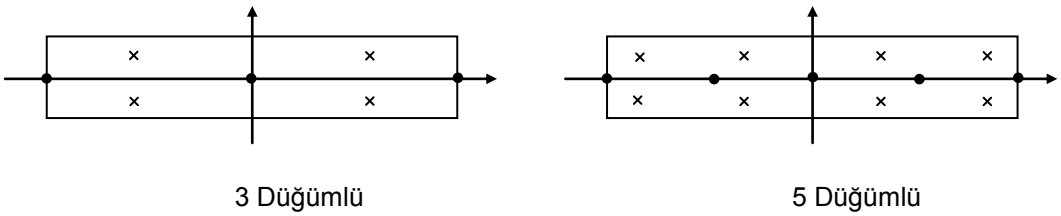
Sonlu elemanlar ağının oluşturulması sırasında, zemin ortam iki boyutlu üçgen elemanlara ayrılır. Programda, 6 ve 15 düğüm noktalı iki farklı üçgen eleman bulunmaktadır (Şekil 3.22). Aynı sonlu elemanlar ağında, 15 düğüm noktalı elemanlar, 6-düğüm noktalı elemanlara göre daha hassas çözüm yapabilmektedirler. Sonlu elemanlar analizinde, deplasmanlar düğüm noktalarında, gerilmeler ise düğümler yerine her bir Gauss-noktasında (veya gerilme noktasında) hesaplanmaktadır.



Şekil 3.22. Zemin elemanlarındaki düğüm ve gerilme noktalarının pozisyonu

3.2.1.3. Kiriş Elemanlar

Programda; duvar, plak ve temel gibi yapı elemanları 3 ve 5 düğüm noktasına sahip iki farklı kiriş eleman kullanılarak tanımlanır (Şekil 3.23.). Analizlerde eğer 6 düğümlü zemin elemanı kullanılıyorsa, 3 düğümlü kiriş eleman, 15 düğümlü zemin elemanı kullanılıyorsa, 5 düğümlü kiriş eleman kullanılmaktadır. Kiriş elemanı, Mindlin kiriş teorisine dayanılarak geliştirilmiştir. Bu teoriye göre, kiriş eleman eğilmeye ve kaymaya maruz kalmaktadır. Ayrıca eksenel bir kuvvet uygulandığında eleman boyu değişmektedir. Kiriş elemanı önceden tanımlanan eğilme momenti veya maksimum eksenel kuvvete ulaştığında plastik hale gelmektedir. Kiriş elemanların malzeme özelliği olarak programa eğilme rijitliği (EI) ve eksenel rijitlik (EA) değerleri girilmektedir. Bu çalışmada, istinat duvarlarına alternatif olarak düşünülen pasif fore kazıklar programda plate eleman kullanılarak modellenmiştir.



Şekil 3.23. Kiriş elemanları

3.2.1.4. Zemin Modelleri

PLAXIS'de zemin ve diğer ortamların (kaya vb) davranışını modellemek için 6 farklı model kullanılmaktadır. Bu modeller ve modellerde kullanılan parametreler aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.2.1.4.1. Lineer Elastik Model (LE)

Bu modelde, zemin davranışının Hooke yasasına uyduğu ve izotropik lineer elastik bir malzeme olduğu kabul edilir. Programda giriş bilgileri olarak 2 adet rijitlik parametresi, Elastisite modülü, E ve Poisson oranı, ν değerleri girilir. LE model, zemin davranışını çok sınırlı bir şekilde temsil edebilir. Genellikle, zemin içerisindeki rijit yapıları modellemek için kullanılır.

3.2.1.4.2. Mohr – Coulomb Model (MC)

Elasto-plastik zemin modelidir. Programda, giriş bilgileri olarak 5 parametre girilir. Bunlar; Elastisite modülü, E, Poisson oranı, ν, kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ ve dilatasyon açısı, ψ'dir. Ayrıca modelde, doğru bir K_0 seçilerek zemindeki başlangıç yatay gerilme durumu oluşturulabilir. Zemin rijitliği için kullanılan E

parametresi, tüm zemin tabakaları için sabittir. Bu modelde, hesaplamaların hızlı ve kısa zamanda yapılabilmesi nedeniyle genellikle analizlerde zeminde oluşacak deformasyonlar hakkında ilk izlenimleri elde etmek için kullanılır.

3.2.1.4.3. Jointed Rock Model (JR)

Plastik kaymanın sadece sınırlı sayıda kayma doğrultularında meydana geldiği anizotropik elasto-plastik modeldir. JR model, tabakalı veya birleşik kayaların davranışını modellemede kullanılır. Modelde giriş parametreleri olarak, Elastisite modülü, E, Poisson oranı, ν, kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ ve dilatasyon açısı, ψ değerleri girilmektedir.

3.2.1.4.4. Soft Soil Model (SS)

Zemin mekaniğinde normal konsolide killer, killi siltler ve turba zeminler yumuşak zemin olarak kabul edilir. Bu tür zeminlerin yüksek mertebedeki sıkışabilirlik özelliğine bağlı olarak farklı özellikleri vardır. Bu nedenle, bu tür zeminlerde SS model kullanılır. Model en iyi performansını birincil sıkışma durumlarında gösterir. Modelde giriş parametreleri olarak, kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ, dilatasyon açısı, ψ, modifiye sıkışma indeksi, λ^*, ve modifiye şişme indeksi, κ^* değerleri girilmektedir.

3.2.1.4.5. Soft Soil Creep Model (SSC)

SSC modeli, konsolide killer, killi siltler ve turba gibi yumuşak zeminlerin zamana bağlı davranışının modellenmesinde kullanılmaktadır. Temel ve dolgulardaki zamana bağlı oturma problemleri ile tüneller ve derin kazı gibi zemindeki yük boşalması problemlerinde bu model kullanılır. Modelde giriş parametreleri olarak, kohezyon, c, içsel sürtünme açısı, ϕ, dilatasyon açısı, ψ, modifiye sıkışma indeksi, λ^*, modifiye şişme indeksi, κ^* ve modifiye sünme indeksi μ^* değerleri girilmektedir.

3.2.1.4.6. Hardening Soil Model (HS)

Hardening Soil modeli, farklı tiplerdeki yumuşak ve sert zeminlerin davranışını modellemekte kullanılan ve Mohr Coulomb modeline göre çok daha gelişmiş bir zemin modelidir. MC modelde olduğu gibi gerilme seviyesi kohezyon (c), sürtünme açısı (ϕ) ve dilatasyon açısı (ψ) ile sınırlandırılmıştır. HS model, gerilme bağımlı rijitlik modülünü dikkate almaktadır. Yani, zemin rijitliği basınçla birlikte artmaktadır. HS model, drenajlı üç eksenli basınç deneyinde gözlenen eksenel deformasyon-deviatorik gerilme ilişkisinin yaklaşık hiperbol şeklinde olması esasına dayanır.

3.2.1.5. Sonlu Elemanlar Analizi

Plaxis programı kullanılarak yapılan sonlu elemanlar analizinde, arazideki kesitler modellenmiş ve laboratuvar deney sonuçlarından elde edilen parametreler kullanılarak mevcut şevin stabilite analizleri statik, dinamik ve yeraltı suyu koşullarıda gözönüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, şevin iyileştirmesine yönelik olarak fore kazıklı ve istinat duvarlı durumlar için analizler yapılmıştır. Analizlerde zemin cinsi, sınırlar ve yükleme koşulları arazideki durum ile aynı seçilmeye çalışılmıştır.

3.2.1.5.1. Geometrik Model

PLAXIS bilgisayar programında arazide mevcut şevin geometrik modeli, iki boyutlu ve ele alınan şev problemine uygun olarak, düzlem şekil değiştirme koşullarında oluşturulmuştur. Zemin ortamı, daha hassas bir çözüm elde etmek amacıyla 15 düğüm noktalı üçgen elemanlarla modellenmiştir.

3.2.1.5.2. Sınır Koşulları

Sınır koşulları olarak, modele PLAXIS'de mevcut standart sınır koşulları uygulanmıştır. Standart sınır koşullarında, geometrik modelin tabanında hem düşey hem yatay deplasmanlar engellenmekte (u_x=0,u_y=0), geometrik modelin düşey kenarlarında ise, sadece düşey harekete izin verilmektedir (u_x=0,u_y=serbest). Bu sınır koşulları geoteknik problemlerin birçoğunda geçerli olmaktadır.

3.2.1.5.3. Malzeme Özellikleri

a) Model Zemin

Arazide yapılan incelemeler sonucu ele alınan kritik kesitler için modelleme aşamasında kullanılan parametreler laboratuvar deneyleri sonrasında elde edilen değerler olarak alınıp Mohr-Coulomb (MC) zemin model olarak modellenmiştir. Analizlerde kullanılan zeminin MC model parametreleri tüm kesitler için çizelge 3.9.'da görülmektedir.

Çizelge 3.9. MC model için malzeme parametreleri

Parametre	Kumtaşı-Kiltaşı Ardalanması		Yamaç Molozu		Dolgu
	A-A' Kesiti	B-B' Kesiti	C-C' Kesiti	D-D' Kesiti	
Elastisite Modülü, E (kN/m^2)	120900	75100	22000	22000	25000
Poisson Oranı, ν (-)	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Kohezyon, c (kN/m^2)	39	25	11,768	11,768	30
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	34,56	26	31	31	35
Dilatasyon Açısı, ψ (°)	4,56	0	1	1	5
BirimHac. Ağ.,γ(kN/m^3)	25,13	23,85	18,69	18,69	20,00

b) Model Kazıklar

Ele alınan kesitlerde şevin iyileştirmesine yönelik olarak pasif fore kazıklar düşünülmüştür. Analizlerde, fore kazıklar plate eleman kullanılarak 80 cm çapında modellenmiş olup betonarme elemanın malzeme özellikleri EI 338.200 kNm^2/m ve EA 16.076.800 kN/m olarak seçilmiştir.

c) Model İstinat Duvarı

Şevin iyileştirmesine yönelik düşünülen bir diğer yöntem betonarme istinat duvarlarıdır. Bu kapsamda gerçekleştirilen analizlerde betonarme istinat duvarı lineer elastik malzeme modeli ile modellenmiş olup model parametreleri olarak programa Elastisite Modülü, E=30.000.000 kN/m^2 (C25 beton sınıfı), Poisson Oranı, ν= 0,25 değerleri girilmiştir.

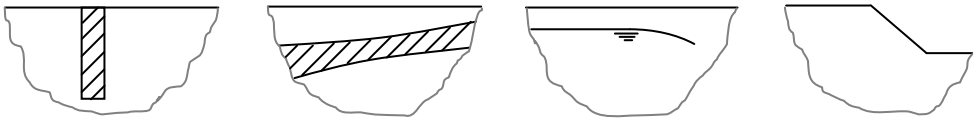
3.2.1.5.4. Sonlu Elemanlar Ağı

PLAXIS'de sonlu elemanlara ayırma işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmekte ayrıca manuel olarak istenilen bölgelerde ağ sıkılaştırılması yapılabilmektedir. Analizlerde çözüm süresi de dikkate alınarak sonlu elemanlar ağı orta sıkılık (medium mesh) seçeneğiyle oluşturulmuştur.

3.2.1.5.5. Başlangıç Gerilmelerinin Oluşturulması

Geoteknik mühendisliğinde birçok problemde başlangıç gerilmelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Zemin ağırlığından dolayı oluşan bu gerilmeler, örselenmemiş zeminin denge durumunu yansıtmaktadır. PLAXIS programında,

başlangıç gerilmelerinin analizi K_0 prosedürü ve ağırlık yüklemesi (gravity loading) yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. K_0 prosedürü, sadece zemin yüzeyinin yatay ve su seviyesinin yüzeye paralel olduğu durumlarda geçerli olmaktadır. Diğer tüm durumlarda ağırlık yüklemesi yöntemi kullanılmalıdır (Şekil 3.24.).



Şekil 3.24. Ağırlık Yüklemesinin Geçerli Olduğu Durumlar

Başlangıç gerilmelerinin analizinde, K_0 yönteminin kullanılması durumunda, zeminin kendi ağırlığından dolayı meydana gelen düşey gerilmeler oluşturulmakta, yatay gerilmeler ise zemin basınç katsayısı K_0 değeri kullanılarak hesaplanmaktadır. K_0 yatay ve düşey gerilmelerin oranı olarak tanımlanmaktadır:

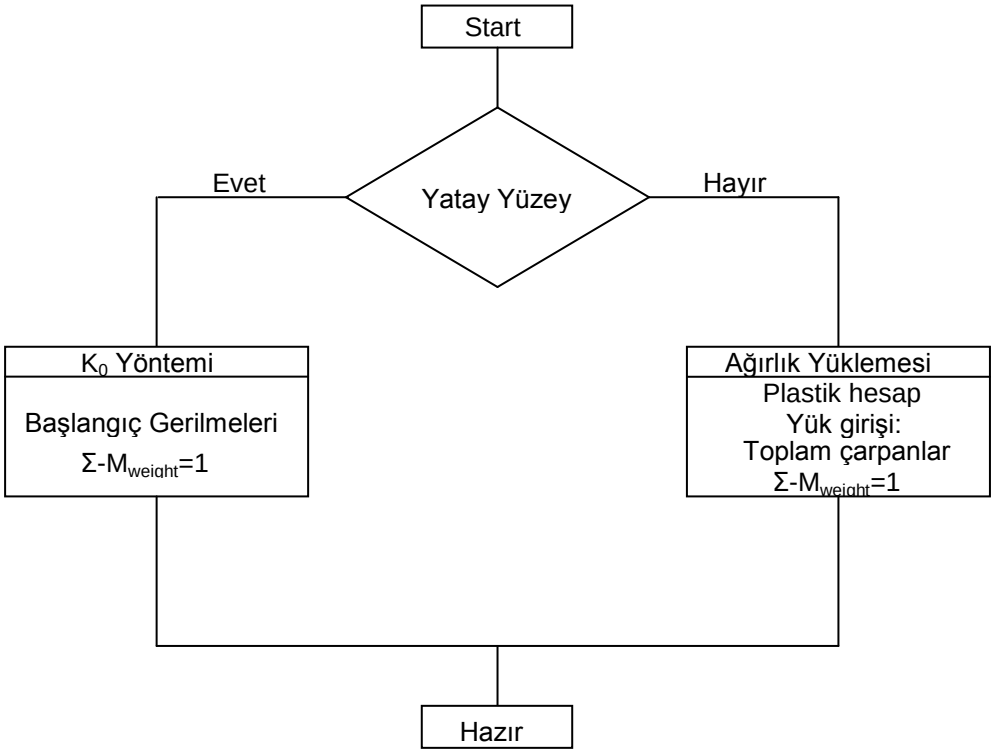
$$K_0 = \frac{\sigma_x}{\sigma_y} \tag{3.1}$$

K_0 değeri, normal konsolide zeminlerde, Jacky tarafından önerilen içsel sürtünme açısına bağlı ampirik bir bağıntıyla hesaplanabilmektedir:

$$K_0 = 1 - \sin\phi \tag{3.2}$$

Ağırlık yüklemesi yönteminde ise, başlangıç gerilmeleri sıfır olmaktadır. Başlangıç gerilmeleri sonradan, zeminin kendi ağırlığının ilk hesap aşamasında uygulanmasıyla oluşturulmaktadır (Şekil 3.25.).

Analizlerde, problemin yatay olmayan zemin yüzeylere sahip olmasından dolayı (şevli yüzey), başlangıç gerilmeleri oluşturulurken ağırlık yüklemesi yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3. 25. Zemin ağırlığından dolayı oluşan başlangıç gerilmeleri için hesap şeması

3.2.1.5.6. Hesaplamalar

Analizlerde çözüm aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle zemin ağırlığından dolayı başlangıç gerilmeleri oluşturulmuş, sonraki aşamalarda ise varsa yük aktif hale getirilerek plastik çözüm yapılmış, son aşamada ise güvenlik sayısı analizi gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Rocscience Slide Programı

Çalışmada kullanılan Slide programı limit durum yöntemine göre kaya ve zeminlerde iki boyutlu şev stabilite analizi yapılmasını sağlar. Slide programında Spencer,Morgenstern-Price gibi titiz yöntemlerin yanında, basitleştirilmiş Bishop, düzeltilmiş/basitleştirilmiş Janbu, Fellenius, Lowe-Karafiath gibi yaklaşık yöntemlerle de analizler yapılabilir. Ayrıca kaya kütlelerinin dayanım ve deformasyon gibi özelliklerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Hoek-Brown yenilme kriteri ile de şevlerde güvenlik sayısı analizi gerçekleştirebilmektedir. Programda en kritik kayma daireleri kullanıcı tarafından noktasal olarak tanımlanabileceği gibi, seçilen bir bölgedeki veya tanımlanan aralık için tüm sistemdeki kritik kayma daireleri ve güvenlik faktörleri görülebilir (Rocscience 2011).

3.2.2.1. Geometrik Modelin Oluşturulması

Programda geometrik model şev problemine uygun olarak iki boyutlu koşullarda oluşturulmuştur.

3.2.2.2. Malzeme Özellikleri

3.2.2.2.1. Model Zemin

Arazide yapılan incelemeler sonucu ele alınan kritik kesitlerde, kumtaşı kiltaşı ardalanmalı birimler için Genelleştirilmiş Hoek-Brown, yamaç molozu ve dolgu birimlerinde ise Mohr-Coulomb malzeme modelleri kullanılmıştır. Analizlerde kullanılan model zemin parametreleri tüm kesitler için çizelge 3.10.'da görülmektedir.

Çizelge 3.10. Model zemin için malzeme parametreleri

Parametre	**Kumtaşı-Kiltaşı Ardalanması**		**Yamaç Molozu**		**Dolgu**
	A-A' Kesiti	**B-B' Kesiti**	**C-C' Kesiti**	**D-D' Kesiti**	
Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı, (kPa)	15510	10800	-	-	-
Jeolojik Dayanım İndeksi, GSI	26	22	-	-	-
Kohezyon, c (kN/m^2)	-	-	12	12	30
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)	-	-	31	31	35
Mi Parametresi	10,20	6,80	-	-	-
Birim Hac. Ağ., γ (kN/m^3)	25,13	23,85	18,69	18,69	20,00
Örselenme Faktörü, D	0,70	0,50	-	-	-

3.2.2.2.2. Model Kazıklar

Ele alınan kesitlerde şevin iyileştirmesine yönelik olarak pasif fore kazıklar düşünülmüştür. Analizlerde, betonarme fore kazıklar "support eleman" olarak modellenmiştir.

3.2.2.2.3. Model İstinat Duvarı

Şevin iyileştirmesine yönelik düşünülen diğer yöntemde, betonarme istinat duvarları her kesit için farklı yükseklik ve ebatlarda modellenmiştir. İstinat duvarlarında yeterli rijitliğe ulaşmak için program tarafından önerilen uygun değerler alınmıştır.

3.2.2.3. Hesaplamalar

Ele alınan tüm kesitlerde, statik, dinamik ve yeraltı suyu koşullarında hesaplanan güvenlik sayıları Bishop yöntemine göre elde edilmiştir.

3.2.3. İstcad Programı

Çalışma kapsamında İstCAD 6.0 yazılımı kullanılarak şev iyileştirmesine yönelik tüm kesitlerde istinat yapısı ve pasif fore kazık analizleri gerçekleştirilmiştir. Yazılım, 'TS 7994 Zemin Dayanma Yapıları' yönetmeliğine uygun olarak çözüm yapmakta ve yapılması zorunlu olan, zemin taşıma gücü, kayma tahkiki, devrilme tahkiki ve istinat yapılarının toptan göçme analizlerini gerçekleştirmektedir. Program depremli ve depremsiz durumları gözönüne alarak betonarme kesit hesaplarını da yönetmeliğe uygun olarak yapmaktadır. Analizlerde, model zemin parametreleri olarak laboratuvar deneylerinden elde edilen değerler kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, inceleme alanında seçilen dört kesit bölgesinde Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak mevcut durum için stabilite analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, statik durum, dinamik durum ve yeraltı suyu durumları gözönüne alınmıştır. Dinamik durumda şev modeline, 1. derece deprem bölgesi için etkin yer ivmesi değeri A_o = 0,40 alınmış, yeraltı suyu durumu için ise şevin tamamen su altında olduğu koşullar ele alınmıştır. Mevcut durum için gerçekleştirilen stabilite analizlerinden sonra, şevin iyileştirmesine yönelik pasif fore kazık ve betonarme istinat duvarı modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1. A-A' Kesitinin Stabilite Analizi

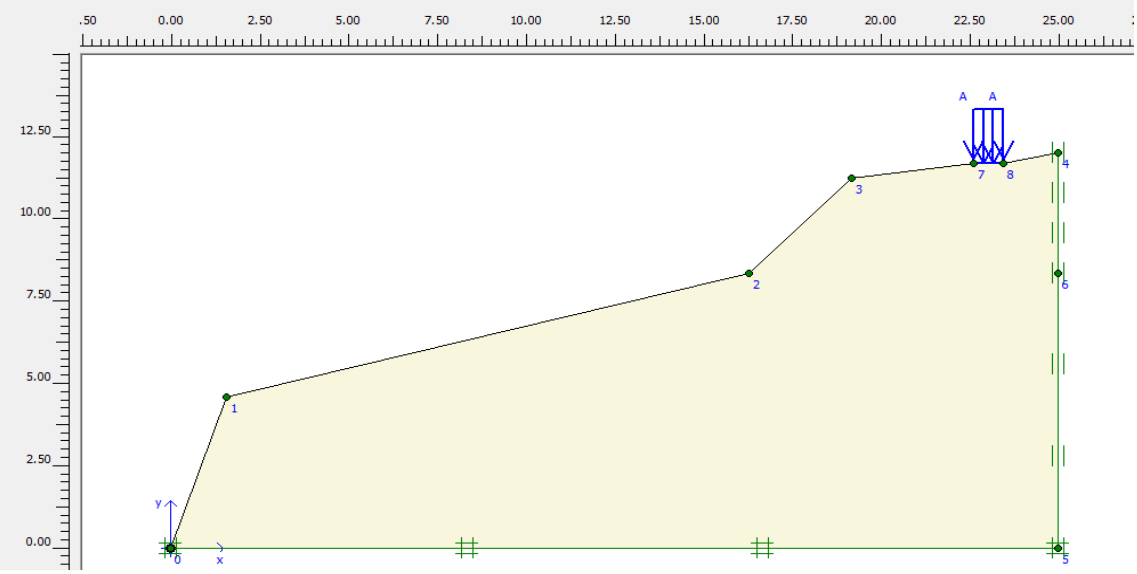
Genel olarak kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan heterojen birimler için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.1.'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. A-A' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları

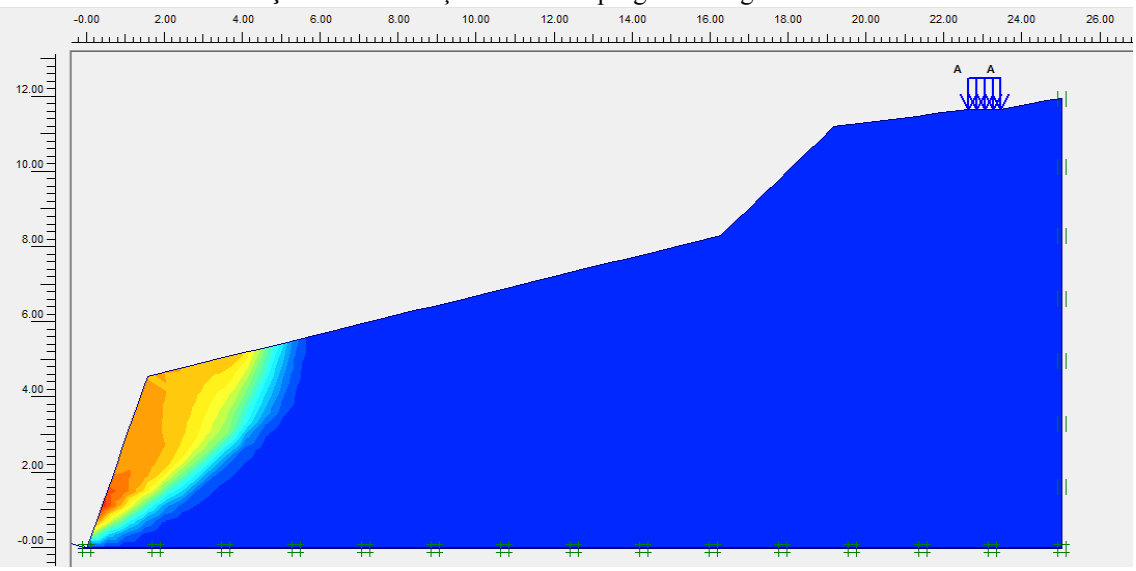
	Statik Durum	**Depremli Durum**	**YASS**
Plaxis 7.2	2,21	1,00	1,25 >
Slide 5.v	1,70	0,93	1,00

Güvenlik sayıları incelendiğinde, Plaxis analizleri sonucunda elde edilen değerlerin Slide analizleri ile elde edilen değerlere yakın olduğu görülmektedir. Mevcut şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının her iki programda da 1,50 değerinden büyük olduğundan stabil olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Slide programı ile yapılan analizlere göre dinamik koşulda ve yeraltı suyu koşulunda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından, Plaxis analizlerinde ise yeraltı suyu koşulunda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından ve dinamik durumda sınır değerde olduğundan şevin stabilite probleminin olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

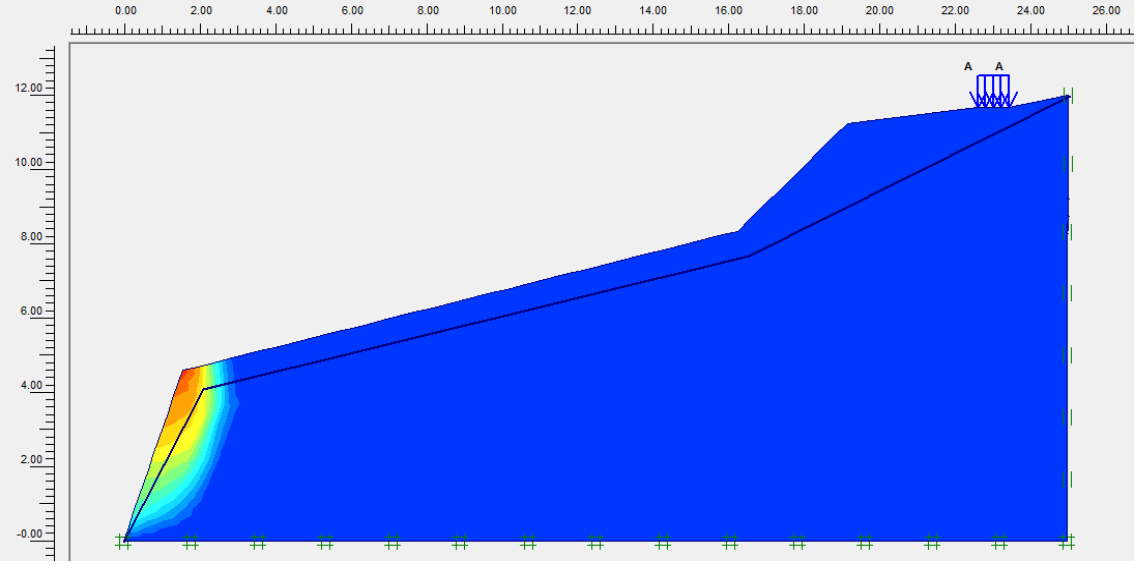
Analizlerde kullanılan kesit şekil 4.1. ve şekil 4.5.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen kayma yüzeyleri incelendiğinde (Şekil 4.2.,4.3.,4.4.,4.6.,4.7. ve 4.8.) şevdeki zorlanmaların genelde topuk bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.



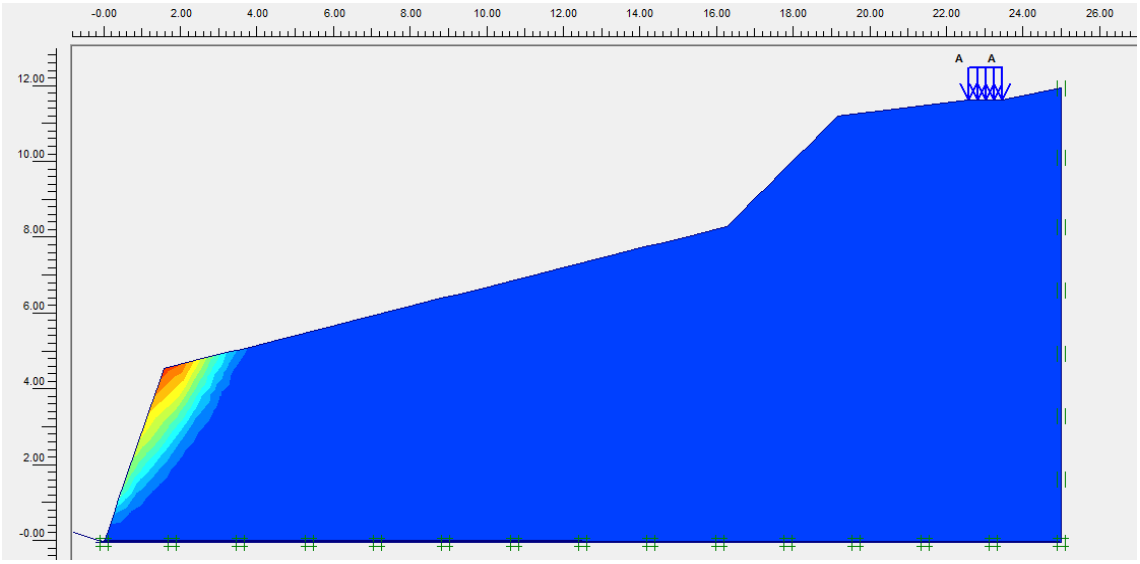
Şekil 4.1. A-A' şevinin Plaxis programında genel kesiti



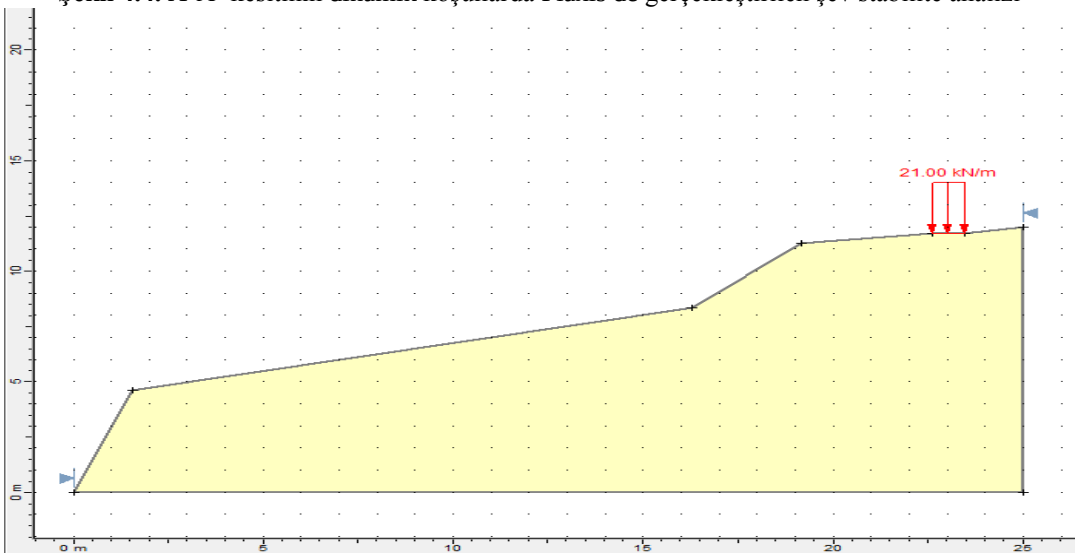
Şekil 4.2. A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



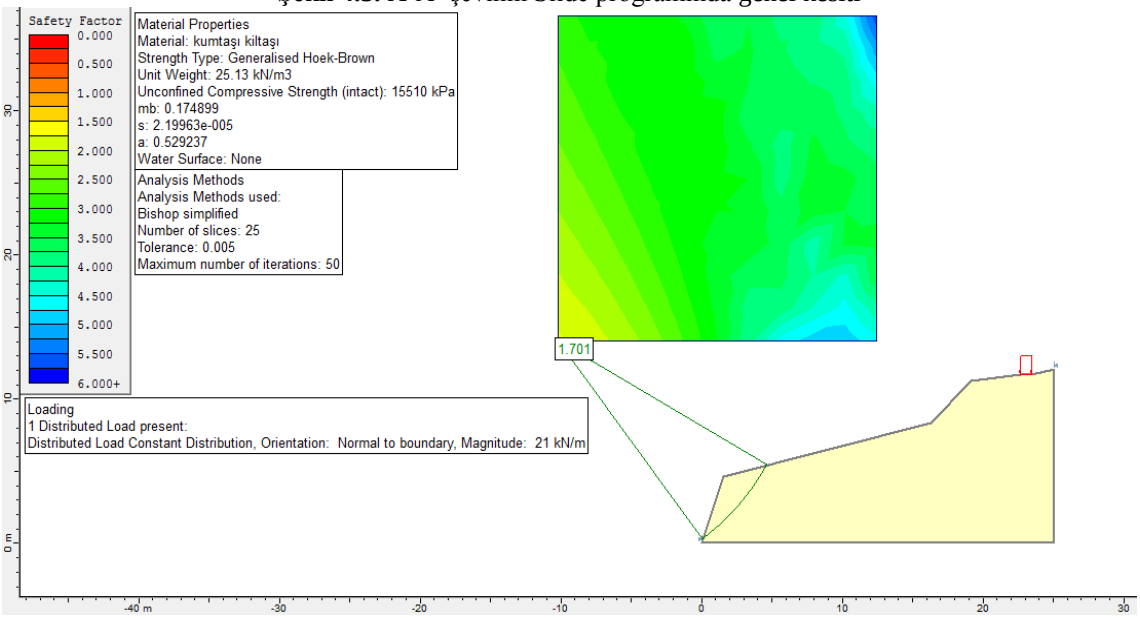
Şekil 4.3. A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



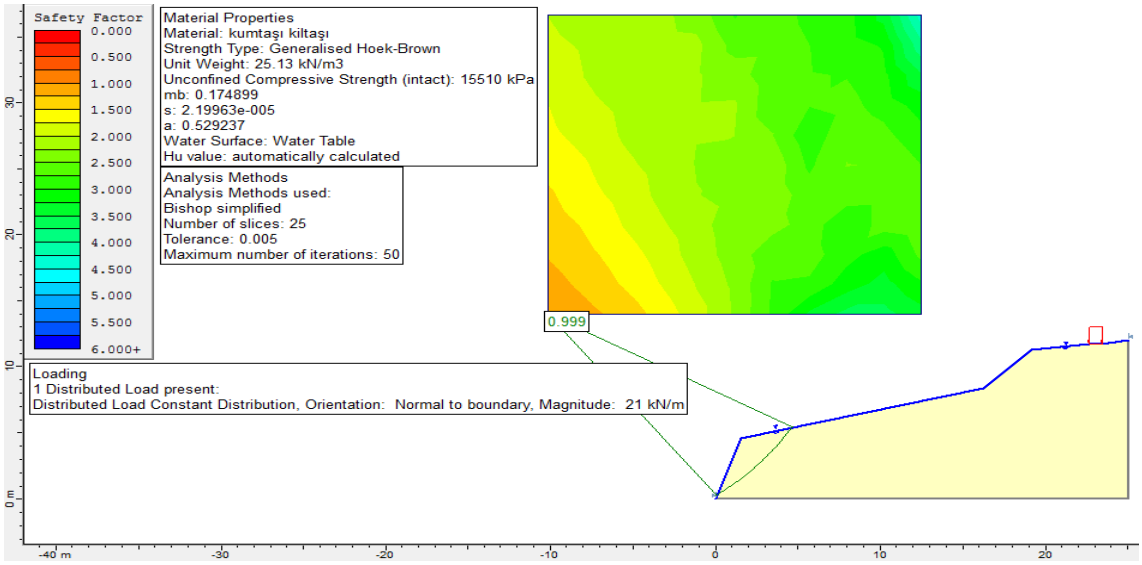
Şekil 4.4. A-A' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



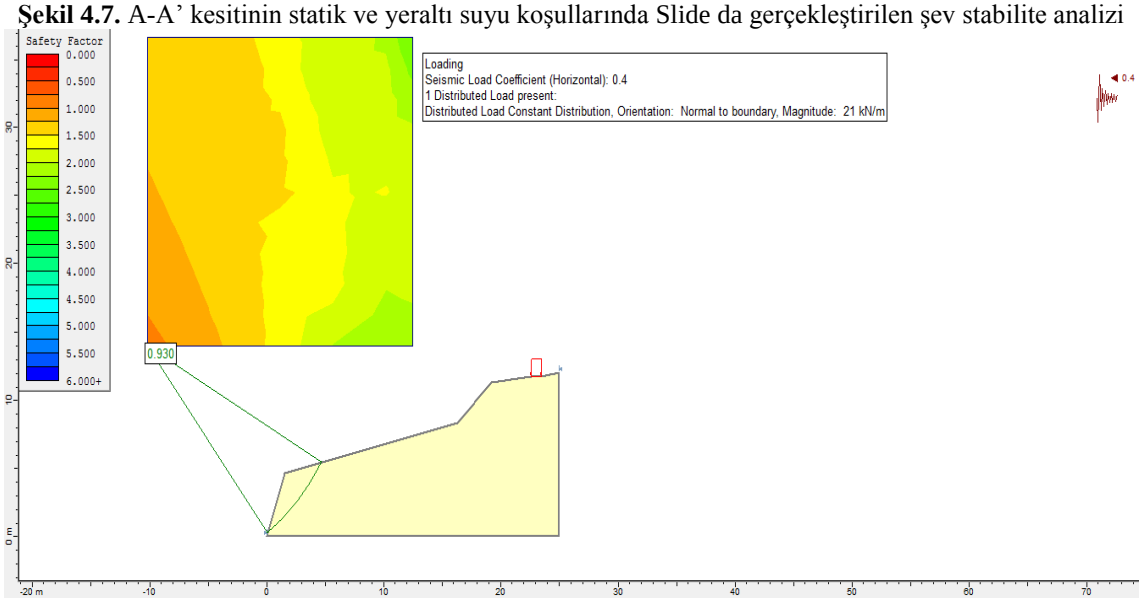
Şekil 4.5. A-A' şevinin Slide programında genel kesiti



Şekil 4.6. A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.7. A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.8. A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.2. B-B' Kesitinin Stabilite Analizi

Üst kotları tektonizma nedeniyle deforme olan alt kotları kumtaşı kiltaşı ardalanmasından oluşan heterojen birimler için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.2.'de görülmektedir.

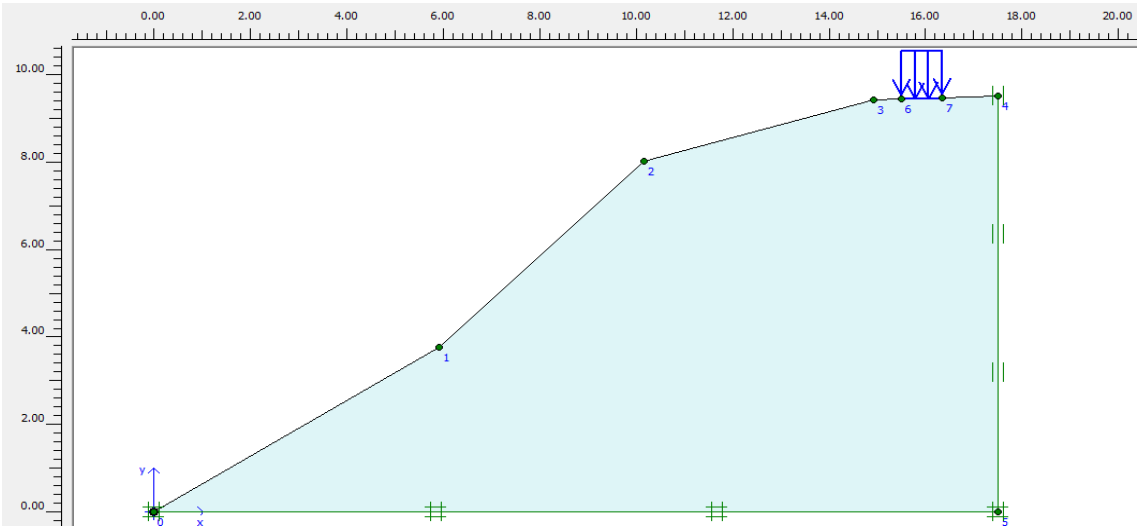
Çizelge 4.2. B-B' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları

	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	1,75	1,00 >	1,25
Slide 5.v	2,10	1,12	1,49

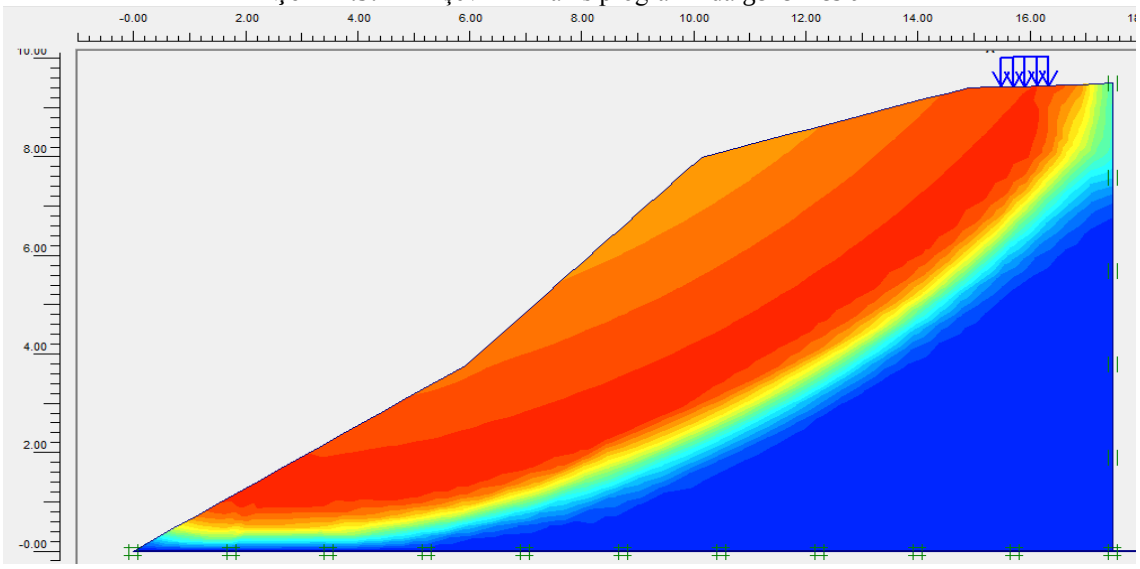
Güvenlik sayıları incelendiğinde, her iki programda birbirlerine yakın güvenlik sayısı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Mevcut şevin statik ve kuru koşullarda

güvenlik sayısının her iki programda da 1,50 değerinden büyük olduğundan stabil olduğu anlaşılmaktadır. Ancak Slide programı ile yapılan analizlere göre dinamik koşulda sınır değerde olduğu, Plaxis analizlerinde ise dinamik durumda yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından ve yeraltı suyu koşulunda sınır değerde olduğundan şevin stabilite probleminin olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

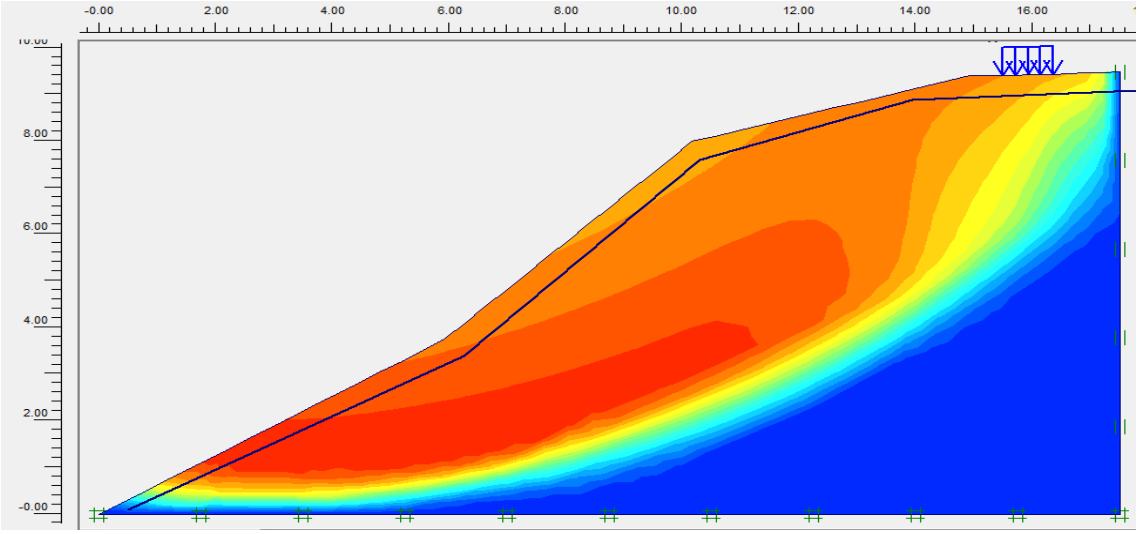
Analizlerde kullanılan kesit şekil 4.9. ve şekil 4.13.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen kayma yüzeyleri incelendiğinde şevdeki zorlanmaların derinsel olduğu görülmektedir. (Şekil 4.10., 4.11.,4.12., 4.14.,4.15., ve 4.16.)



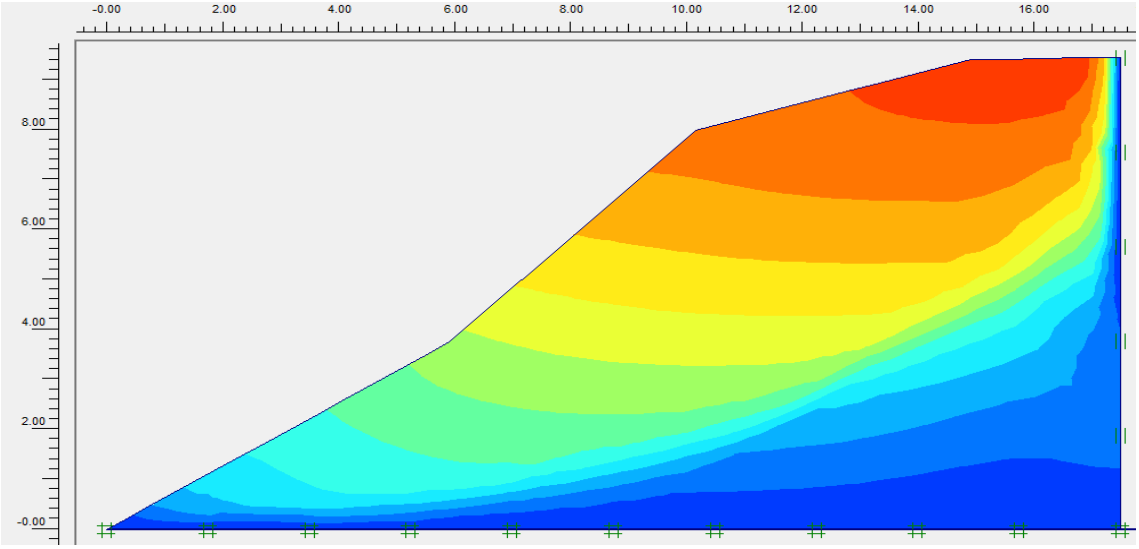
Şekil 4.9. B-B' şevinin Plaxis programında genel kesiti



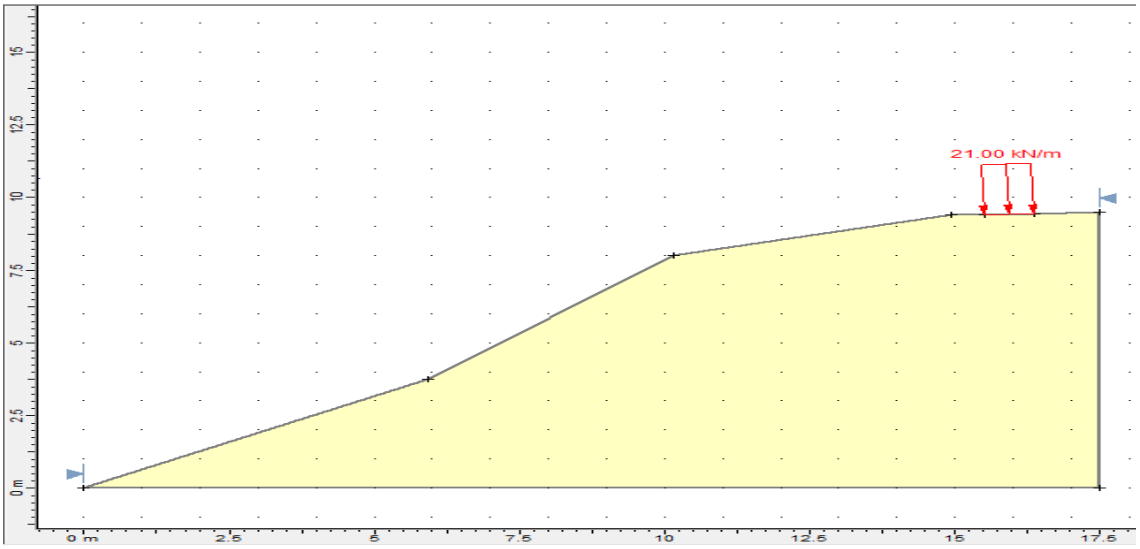
Şekil 4.10. B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



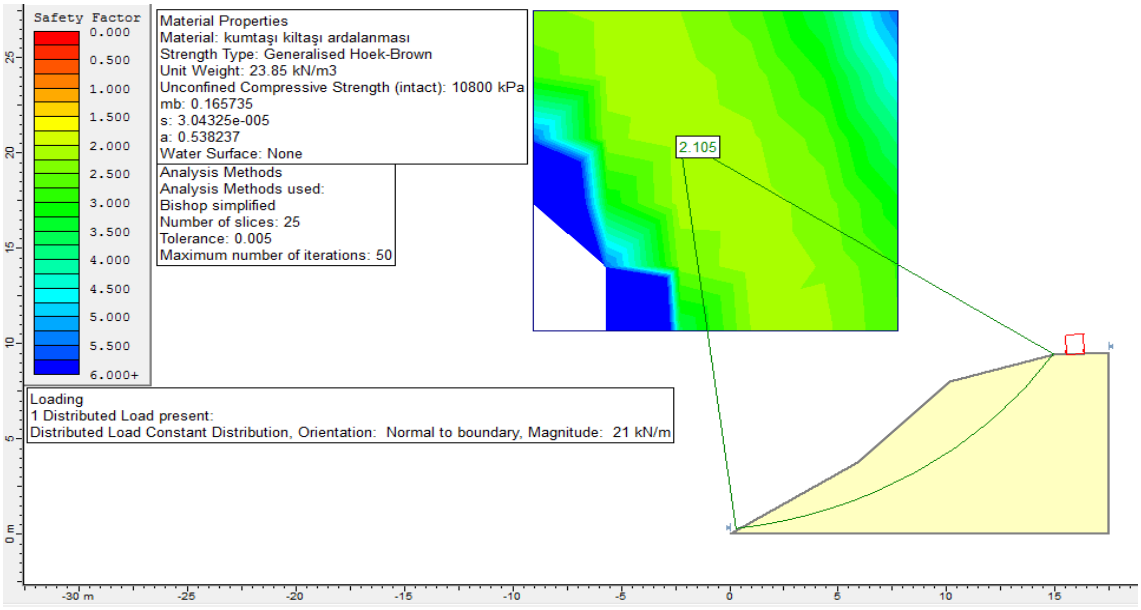
Şekil 4.11. B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



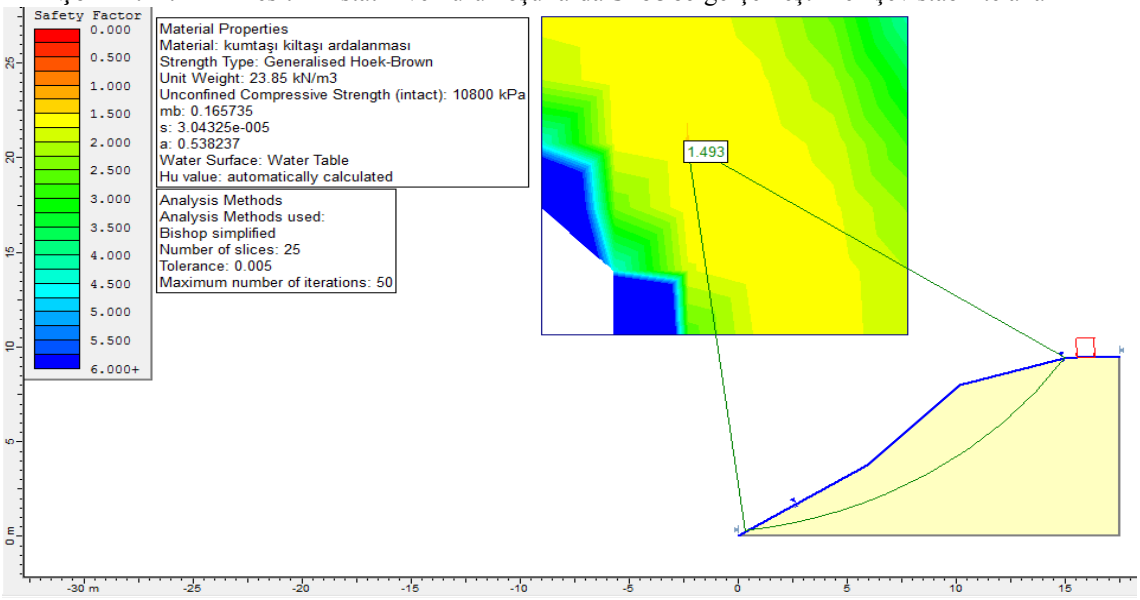
Şekil 4.12. B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



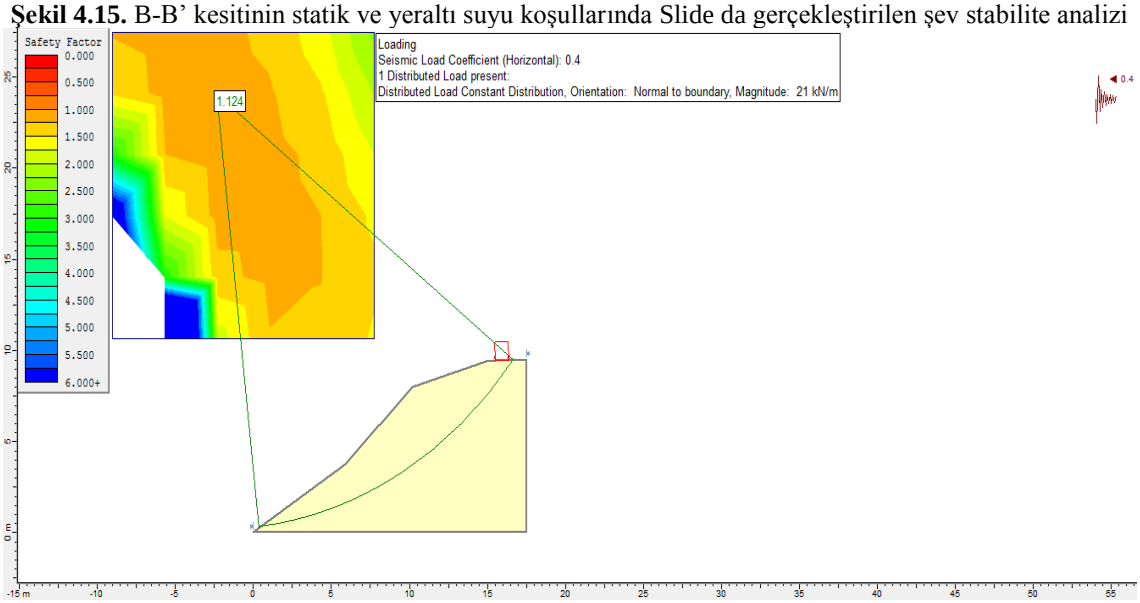
Şekil 4.13. B-B' şevinin Slide programında genel kesiti



Şekil 4.14. B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.15. B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.16. B-B' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.3. C-C' Kesitinin Stabilite Analizi

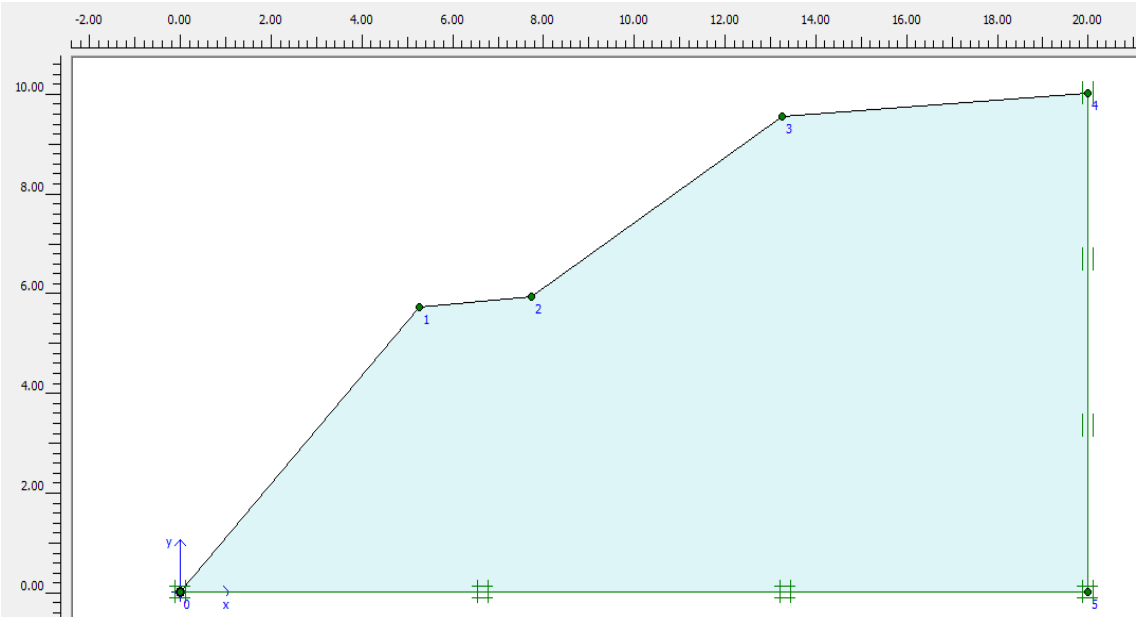
Yamaç molozu olarak tanımlanan kumlu yer yer çakıllı kilden oluşan birim için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.3.'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. C-C' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları

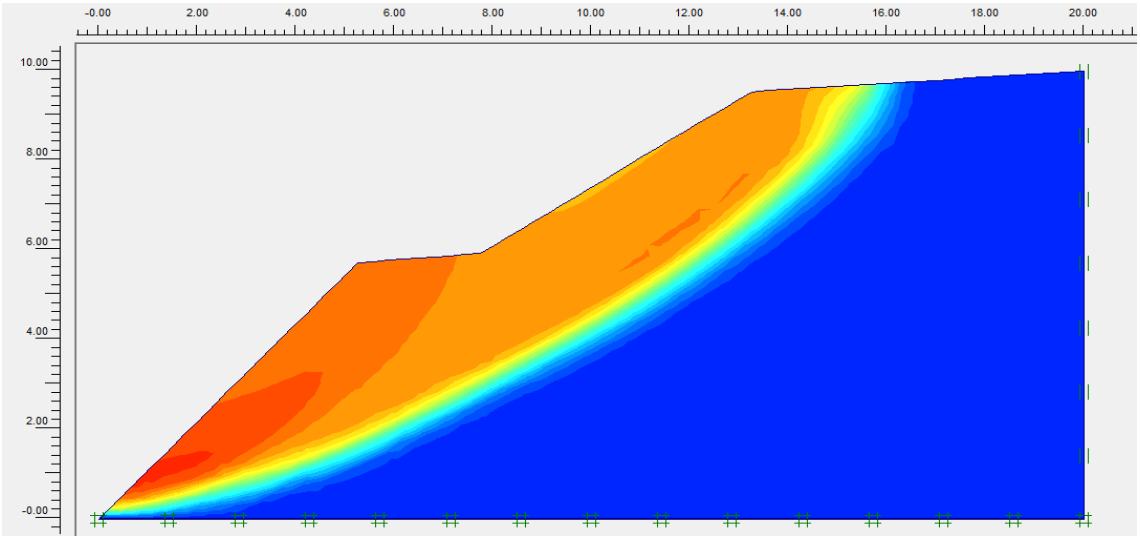
	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	1,57	1,00 >	1,25 >
Slide 5.v	1,69	0,90	1,13

Güvenlik sayıları incelendiğinde, Her iki programda da mevcut şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının sınır değerde olmasından ve diğer koşullarda (yeraltı suyu ve dinamik) yeterli güvenlik sayısına ulaşılmadığından şev stabilite sorunu olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

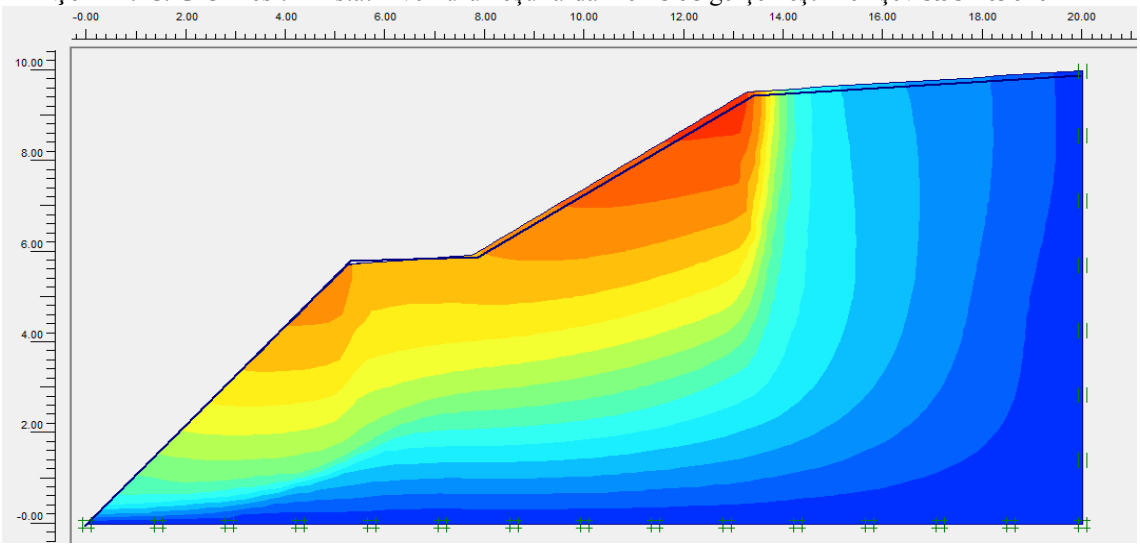
Analizlerde kullanılan kesit şekil 4.17. ve şekil 4.21.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen kayma yüzeyleri incelendiğinde şevdeki zorlanmaların statik ve kuru koşullarda genelde topuk bölgesinde ve daha yüzeysel olduğu (Şekil 4.18. ve 4.22.), yeraltı suyu ve dinamik koşullarda ise derinselleştiği görülmektedir. (Şekil 4.19., 4.20.,4.23. ve 4.24.)



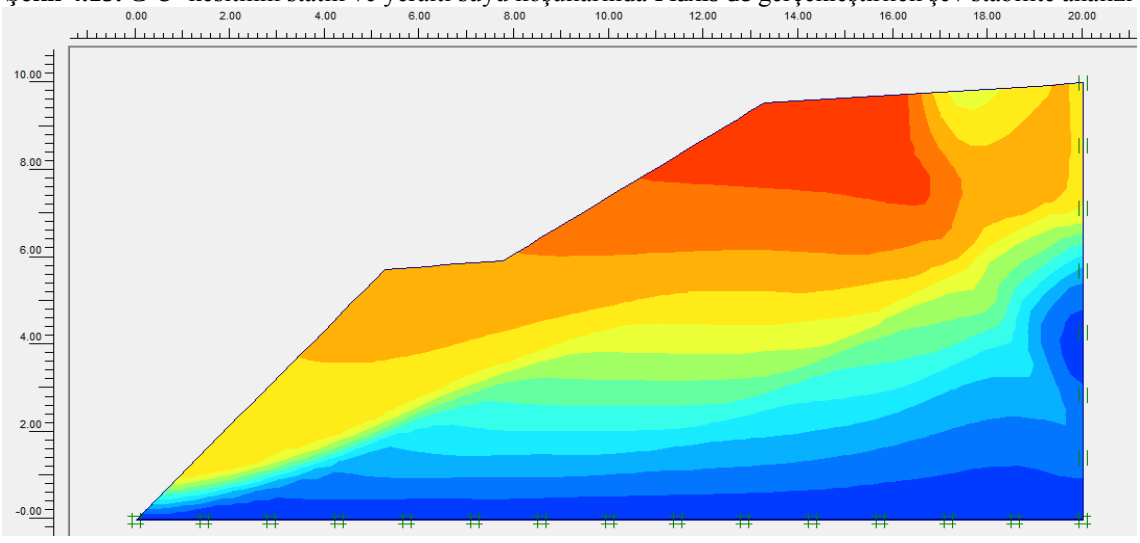
Şekil 4.17. C-C' şevinin Plaxis programında genel kesiti



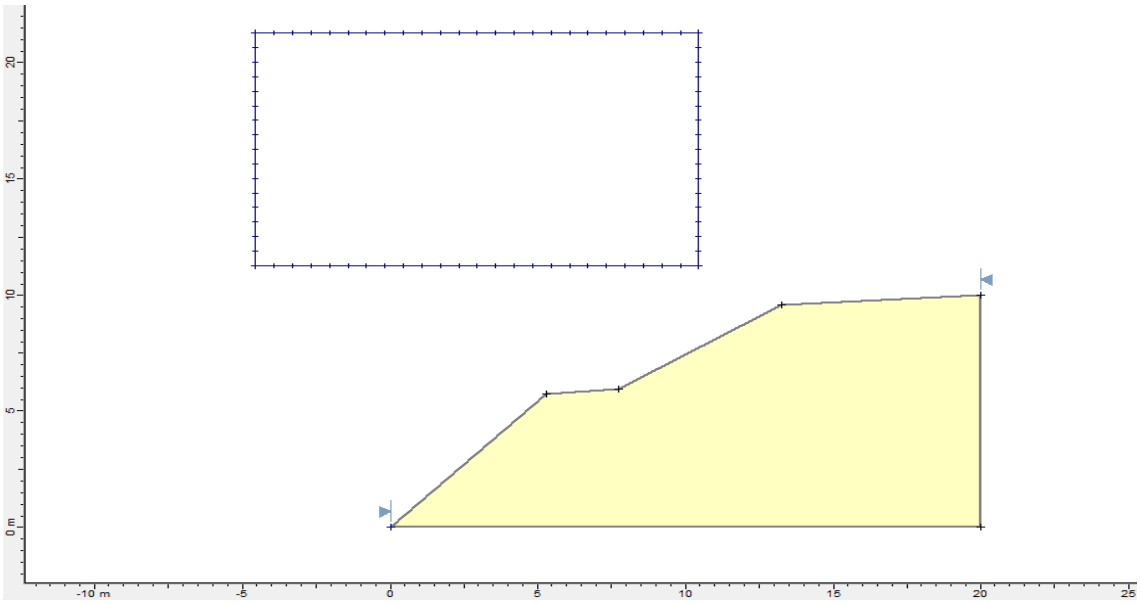
Şekil 4.18. C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



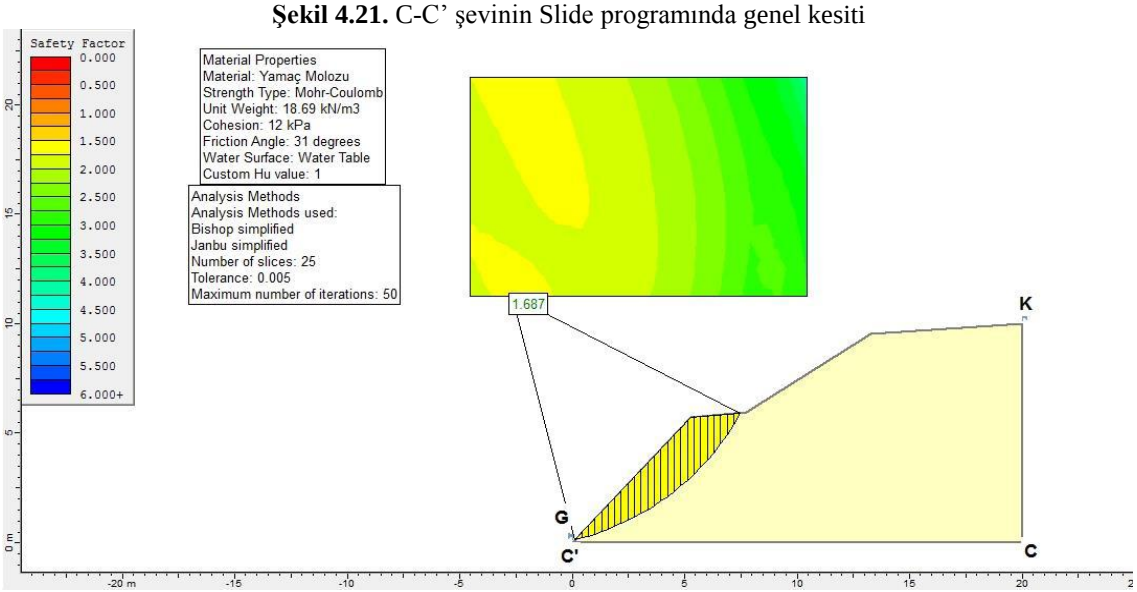
Şekil 4.19. C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



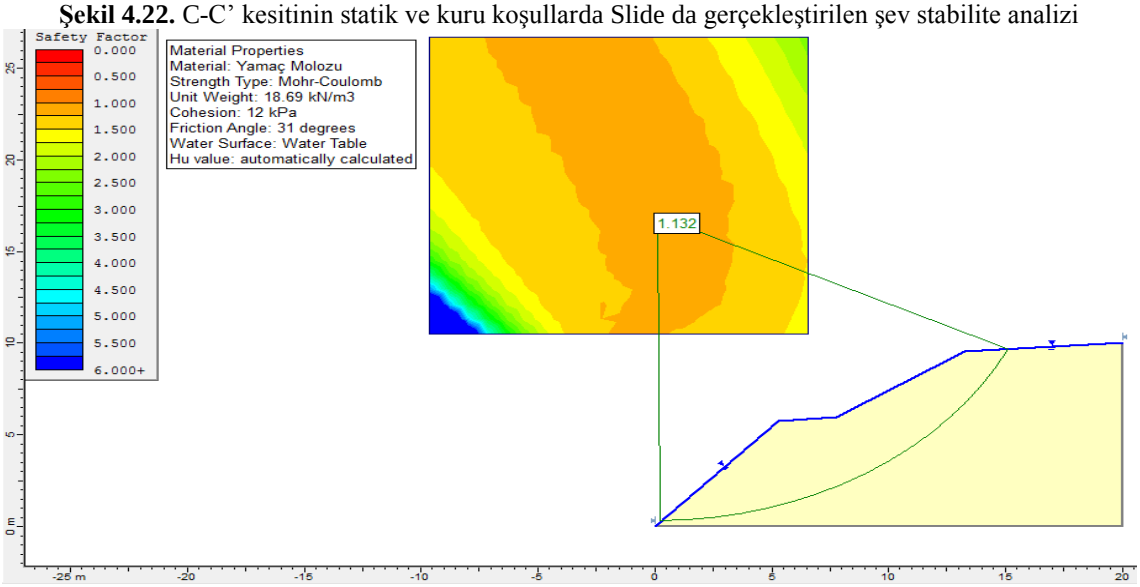
Şekil 4.20. C-C' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



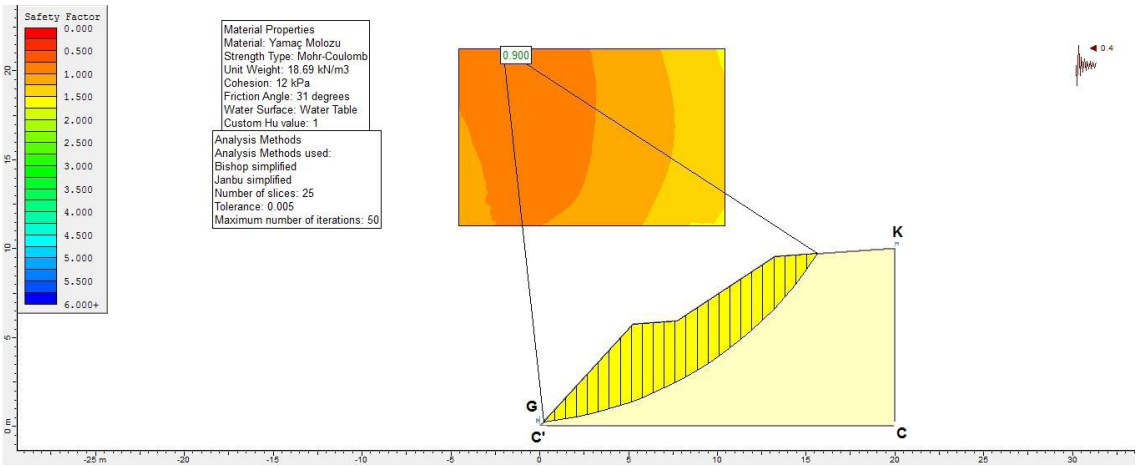
Şekil 4.21. C-C' şevinin Slide programında genel kesiti



Şekil 4.22. C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.23. C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.24. C-C' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.4. D-D' Kesitinin Stabilite Analizi

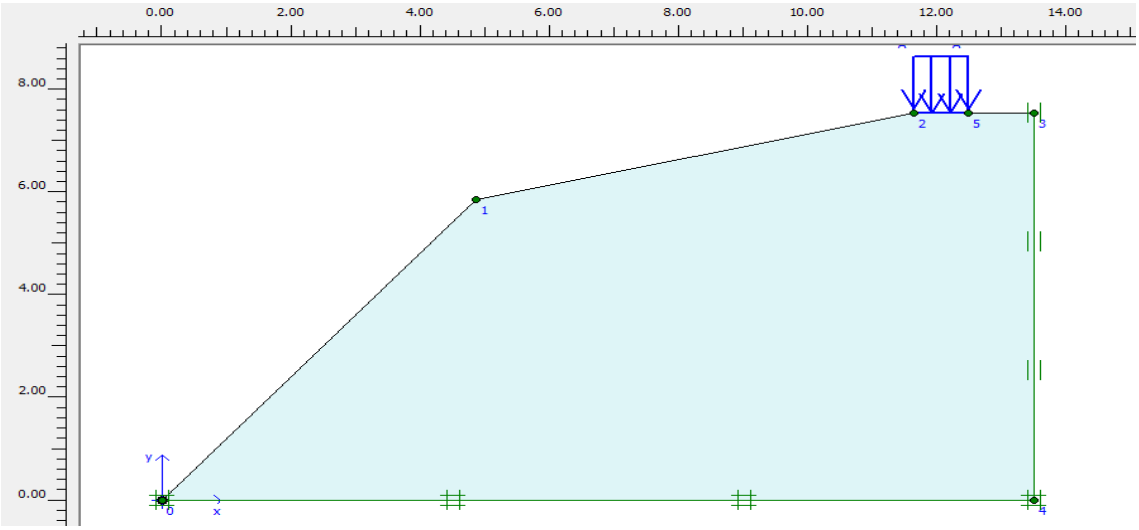
Yamaç molozu olarak tanımlanan kumlu yer yer çakıllı kilden oluşan birim için Plaxis 7.2 ve Slide 5.v programları kullanılarak gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.4.'te görülmektedir.

Çizelge 4.4. D-D' kesiti için mevcut durumda güvenlik sayıları

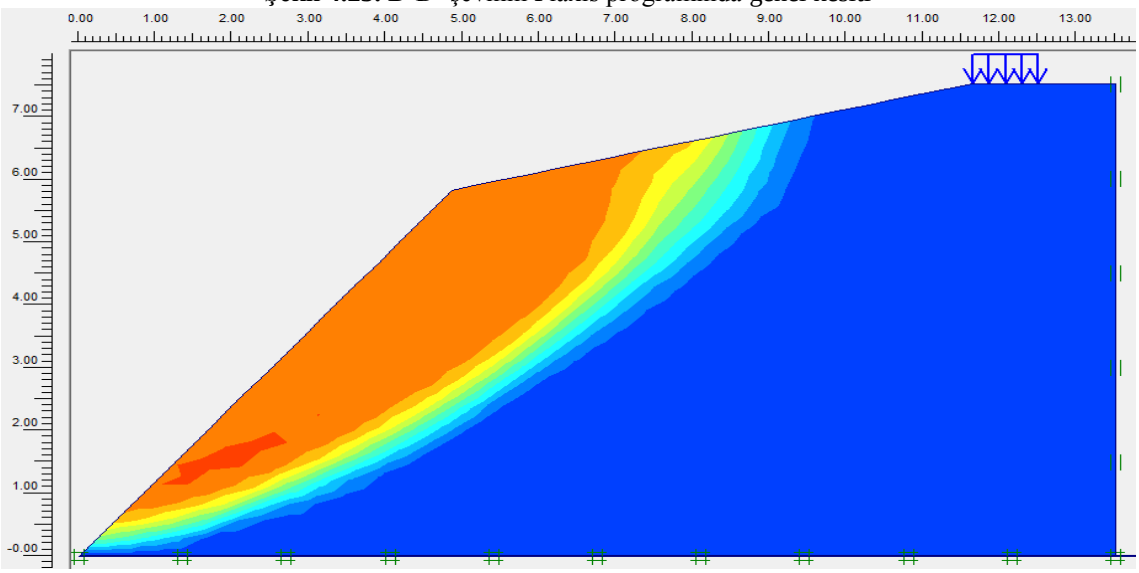
	Statik Durum	**Depremli Durum**	**YASS**
Plaxis 7.2	1,45	1,00 >	1,25 >
Slide 5.v	1,55	0,93	1,10

Güvenlik sayıları incelendiğinde, Slide programında şevin statik ve kuru koşullarda güvenlik sayısının sınır değerde olduğu, yeraltı suyu ve dinamik koşularda ise yeterli güvenlik sayısına ulaşmadığı, Plaxis programında ise her üç koşulda yeterli güvenlik sayısına ulaşmadığı anlaşılmaktadır. Bu nedenle modelin destek ve dizayn değişikliğine ihtiyacı olduğu tespit edilmiştir.

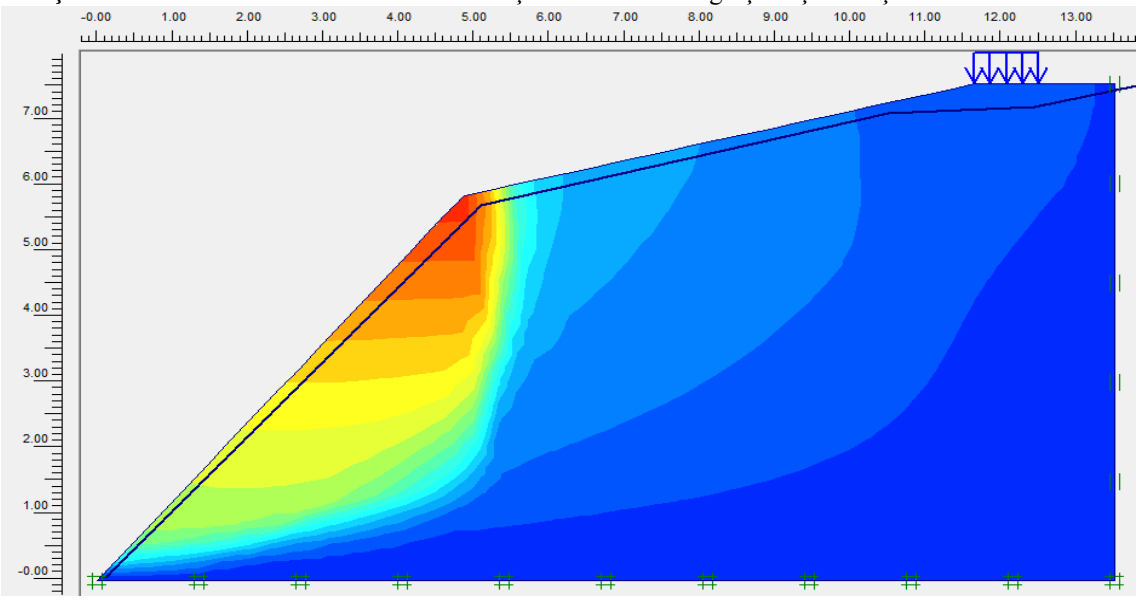
Analizlerde kullanılan kesit şekil 4.25. ve şekil 4.29.'da görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen kayma yüzeyleri incelendiğinde şevdeki zorlanmaların genelde topuk bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 4.26.,4.27.,4.28.,4.30.,4.31. ve 4.32.).



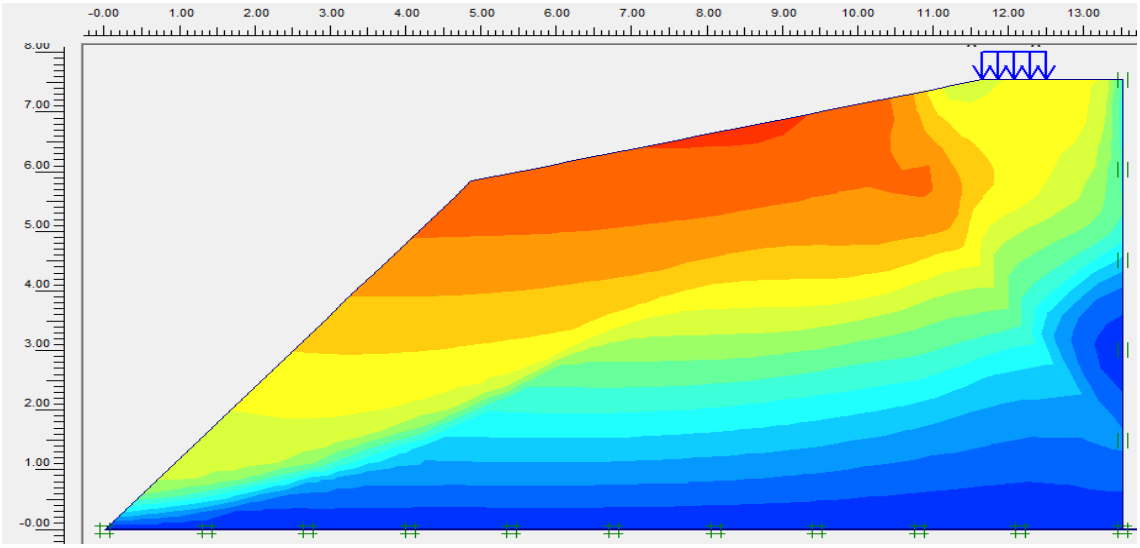
Şekil 4.25. D-D' şevinin Plaxis programında genel kesiti



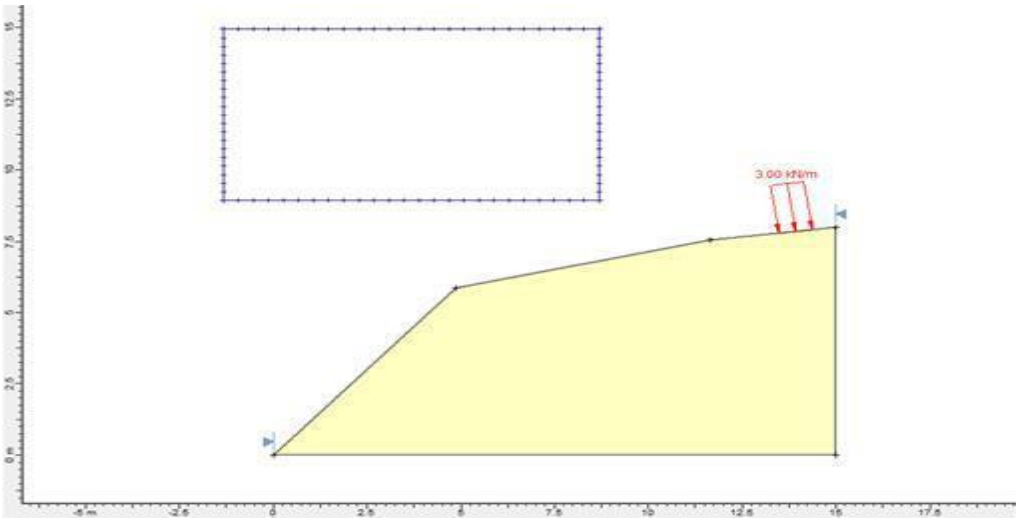
Şekil 4.26. D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



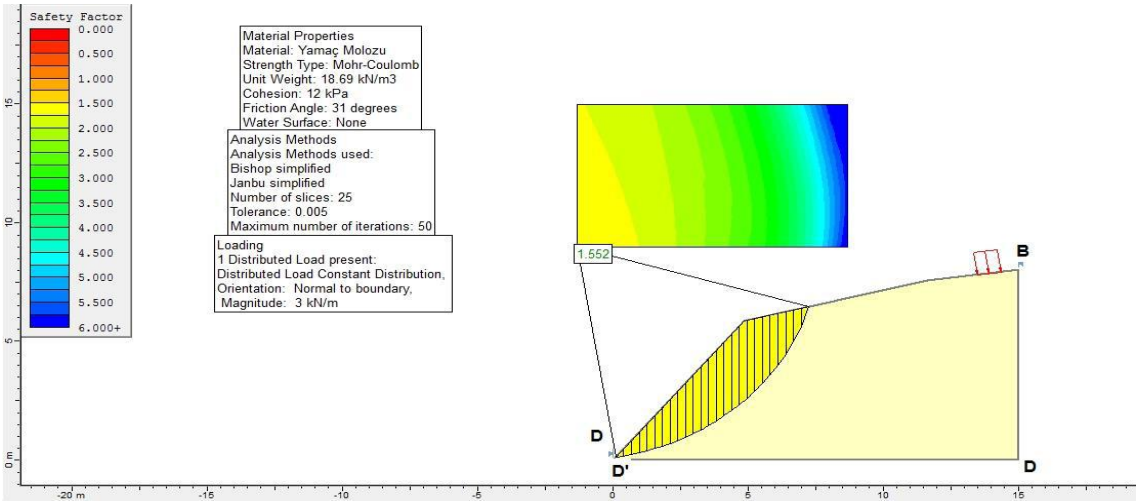
Şekil 4.27. D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



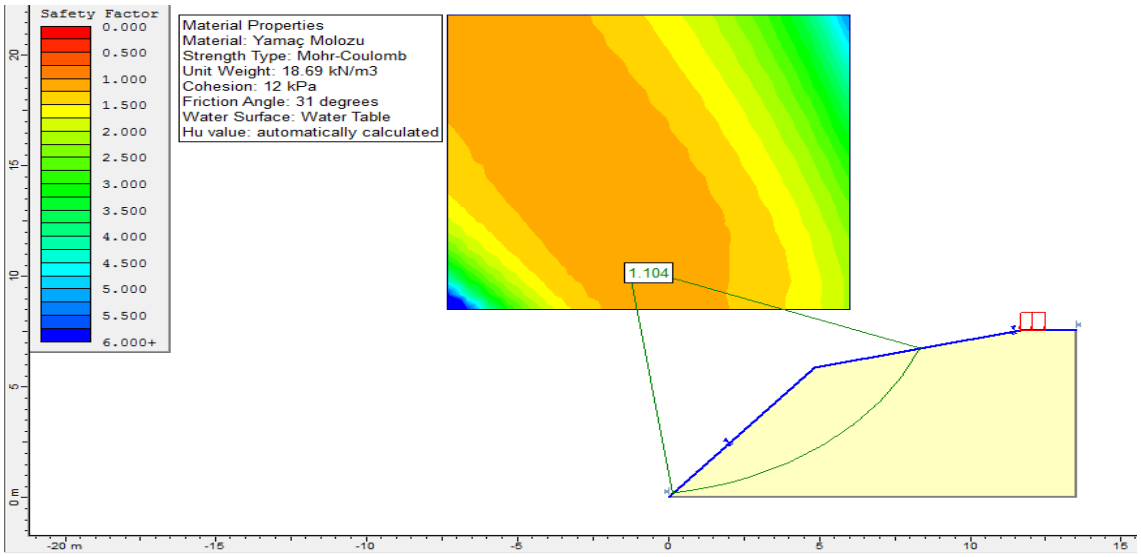
Şekil 4.28. D-D' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



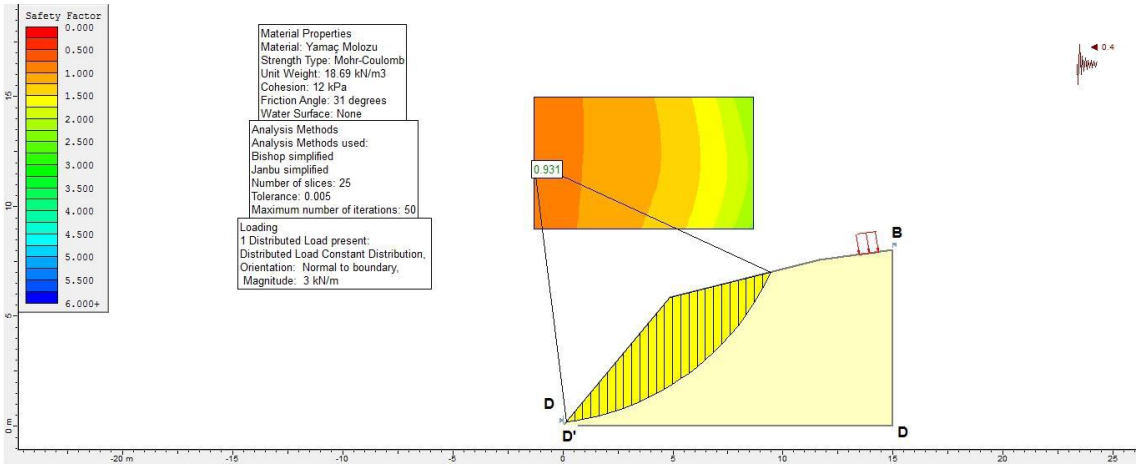
Şekil 4.29. D-D' şevinin Slide programında genel kesiti



Şekil 4.30. D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.31. D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.32. D-D' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi

İnceleme alanında seçilen dört kesit bölgesinin Plaxis ve Slide programlarında yapılan analizlerinde farklı durum koşullarında şev stabilite sorunlarının olduğu tespit edilmiştir. Bu açıdan tüm şevli zemin yüzeylerinde yeterli stabiliteyi sağlamak için iyileştirme projeleri hazırlanmış, bu kapsamda istinat duvarı ve fore kazık projeleri PLAXİS 7.2, SLİDE 5.v ve İSTCAD 6.0 programlarında modellenerek; plaxis ve slide'da statik, dinamik ve şevlerin tamamen suya doygun olduğu koşullar, istcad programında ise statik ve dinamik koşullar göz önüne alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Ardından minimum güvenlik sayıları bakımından birbirine yakın sonuçlar alınan iyileştirme projeleri; ekonomiklik ve uygulanabilirlik açılarından karşılaştırılmıştır.

İstinat duvarı ve alternatif olarak hazırlanan fore kazık projelerinde uygulanacak dolgu için analizler gerçekleştirilirken birim hacim ağırlık 20,00 kN/m^3 kayma

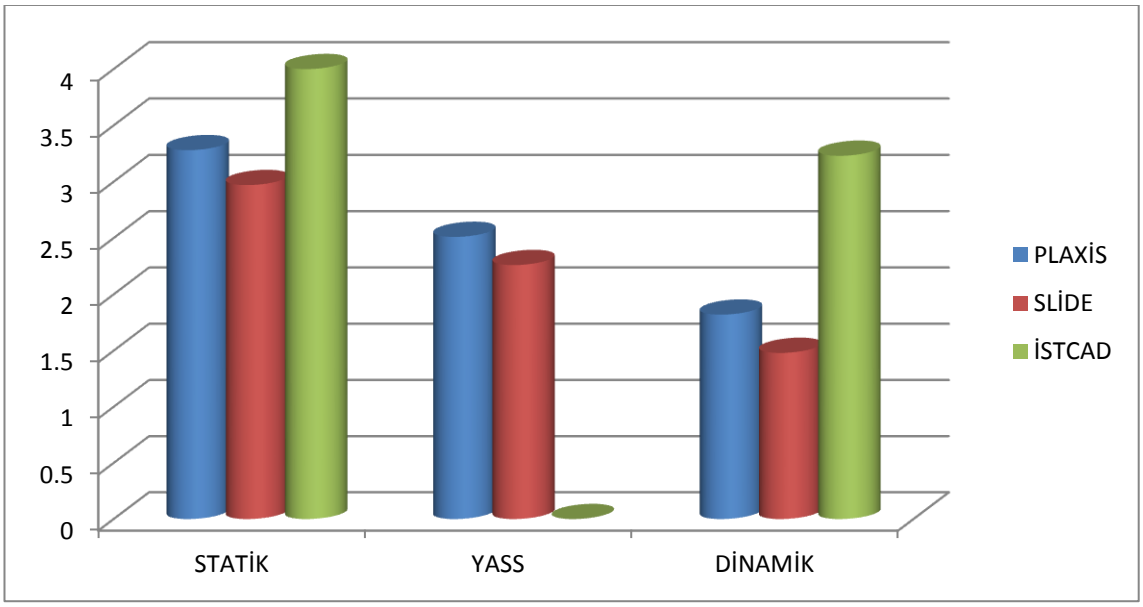
dayanımı parametrelerinden kohezyon (c) 0,030 Mpa ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 35° olarak alınmıştır. Ayrıca analizler sırasında istinat duvarı C25, fore kazık C30 betonu ve çelik sınıfı S420 tercih edilmiştir.

4.5. A-A' Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan istinat duvarlı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.5. ve şekil 4.33.'de görülmektedir.

Çizelge 4.5. A-A' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

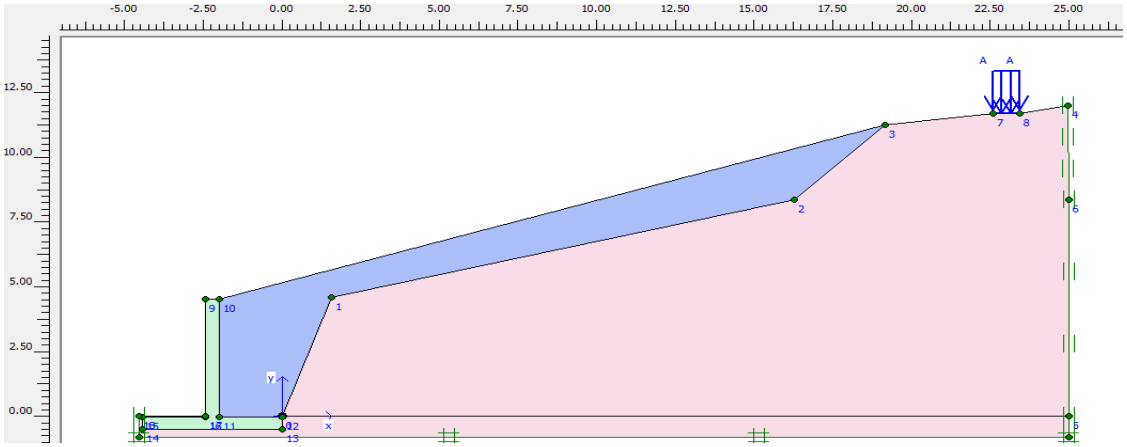
	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	3,28	1,82	2,51
Slide 5.v	2,97	1,48	2,26
İstcad 6.0	4,00	3,23	



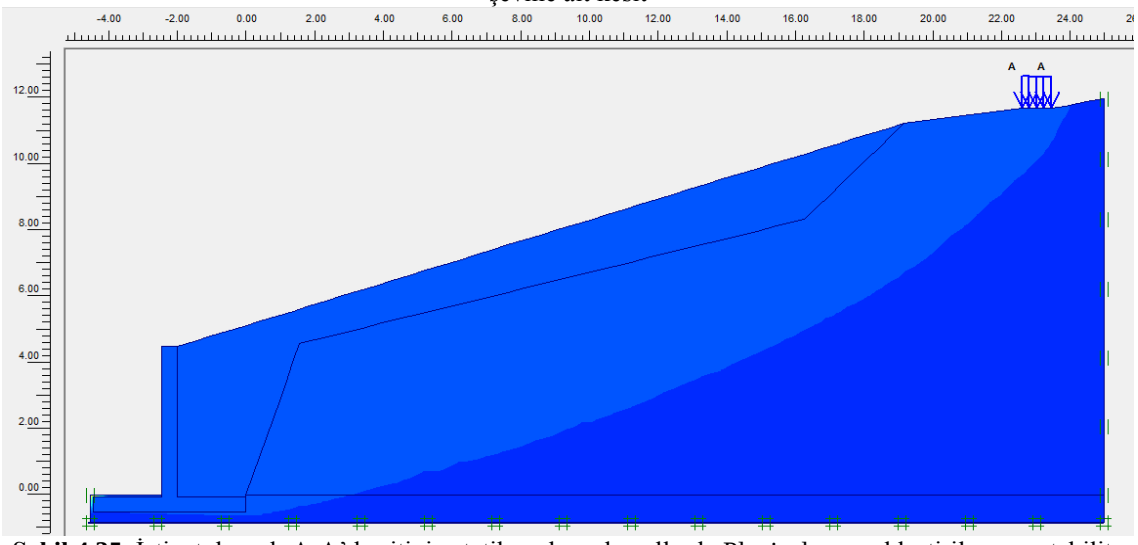
Şekil 4.33. A-A' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

Analizlerde kullanılan istinat duvarlı kesit şekil 4.34. ve şekil 4.39.'da görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Kayma yüzeyleri incelendiğinde; Plaxis programında statik, kuru ve yeraltı suyu koşullarında şevdeki zorlanmaların önemli ölçüde azaldığı (Şekil 4.35. ve Şekil 4.36.), dinamik durumda ise kayma yüzeyinin diğer durum analizlerine göre derinselleştiği (Şekil 4.37.), Slide programında ulaşılan kayma yüzeylerinde statik, kuru ve yeraltı suyu koşullarında istinat duvarı çevresinde yüzeysel olarak oluştuğu (Şekil 4.40. ve Şekil 4.41.), dinamik durumda ise Plaxis programındaki depremli duruma benzer bir kayma yüzeyine sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.42.).

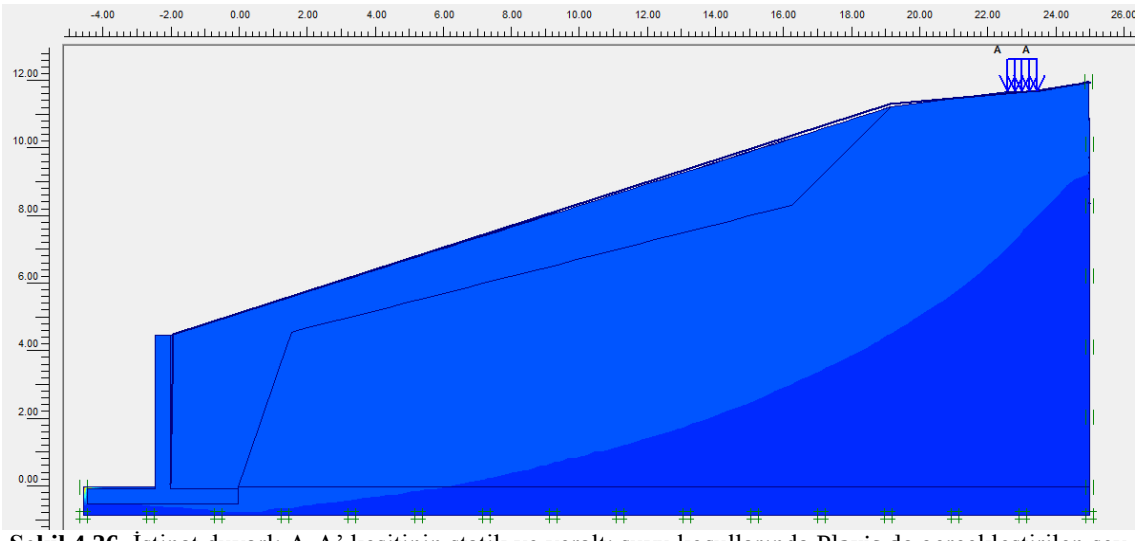
İstcad programında zemin ve duvar parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.43. ve şekil 4.44.'de görülmektedir.



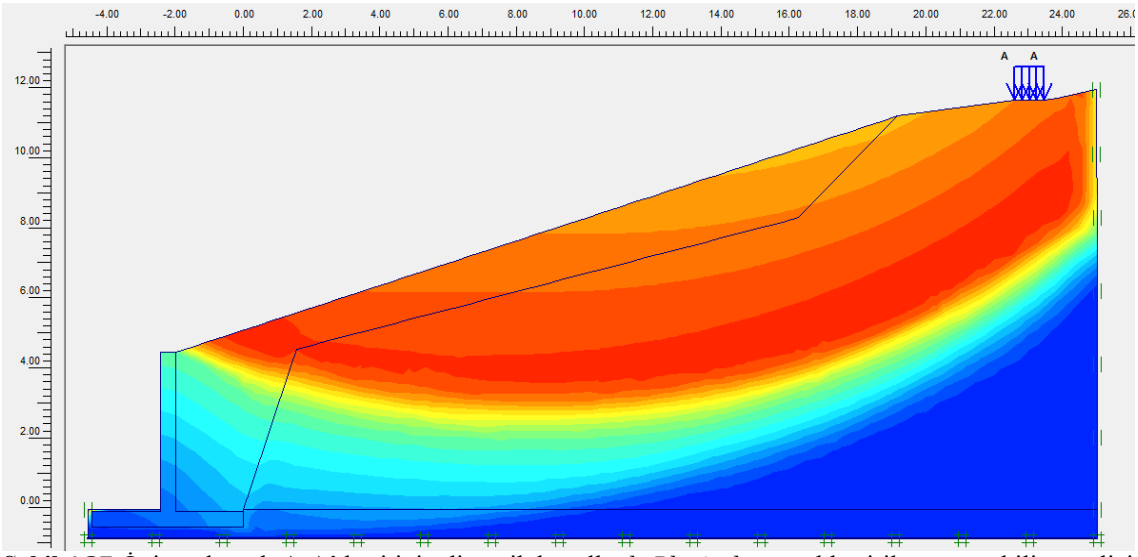
Şekil 4.34. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı A-A' şevine ait kesit



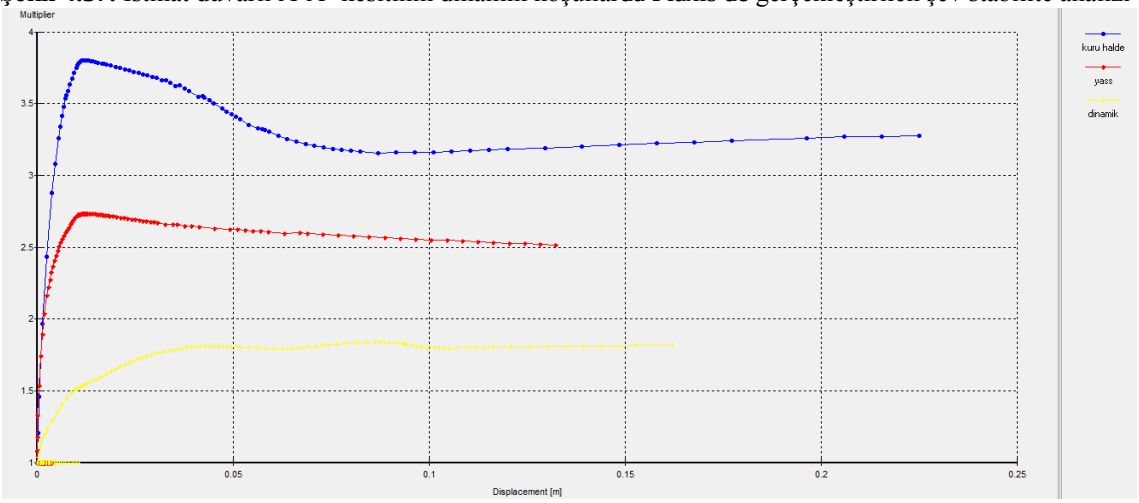
Şekil 4.35. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



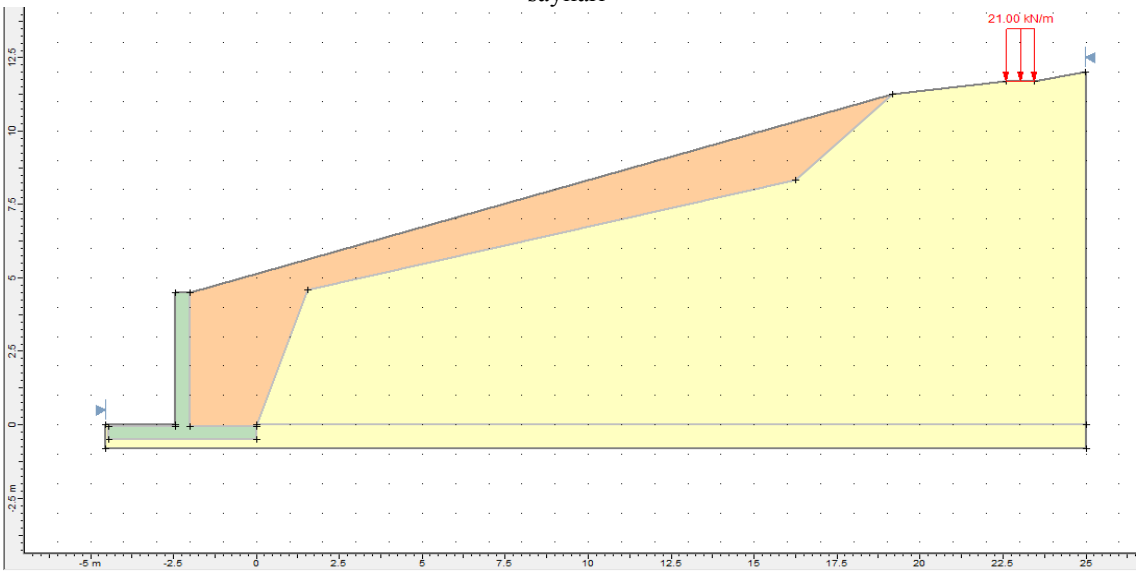
Şekil 4.36. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



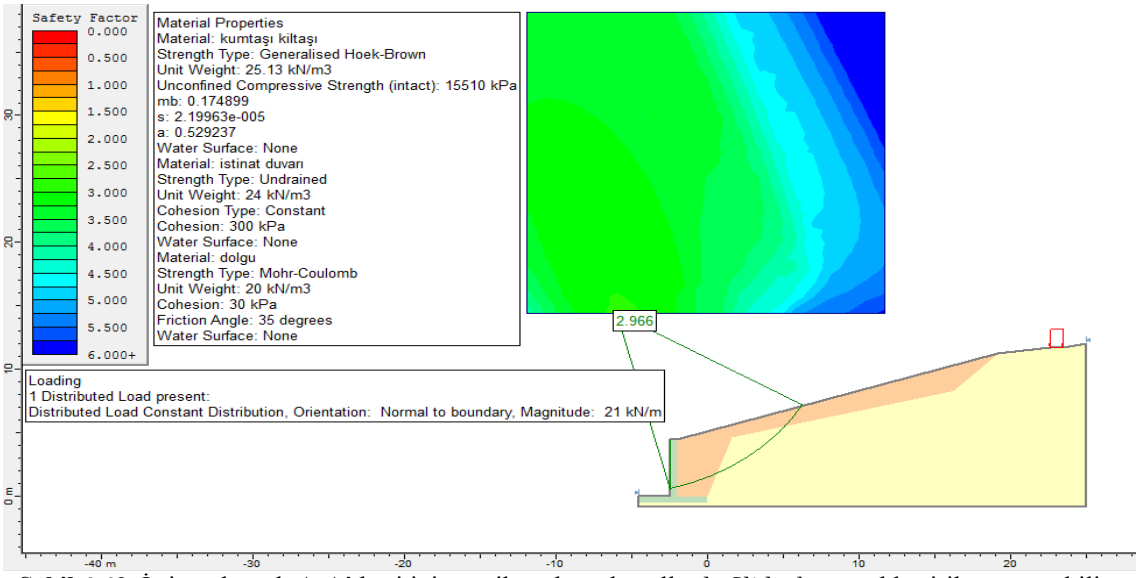
Şekil 4.37. İstinat duvarlı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



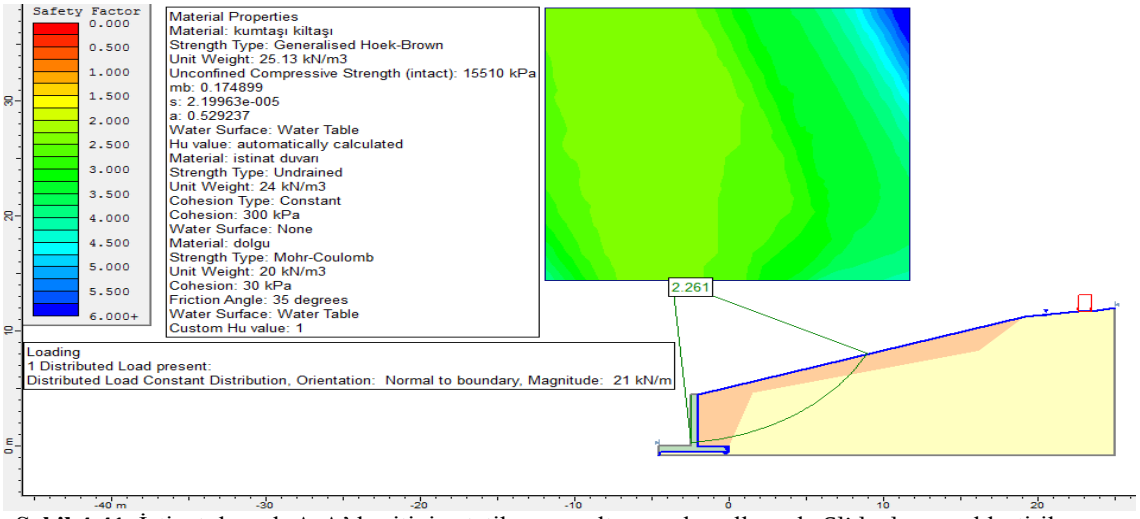
Şekil 4.38. Plaxis'de istinat duvarlı A-A' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



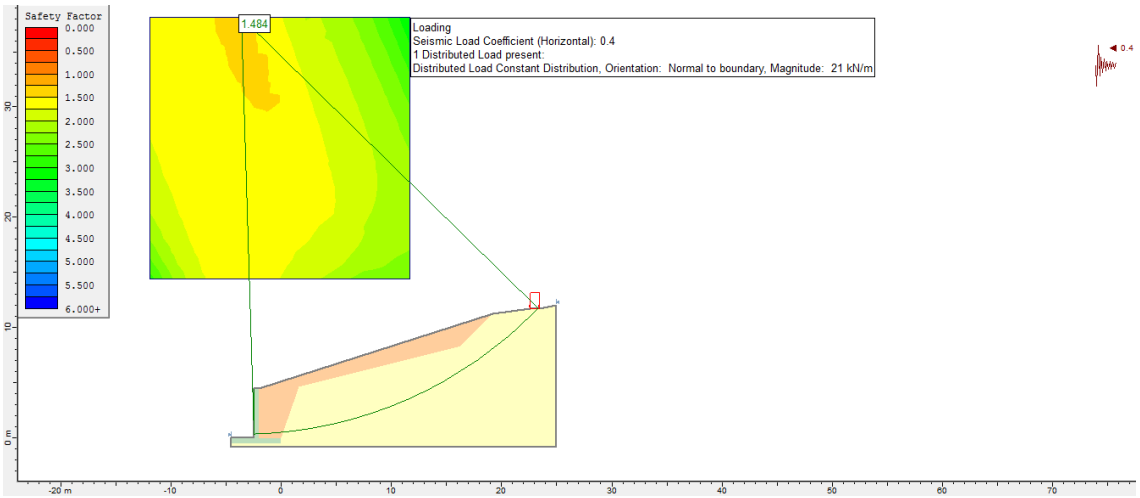
Şekil 4.39. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı A-A' şevine ait kesit



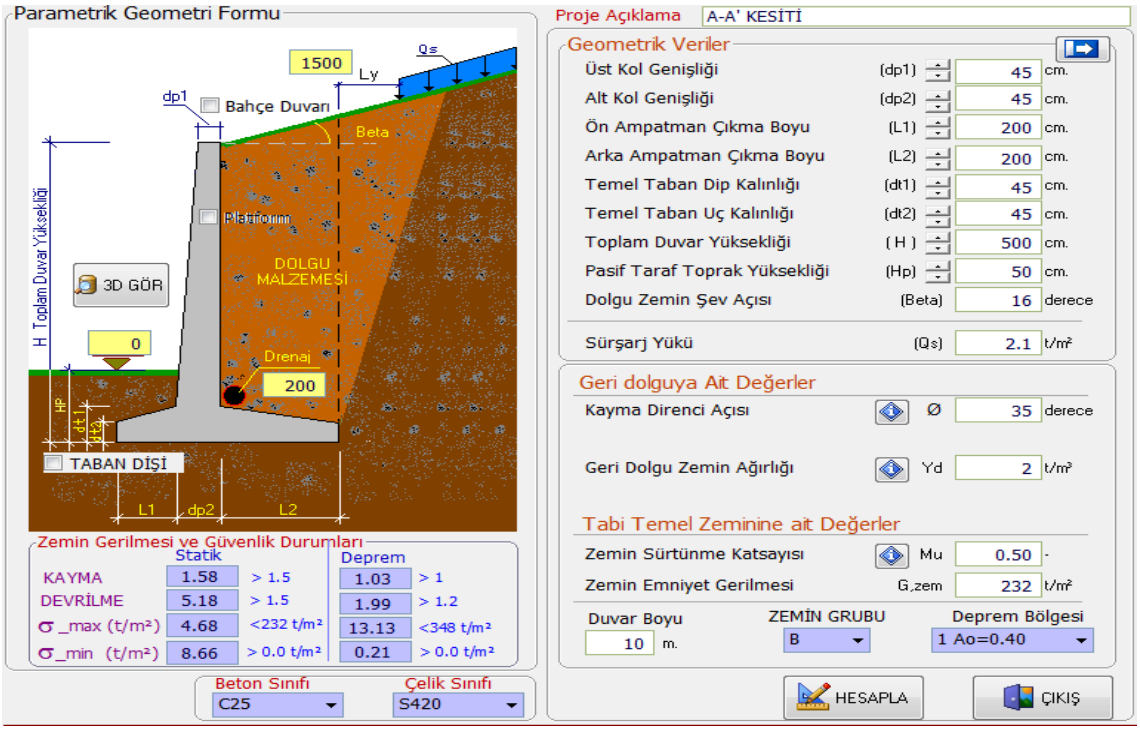
Şekil 4.40. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



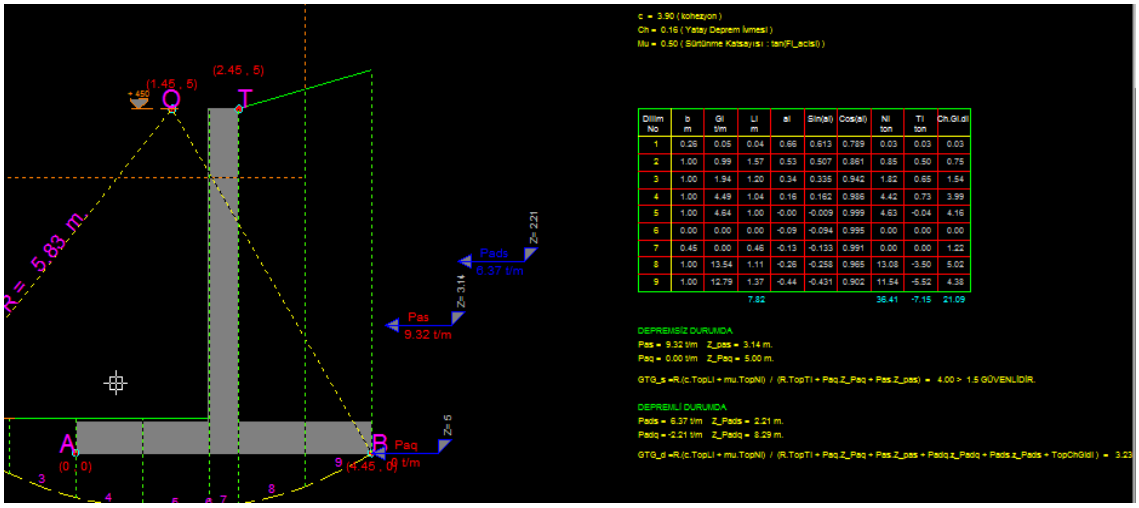
Şekil 4.41. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.42. İstinat duvarlı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.43. İstinat duvarlı A-A' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası

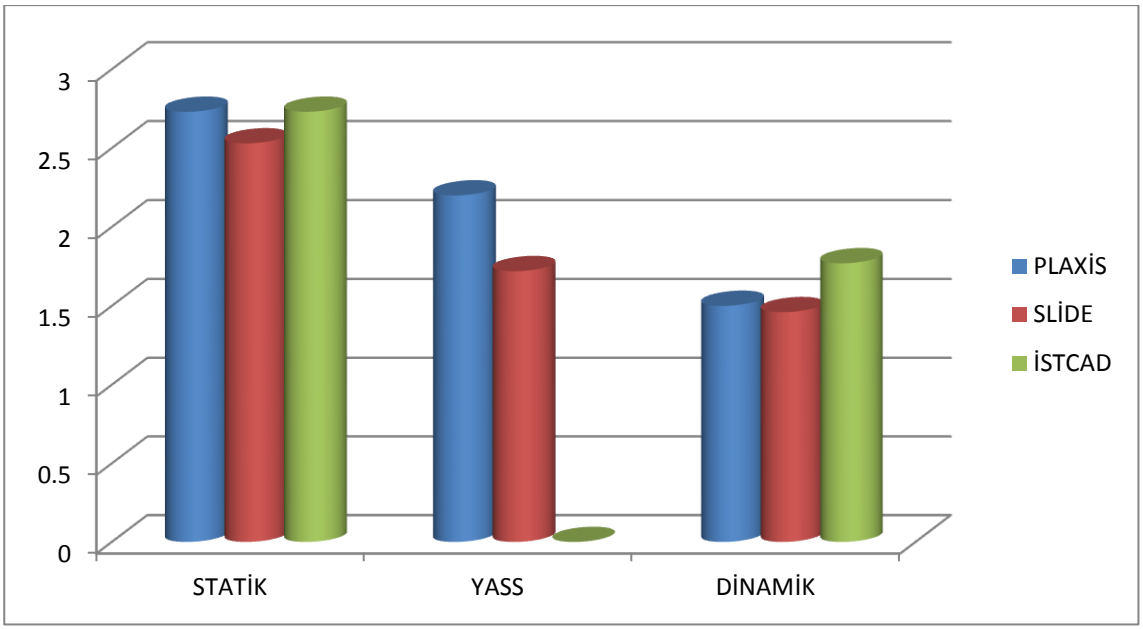


Şekil 4.44. İstinat duvarlı A-A' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan fore kazıklı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.6. ve şekil 4.45.'de görülmektedir.

Çizelge 4.6. A-A' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

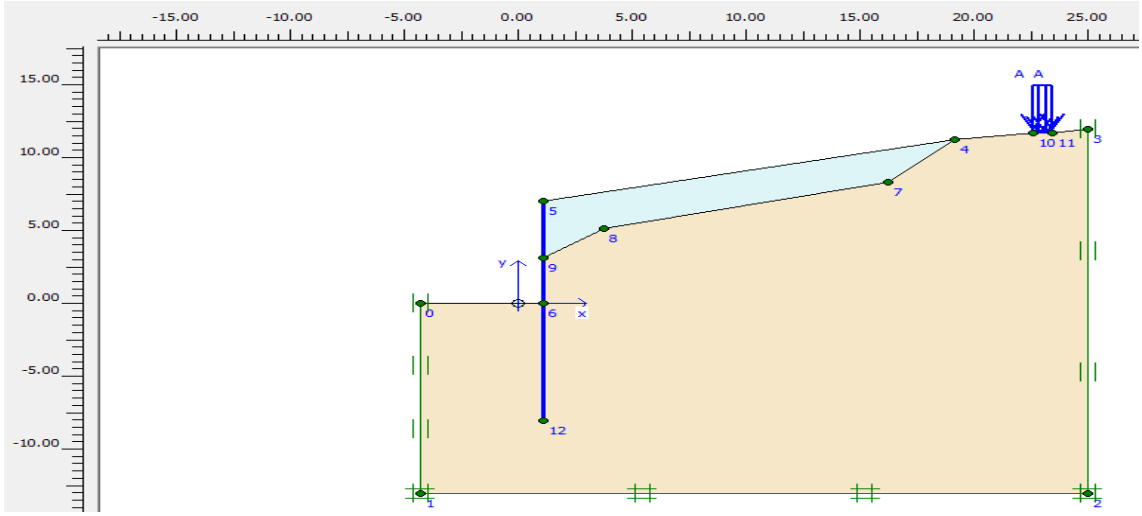
	Statik Durum	**Depremli Durum**	**YASS**
Plaxis 7.2	2,73	1,50	2,20
Slide 5.v	2,53	1,46	1,72
İstcad 6.0	2,73	1,77	



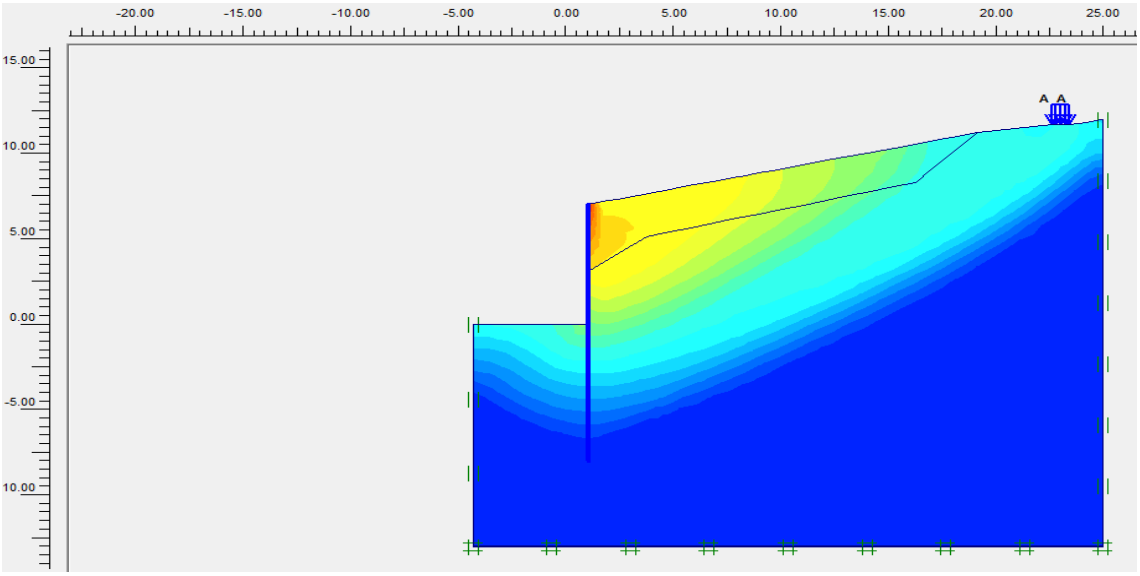
Şekil 4.45. A-A' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

Analizlerde kullanılan fore kazıklı kesit şekil 4.46. ve şekil 4.51.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Tüm durum analizlerinde; fore kazık derinliğinin, muhtemel kayma eğrilerinin altında olduğu ve kayma yüzeylerinin Plaxis programında Slide programına göre daha derinsel olduğu görülmektedir (Şekil 4.47.,4.48.,4.49.,4.52.,4.53. ve 4.54.).

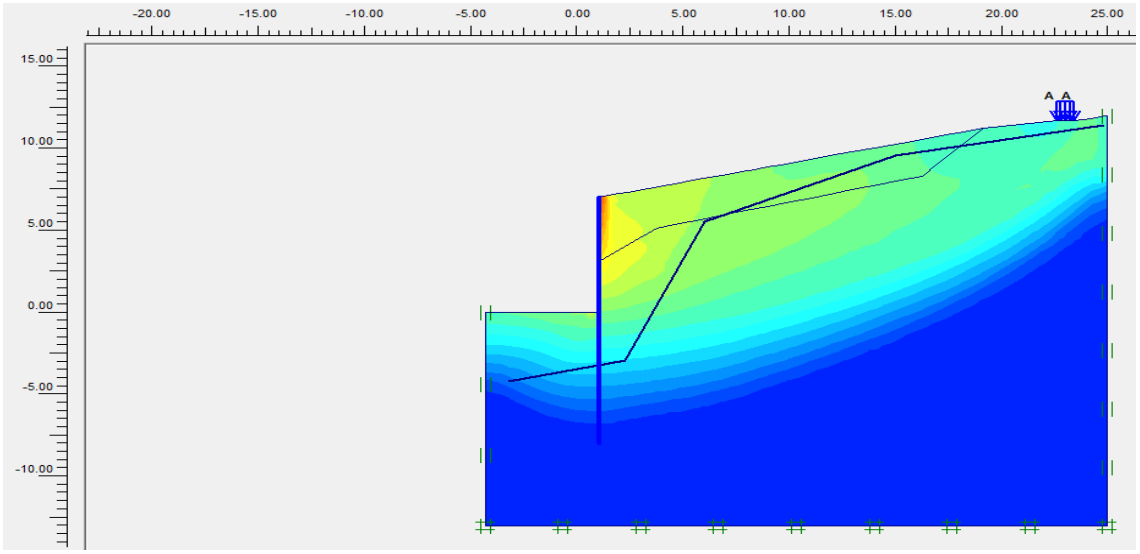
İstcad programında ise zemin ve fore kazık parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.55. ve şekil 4.56.'da görülmektedir.



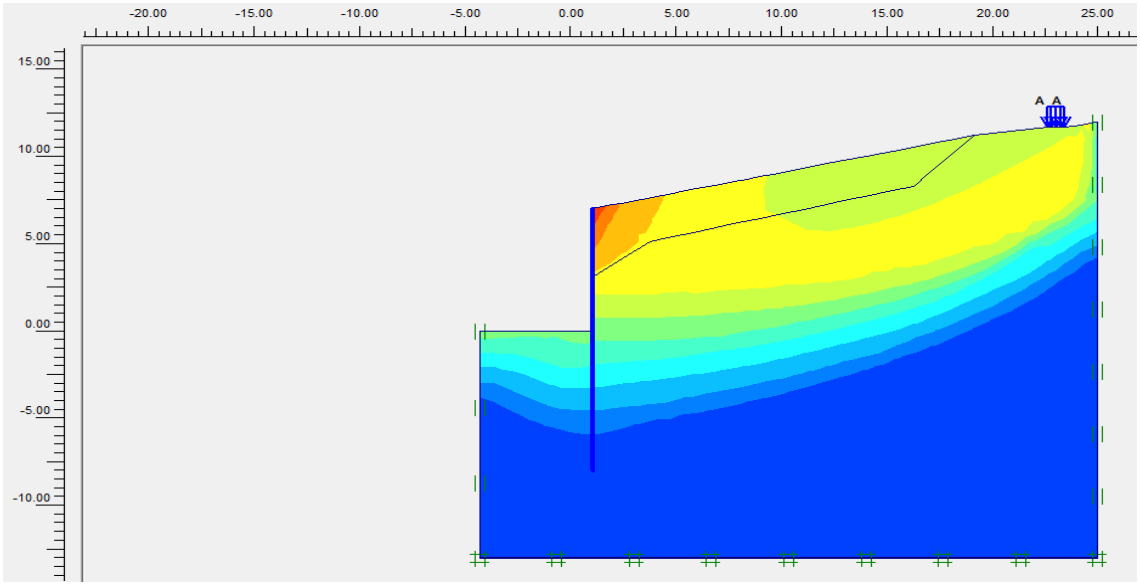
Şekil 4.46. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı A-A' şevine ait kesit



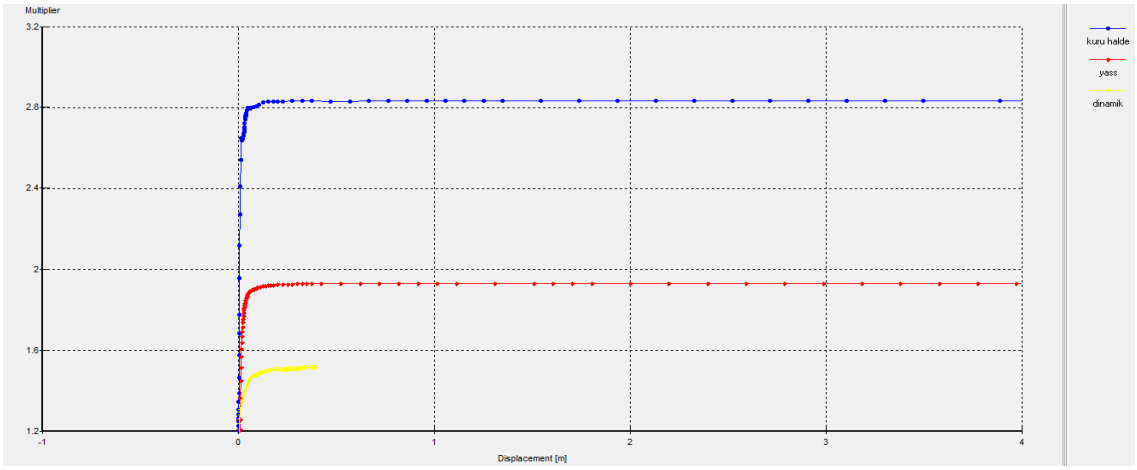
Şekil 4.47. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



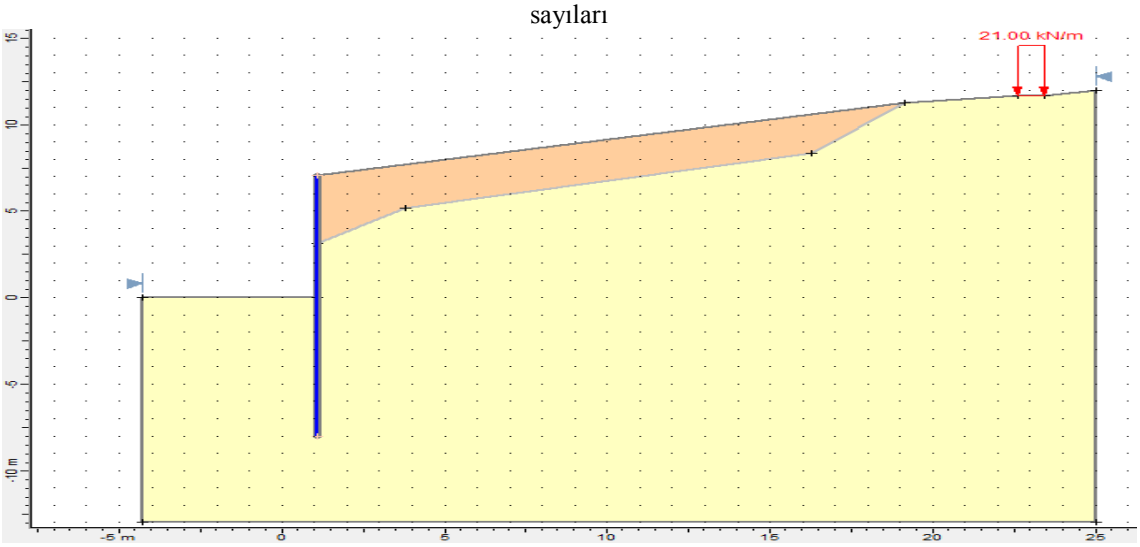
Şekil 4.48. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



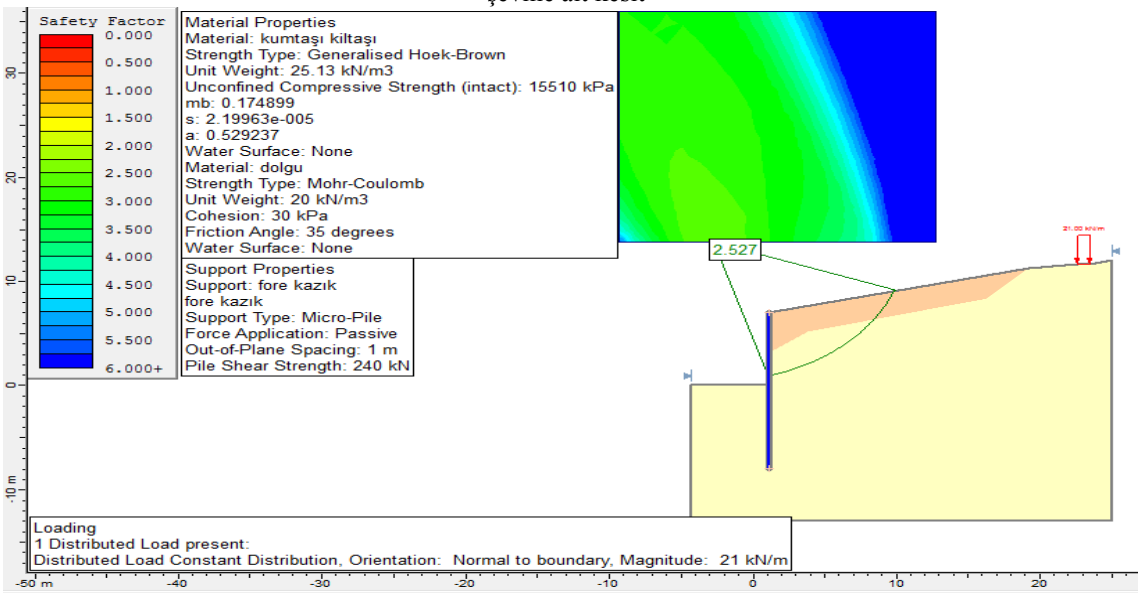
Şekil 4.49. Fore kazıklı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



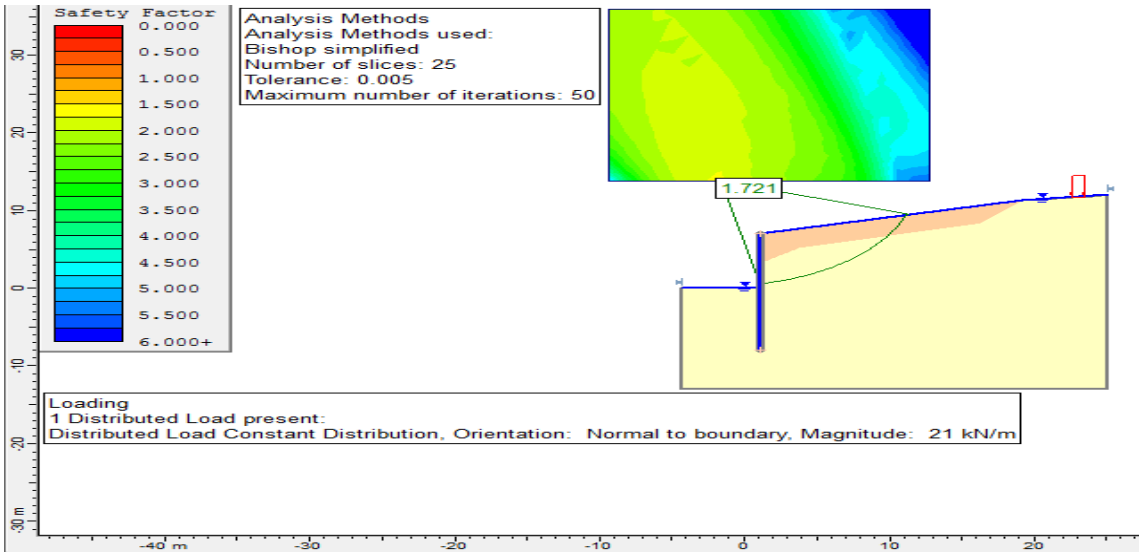
Şekil 4.50. Plaxis'de fore kazıklı A-A' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



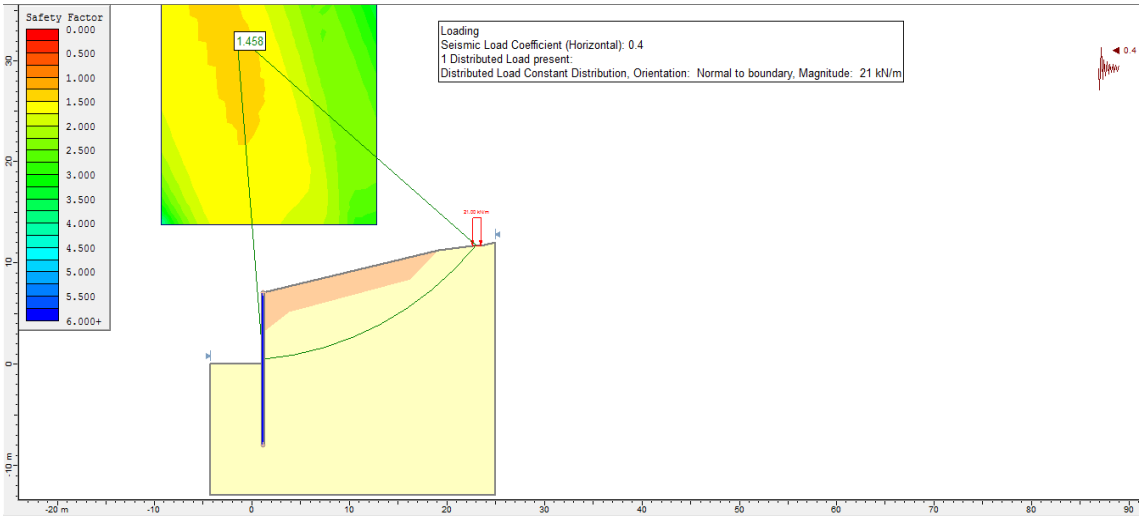
Şekil 4.51. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı A-A' şevine ait kesit



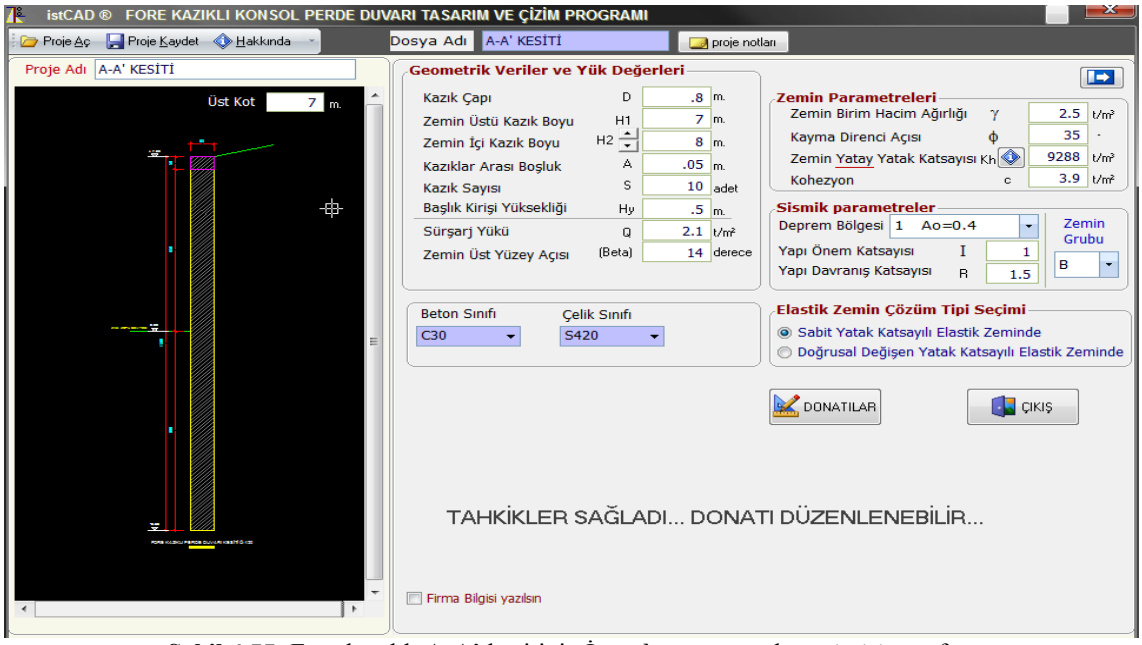
Şekil 4.52. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



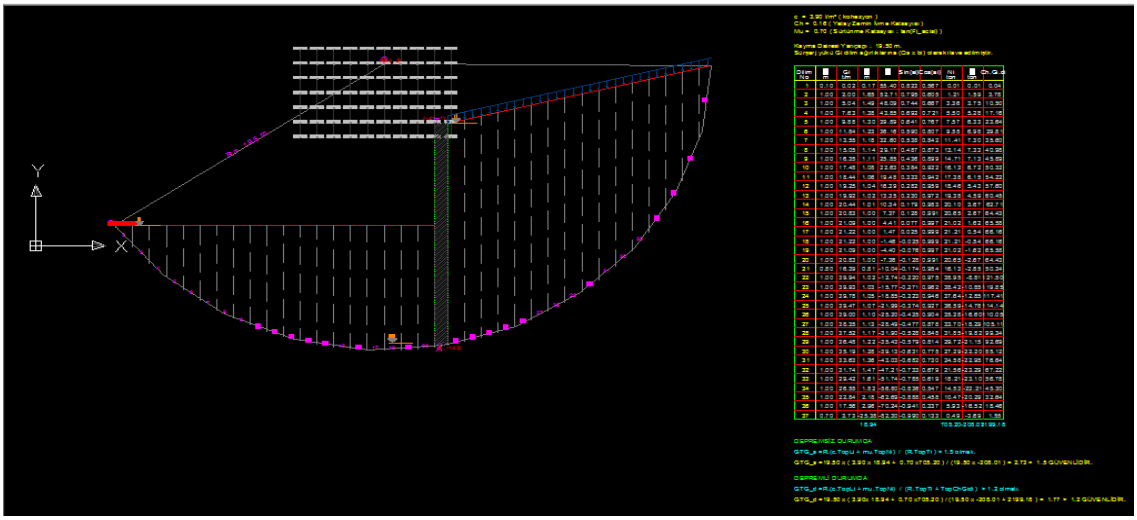
Şekil 4.53. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.54. Fore kazıklı A-A' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.55. Fore kazıklı A-A' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası



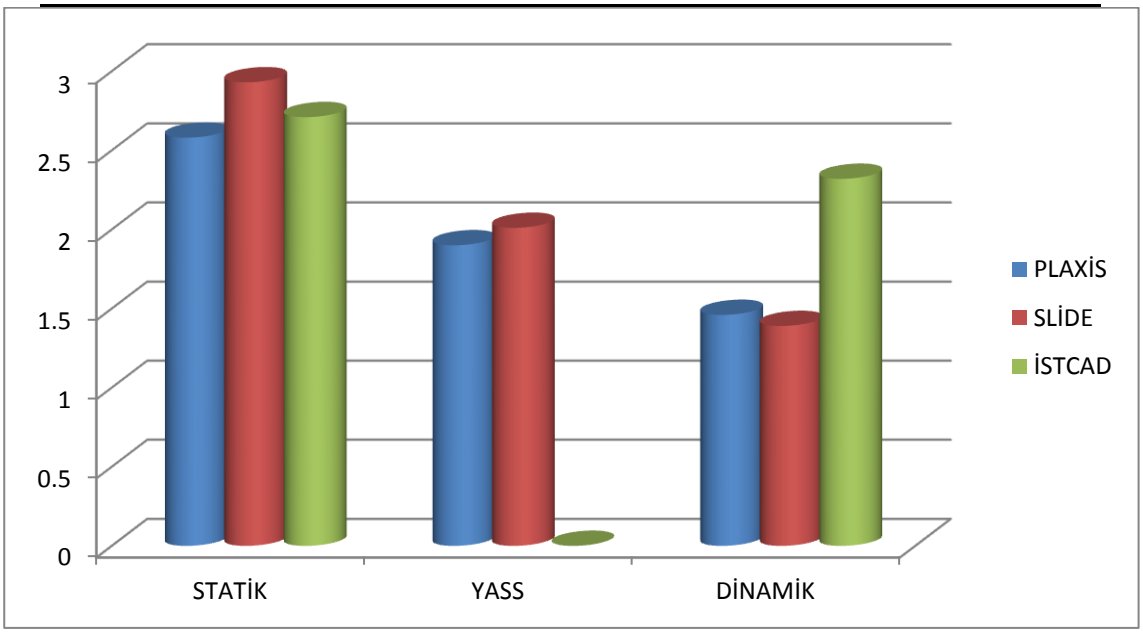
Şekil 4.56. Fore kazıklı A-A' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullar göz önüne alınarak İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.6. B-B' Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan istinat duvarlı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.7. ve şekil 4.57.'de görülmektedir.

Çizelge 4.7. B-B' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

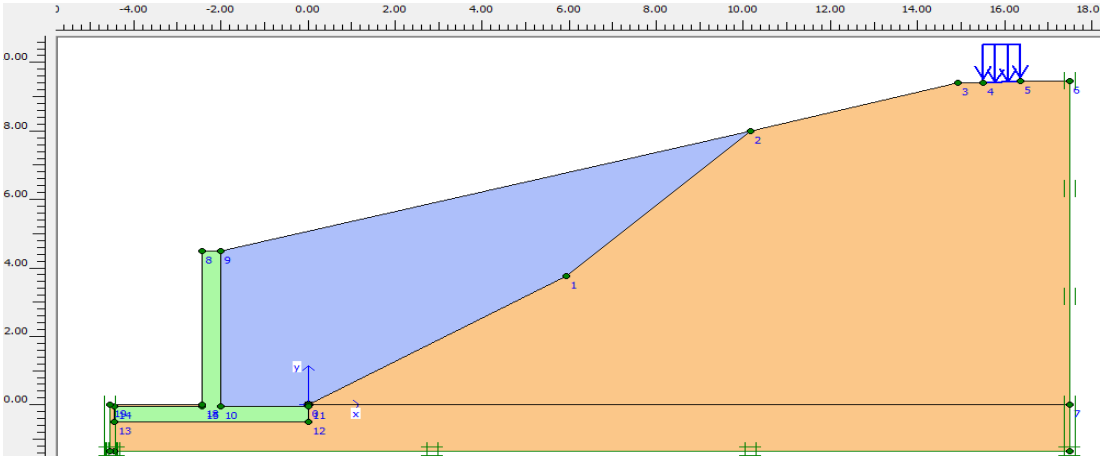
	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,58	1,46	1,90
Slide 5.v	2,93	1,39	2,01
İstcad 6.0	2,71	2,32	



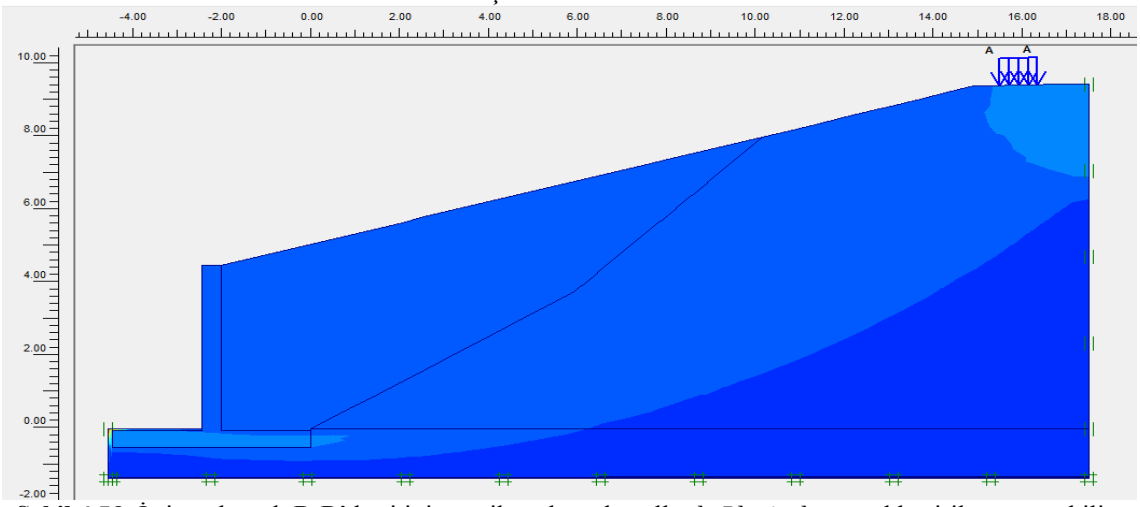
Şekil 4.57. B-B' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

Analizlerde kullanılan istinat duvarlı kesit şekil 4.58. ve şekil 4.63.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda

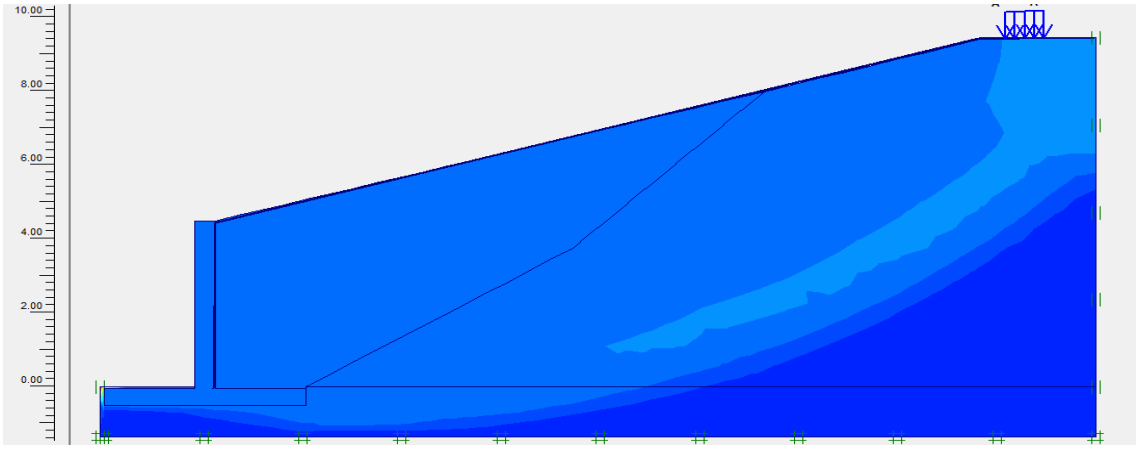
yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Kayma yüzeylerinin ise tüm analizlerde her iki programda birbirlerine yakın konumlarda olduğu görülmektedir (Şekil 4.59.,4.60.,4.61.,4.64.,4.65. ve 4.66.). İstcad programında ise zemin ve duvar parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.67. ve şekil 4.68.'de görülmektedir.



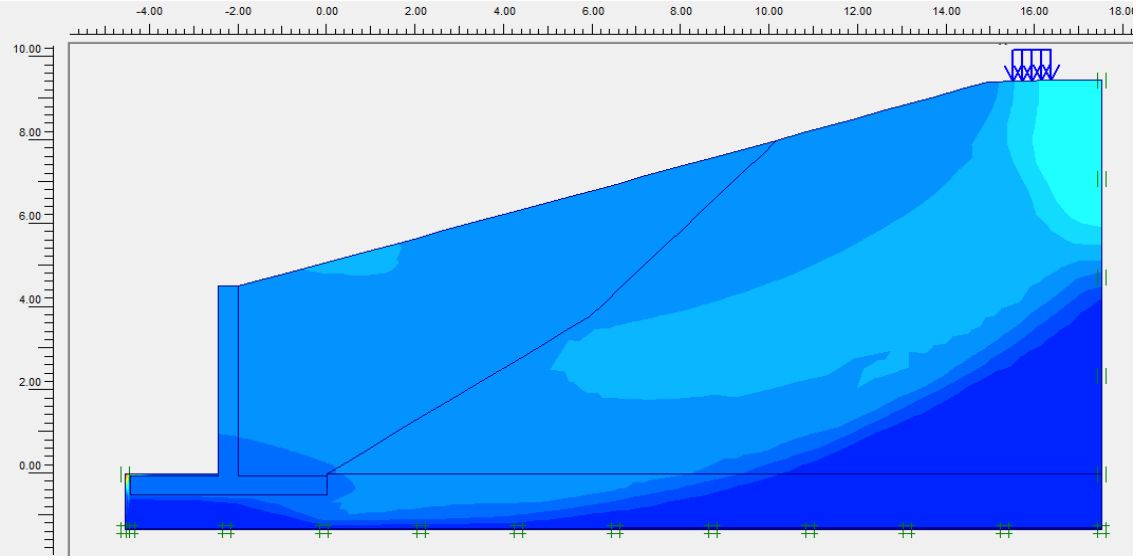
Şekil 4.58. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı B-B' şevine ait kesit



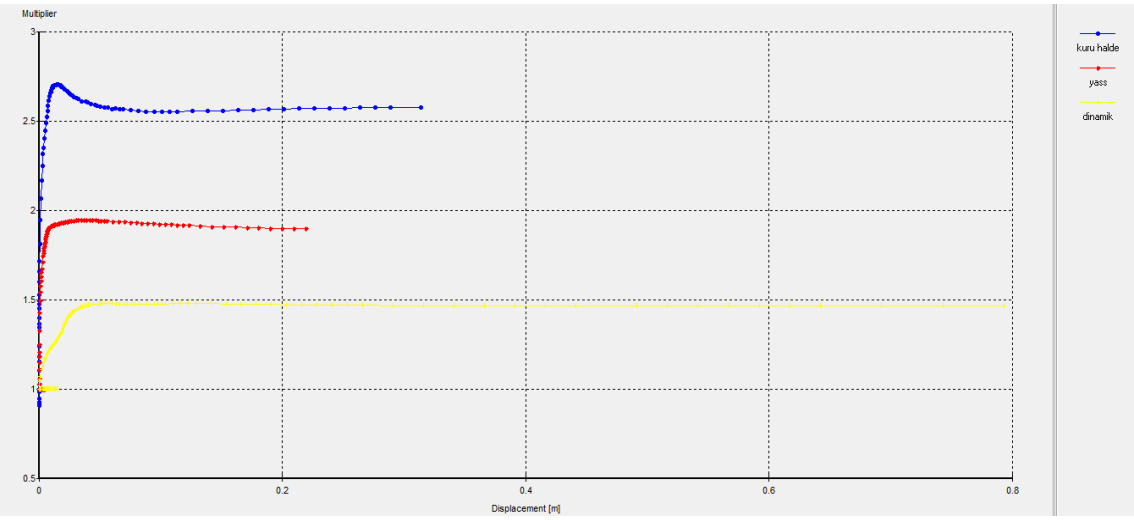
Şekil 4.59. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



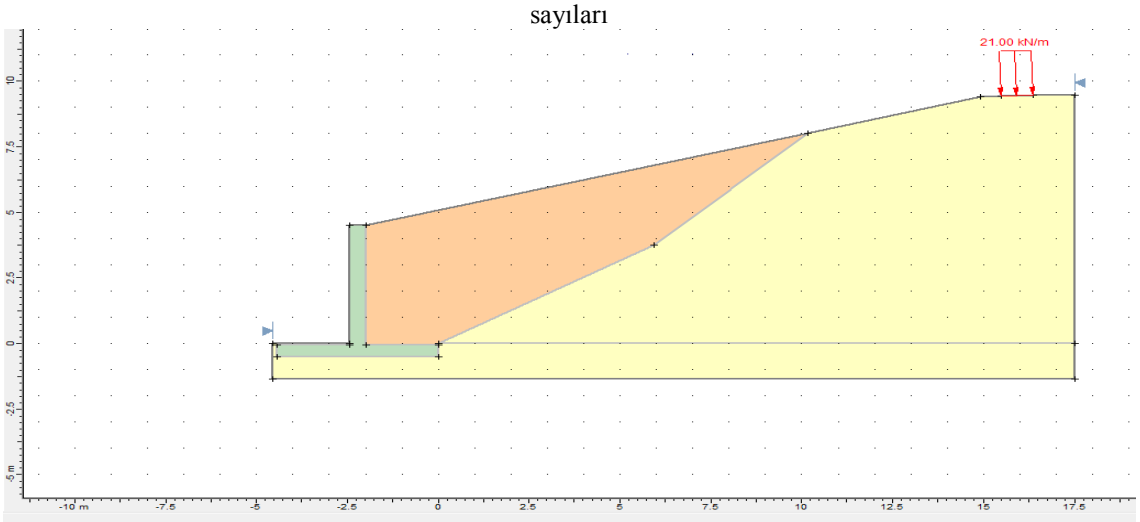
Şekil 4.60. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



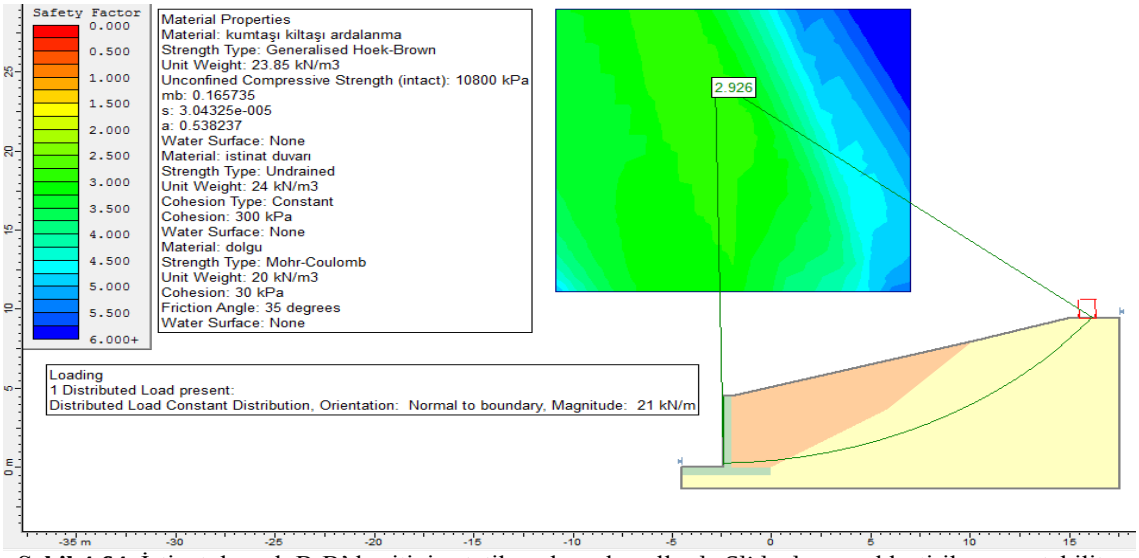
Şekil 4.61. İstinat duvarlı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



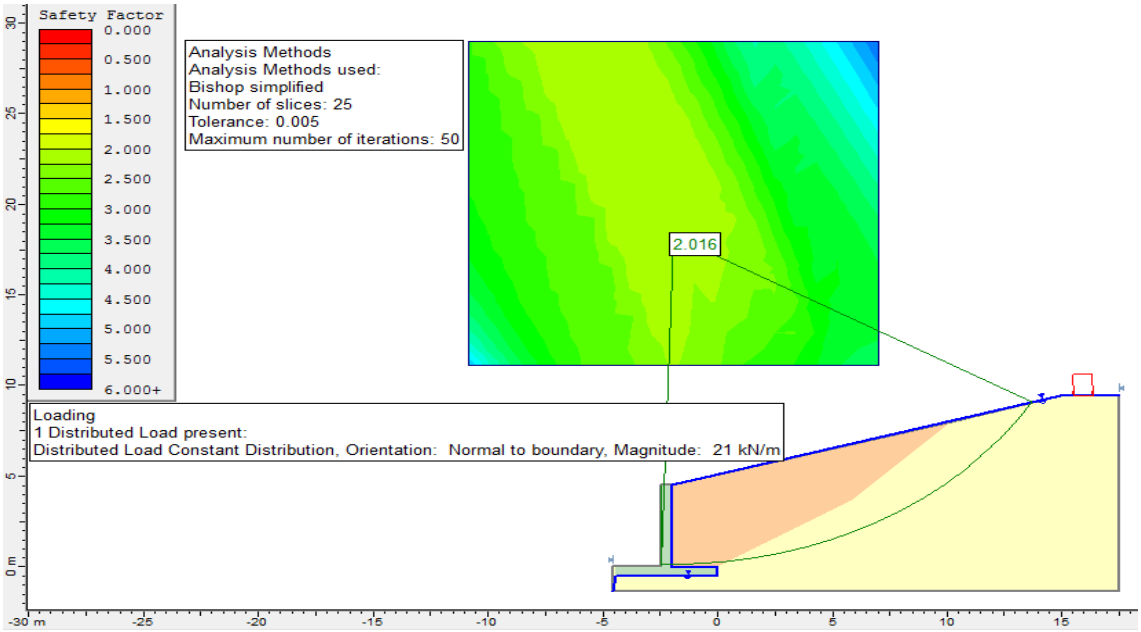
Şekil 4.62. Plaxis'de istinat duvarlı B-B' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



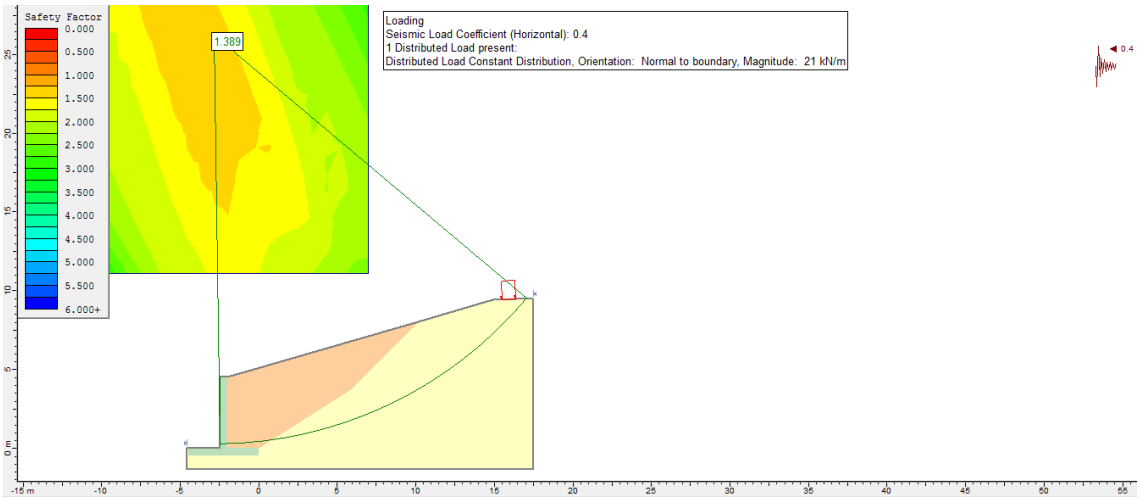
Şekil 4.63. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı B-B' şevine ait kesit



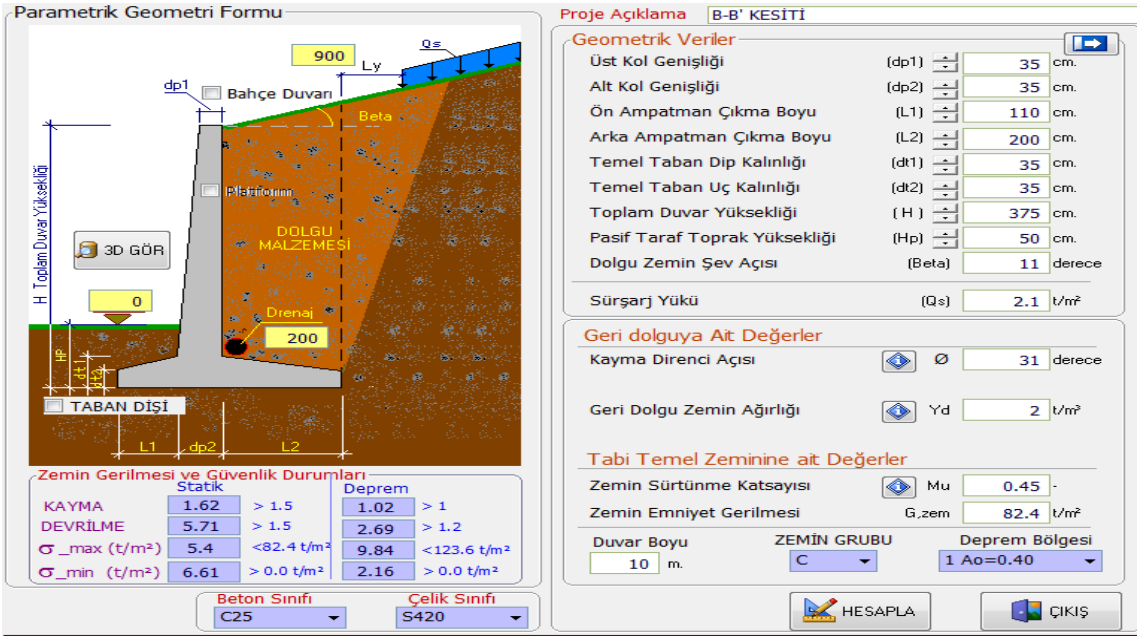
Şekil 4.64. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



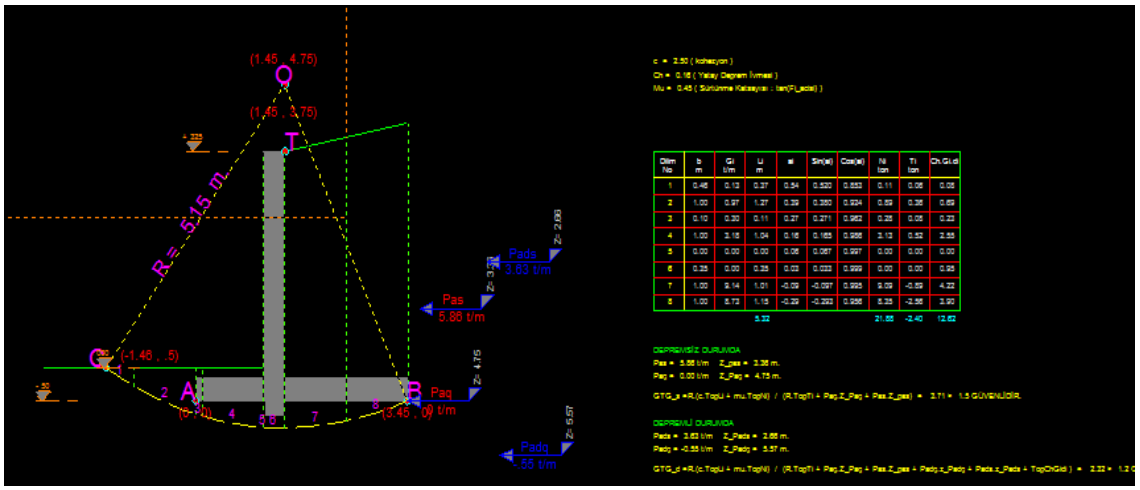
Şekil 4.65. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.66. İstinat duvarlı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.67. İstinat duvarlı B-B' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası

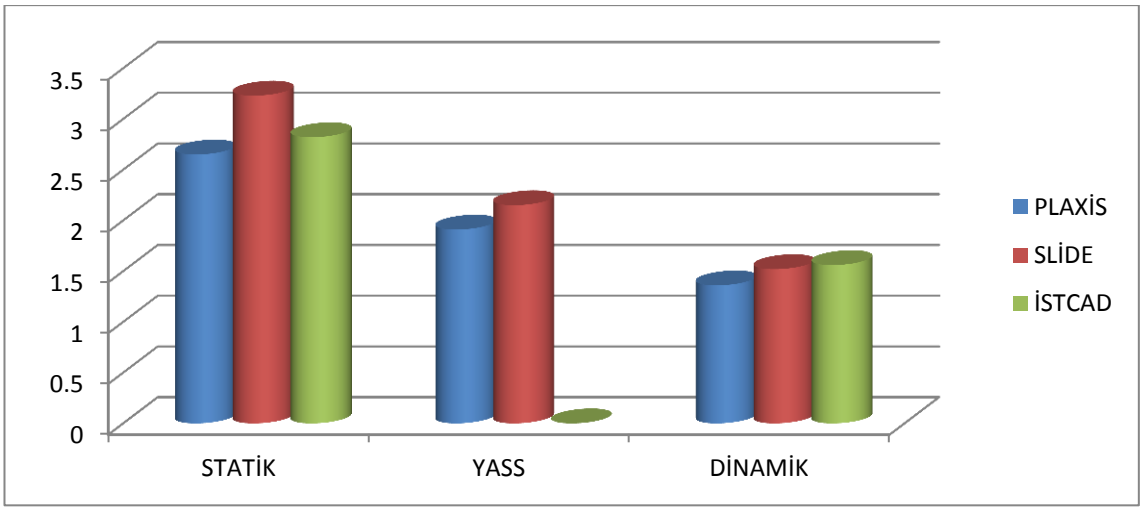


Şekil 4.68. İstinat duvarlı B-B' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan fore kazıklı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.8.ve şekil 4.69'da görülmektedir.

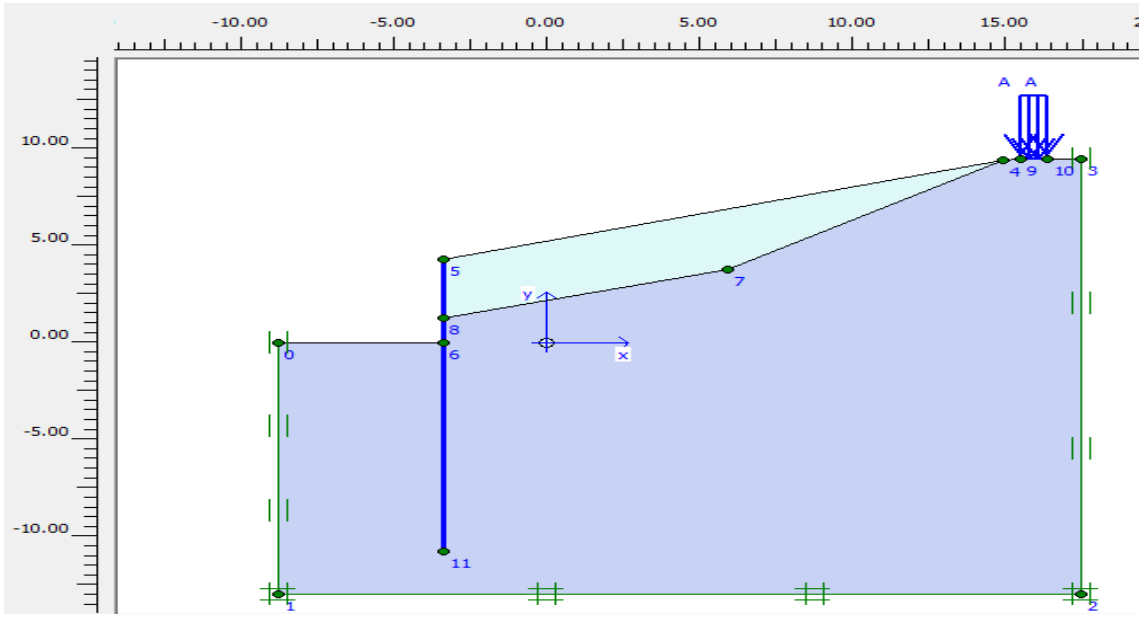
Çizelge 4.8. B-B' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,65	1,36	1,91
Slide 5.v	3,23	1,52	2,15
İstcad 6.0	2,82	1,56	

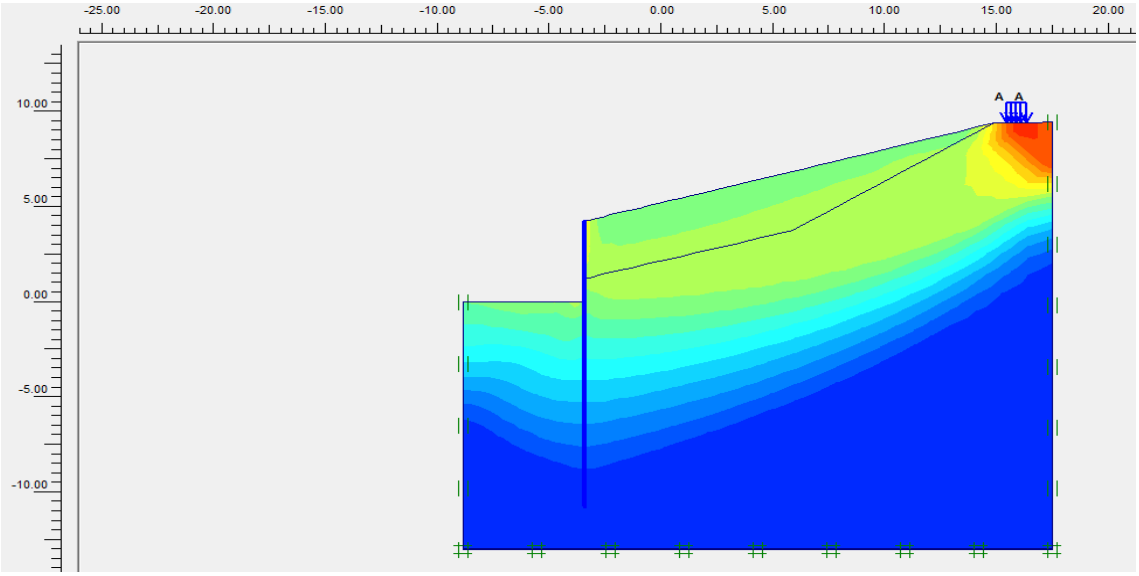


Şekil 4.69. B-B' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

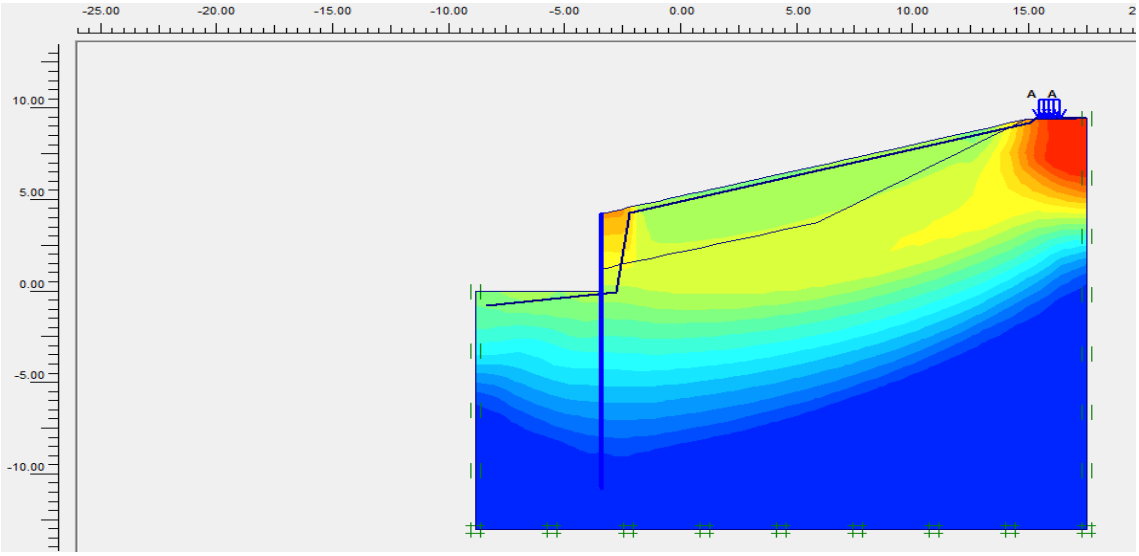
Analizlerde kullanılan fore kazıklı kesit şekil 4.70. ve şekil 4.75.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm programlarda farklı koşul durumlarında birbirlerine yakın ve yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Tüm durum analizlerinde; fore kazık derinliğinin, muhtemel kayma eğrilerinin altında olduğu ve kayma yüzeylerinin Plaxis programında Slide programına göre daha derinsel olduğu görülmektedir (Şekil 4.71.,4.72.,4.73.,4.76.,4.77. ve 4.78.). İstcad programında ise zemin ve fore kazık parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.79. ve şekil 4.80.'de görülmektedir.



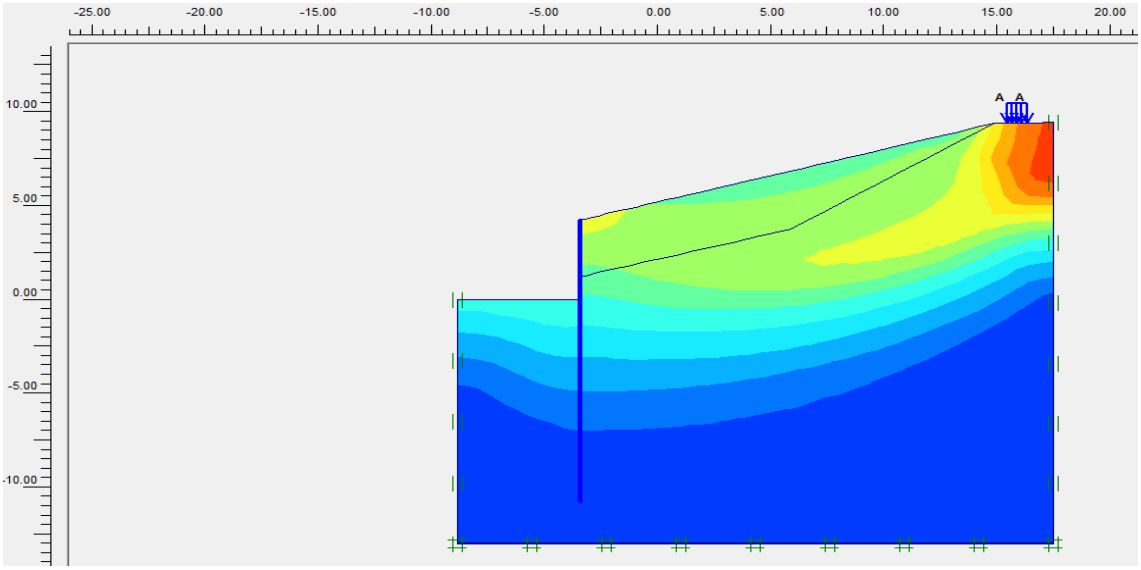
Şekil 4.70. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı B-B' şevine ait kesit



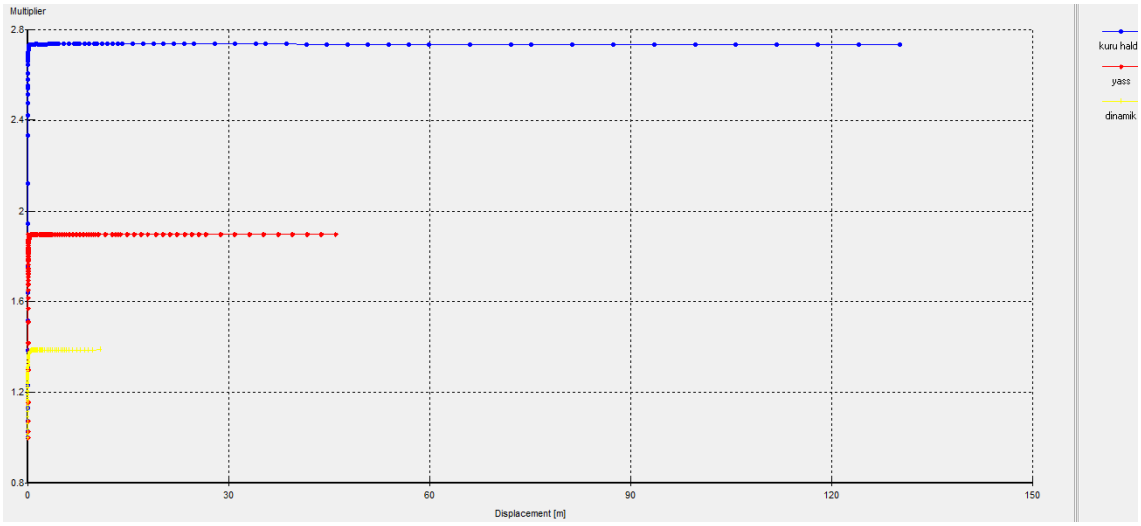
Şekil 4.71. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



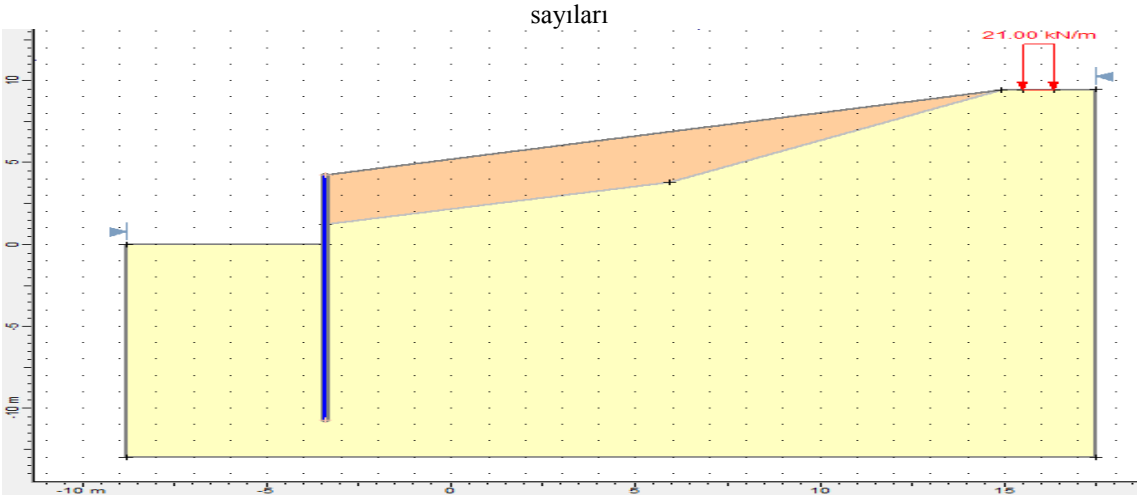
Şekil 4.72. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



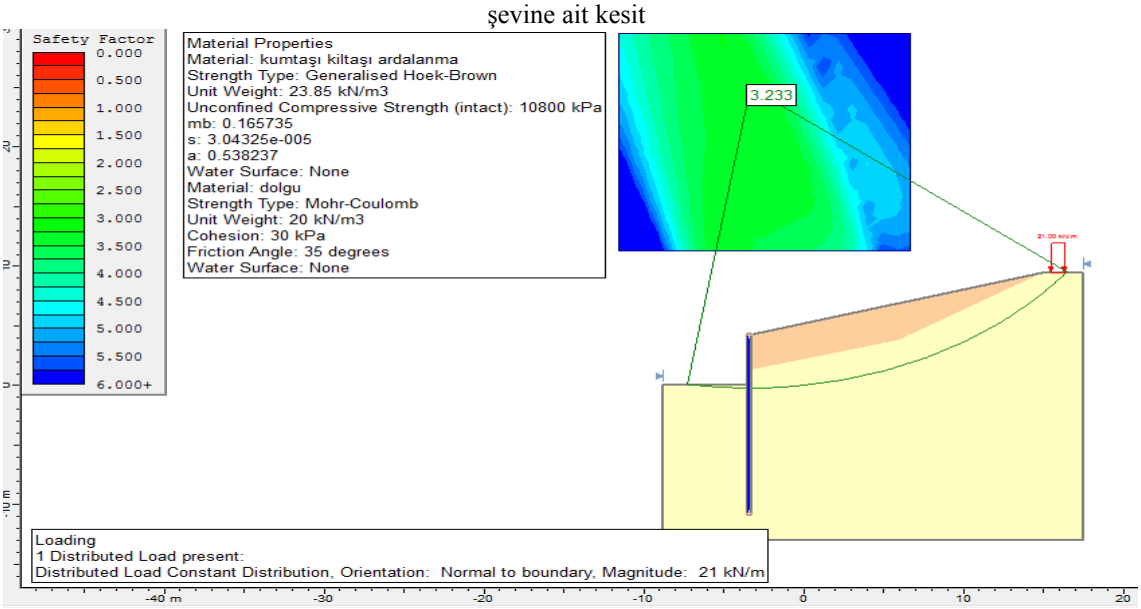
Şekil 4.73. Fore kazıklı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



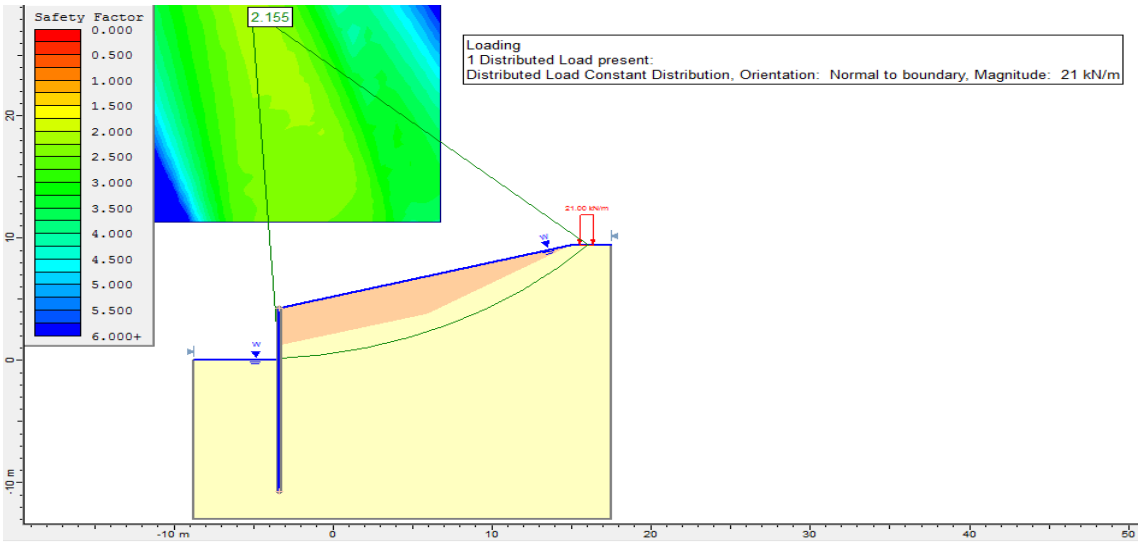
Şekil 4.74. Plaxis'de fore kazıklı B-B' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



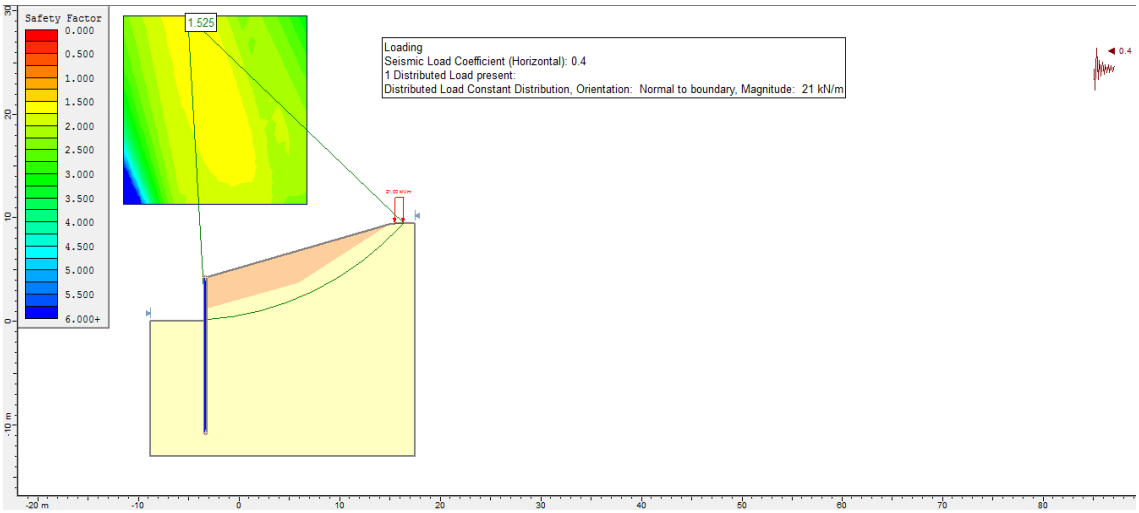
Şekil 4.75. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı B-B' şevine ait kesit



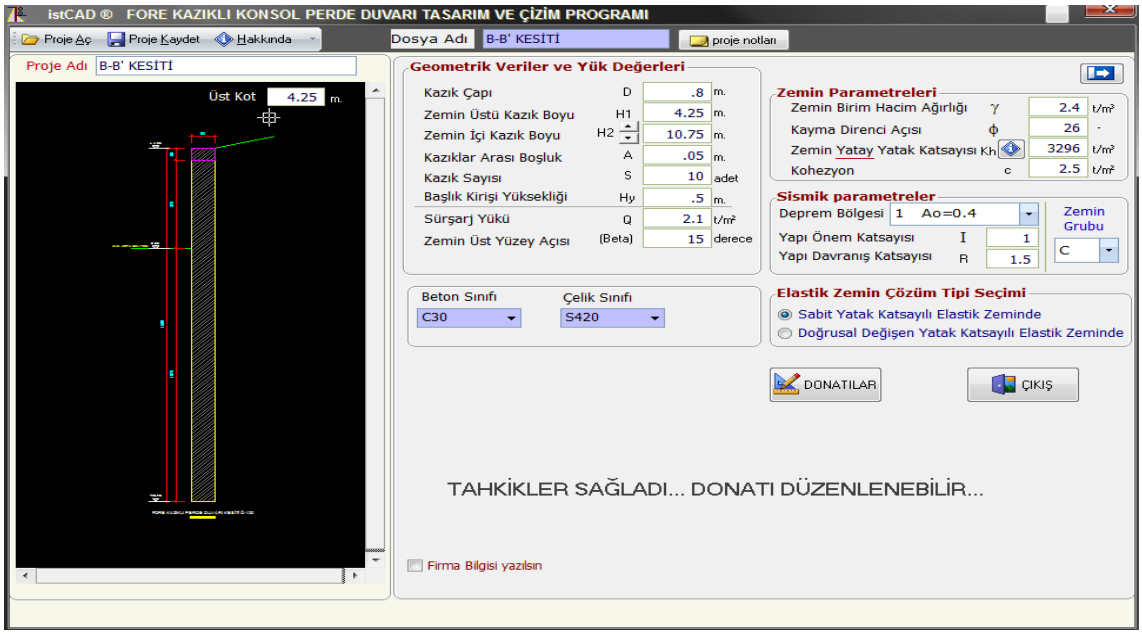
Şekil 4.76. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



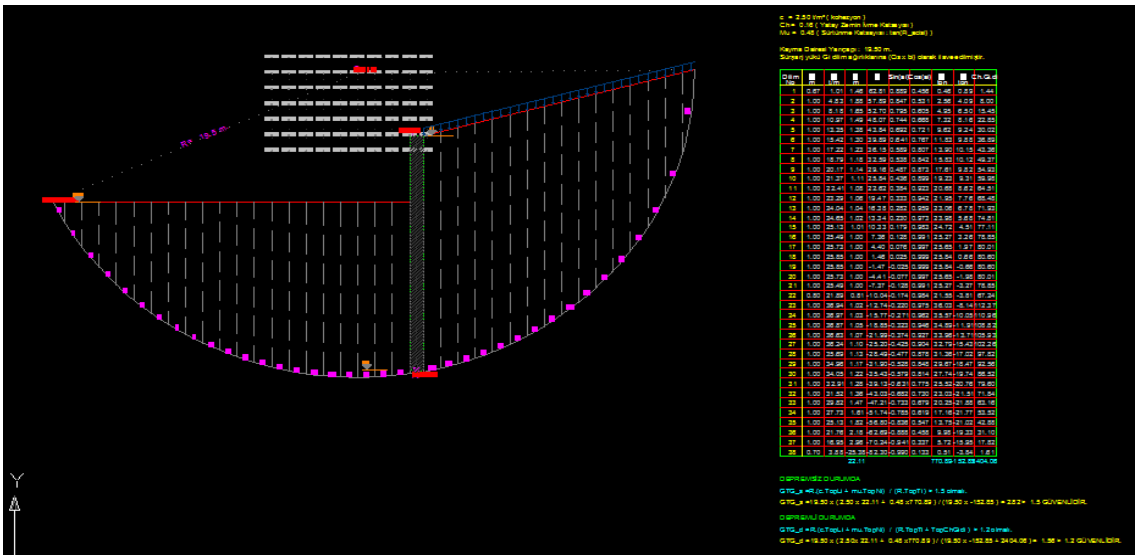
Şekil 4.77. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.78. Fore kazıklı B-B' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.79. Fore kazıklı B-B' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası



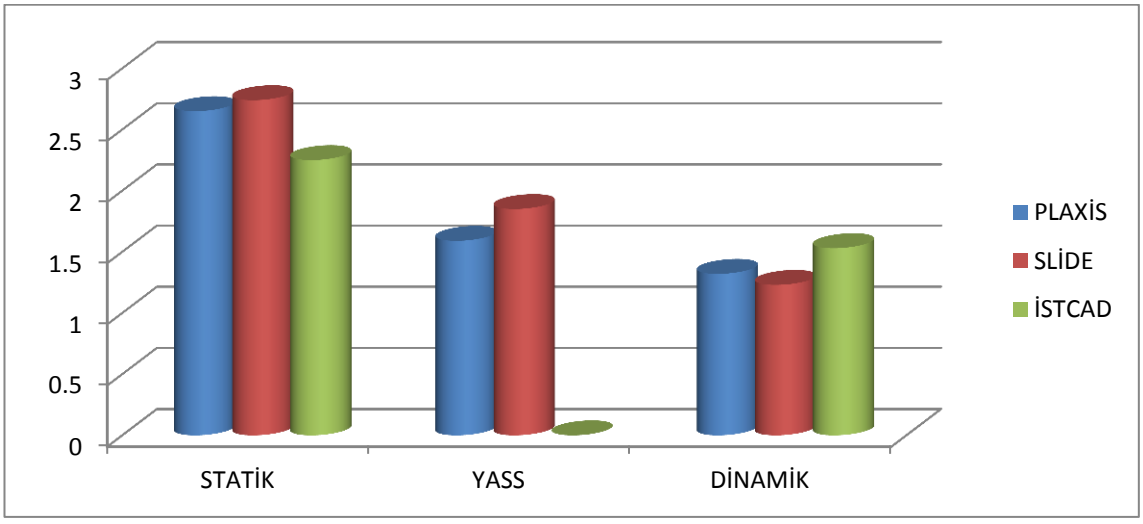
Şekil 4.80. Fore kazıklı B-B' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.7. C-C' Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan istinat duvarlı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.9. ve şekil 4.81.'de görülmektedir.

Çizelge 4.9. C-C' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,65	1,32	1,59
Slide 5.v	2,74	1,23	1,85
İstcad 6.0	2,25	1,53	

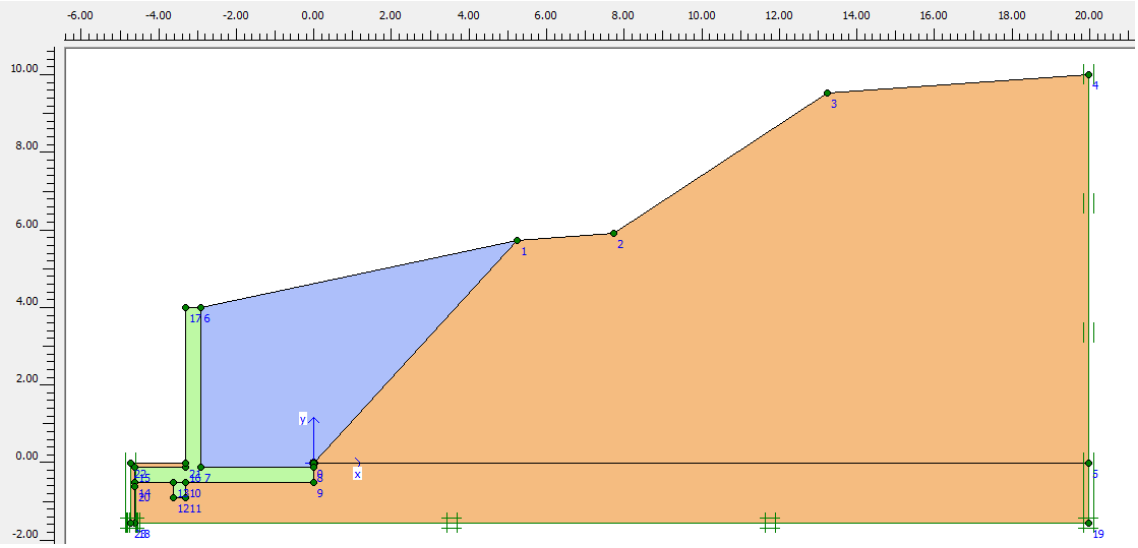


Şekil 4.81. C-C' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

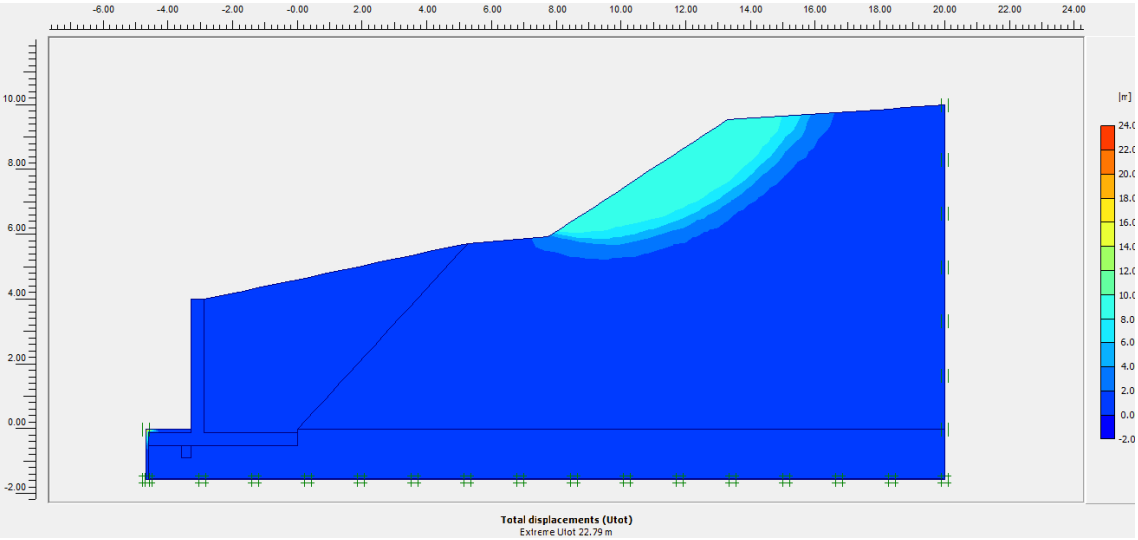
Analizlerde kullanılan istinat duvarlı kesit şekil 4.82. ve şekil 4.87.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm koşullarda

yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Kayma yüzeyleri incelendiğinde; Plaxis programında tüm koşullarda genellikle şev üst kısımlarında zorlanmaların olduğu (Şekil 4.83.,4.84. ve Şekil 4.85.), Slide programında ulaşılan kayma yüzeylerinin ise daha derinselleştiği görülmektedir (Şekil 4.88.,4.89. ve 4.90.).

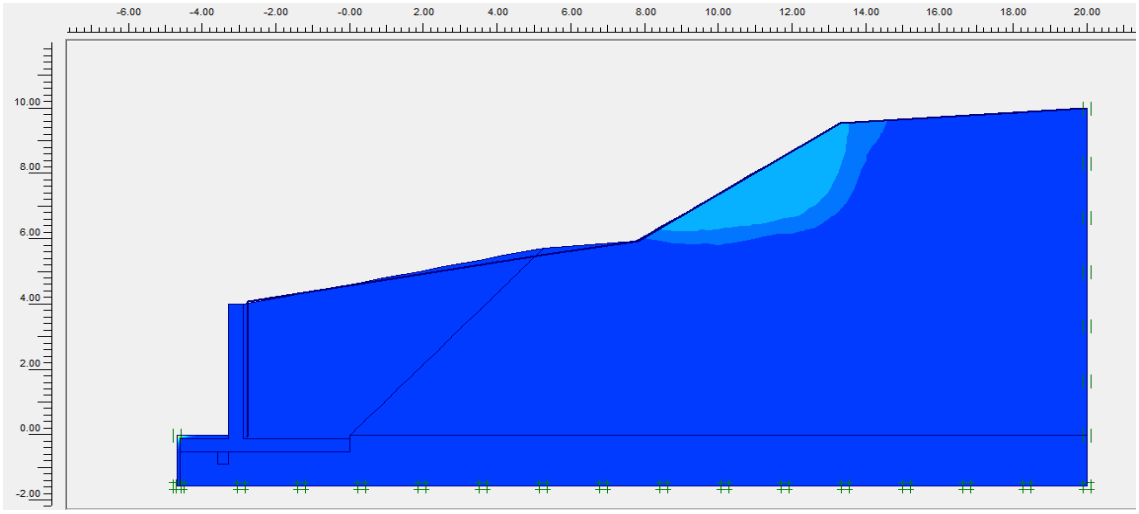
İstcad programında ise zemin ve duvar parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.91. ve şekil 4.92.'de görülmektedir.



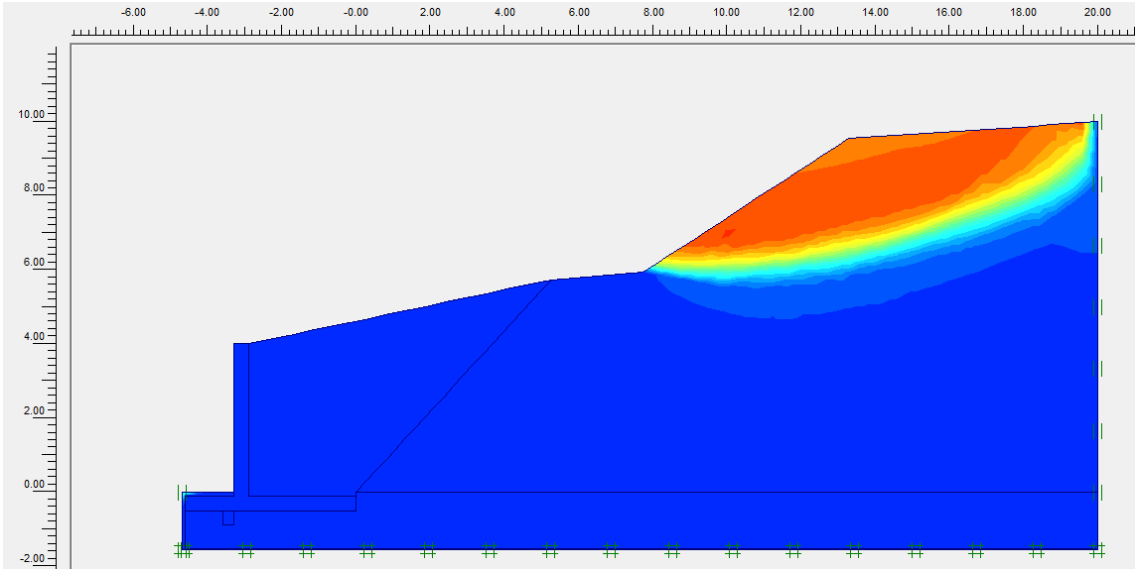
Şekil 4.82. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı C-C' şevine ait kesit



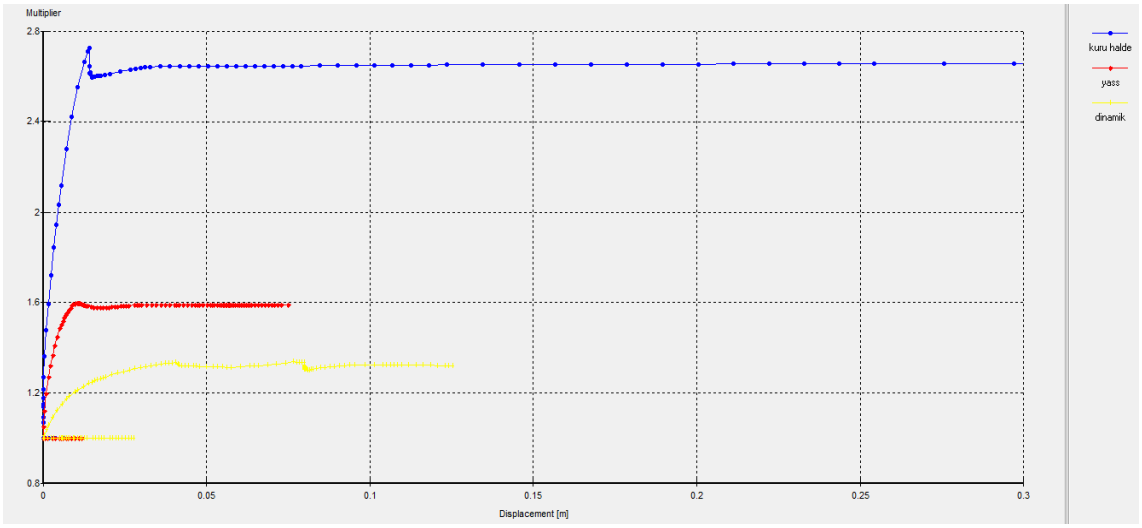
Şekil 4.83. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



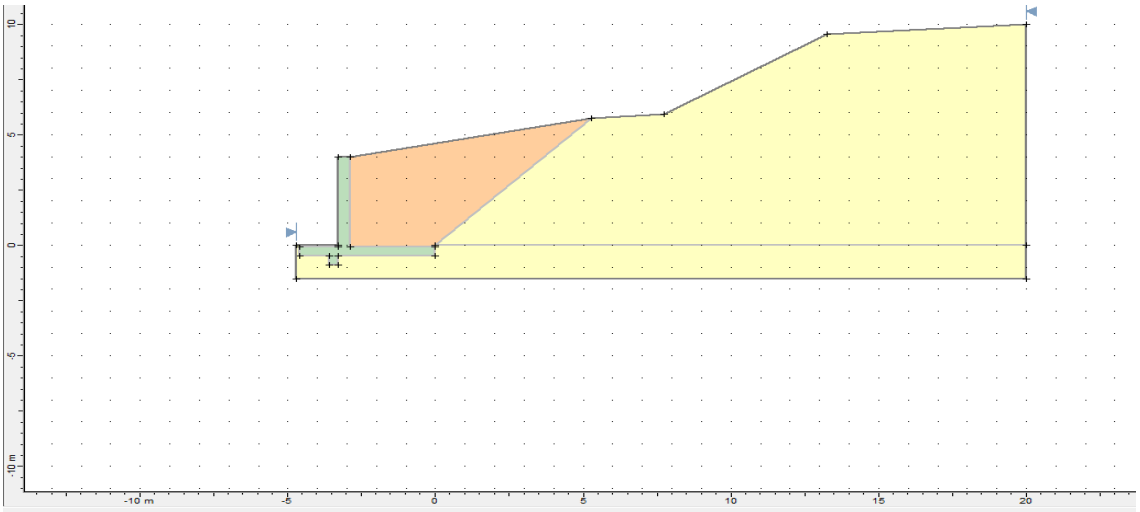
Şekil 4.84. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



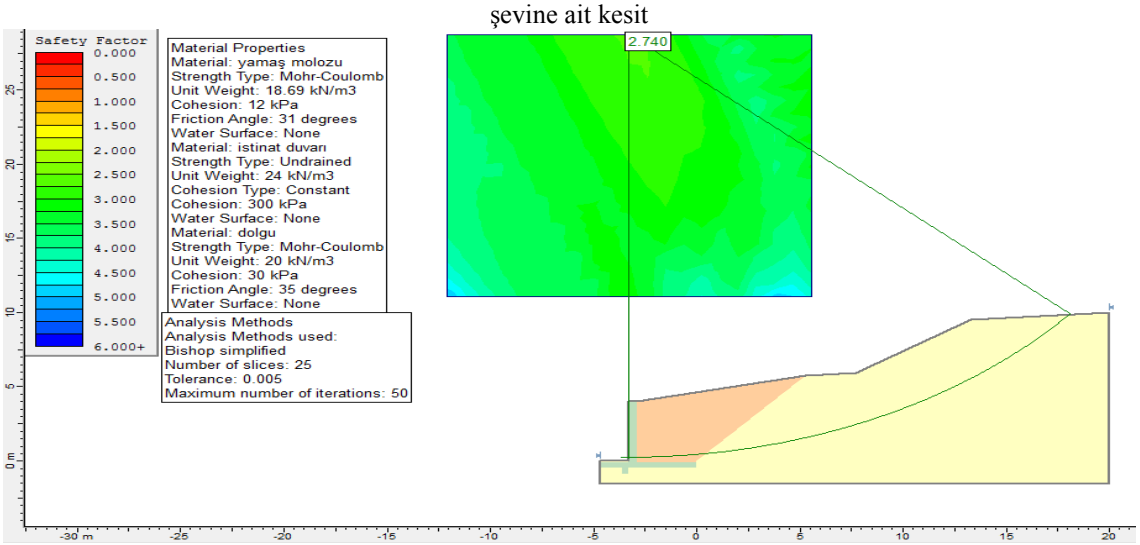
Şekil 4.85. İstinat duvarlı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



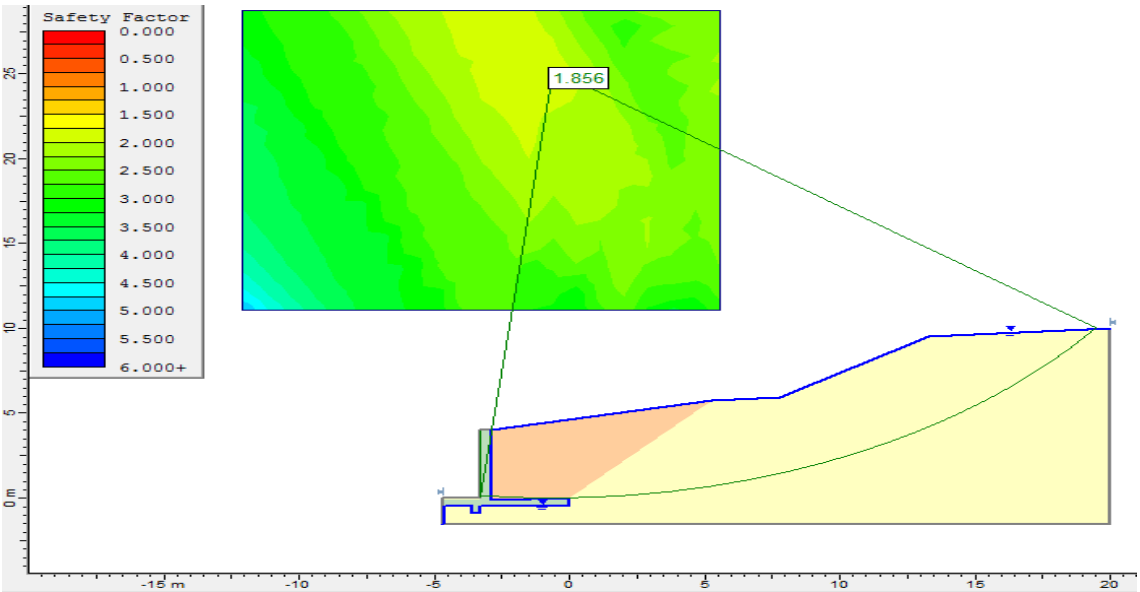
Şekil 4.86. Plaxis'de istinat duvarlı C-C' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



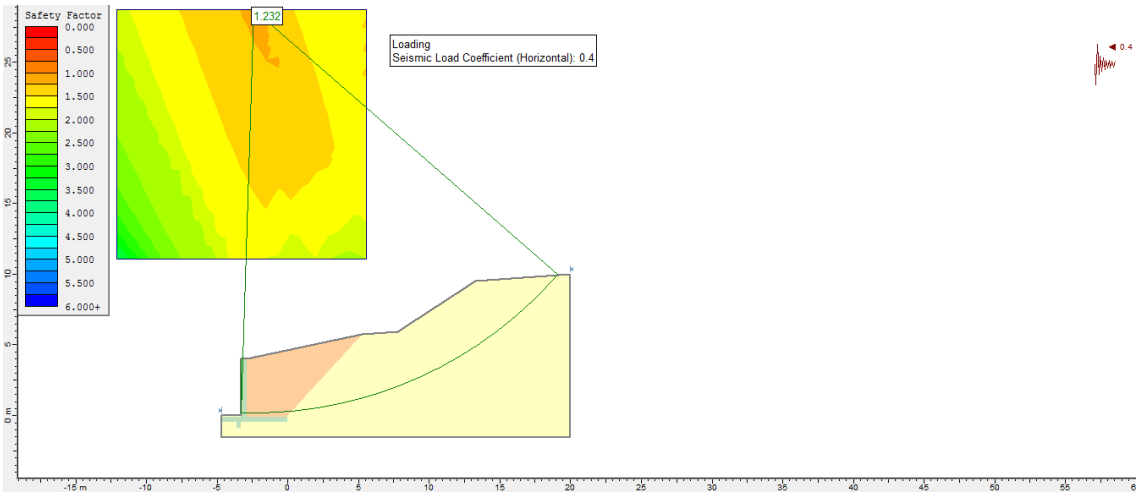
Şekil 4.87. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı C-C' şevine ait kesit



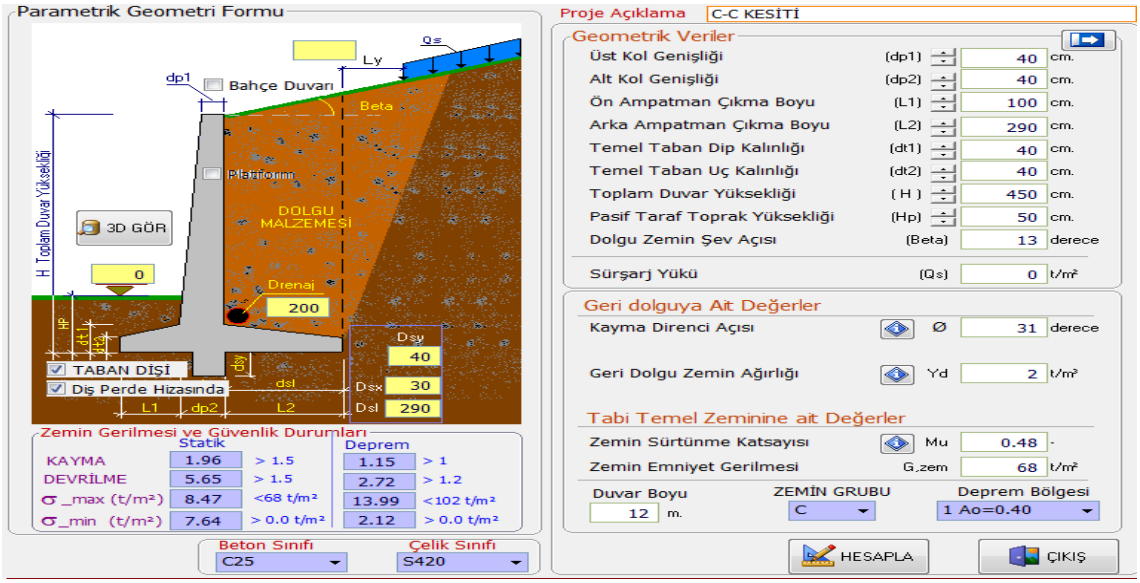
Şekil 4.88. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



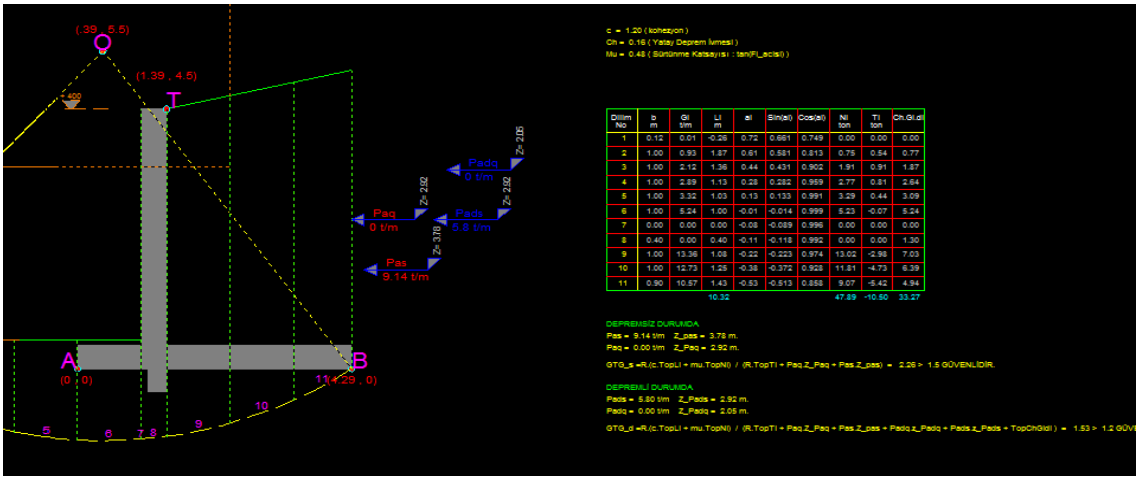
Şekil 4.89. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.90. İstinat duvarlı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.91. İstinat duvarlı C-C' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası

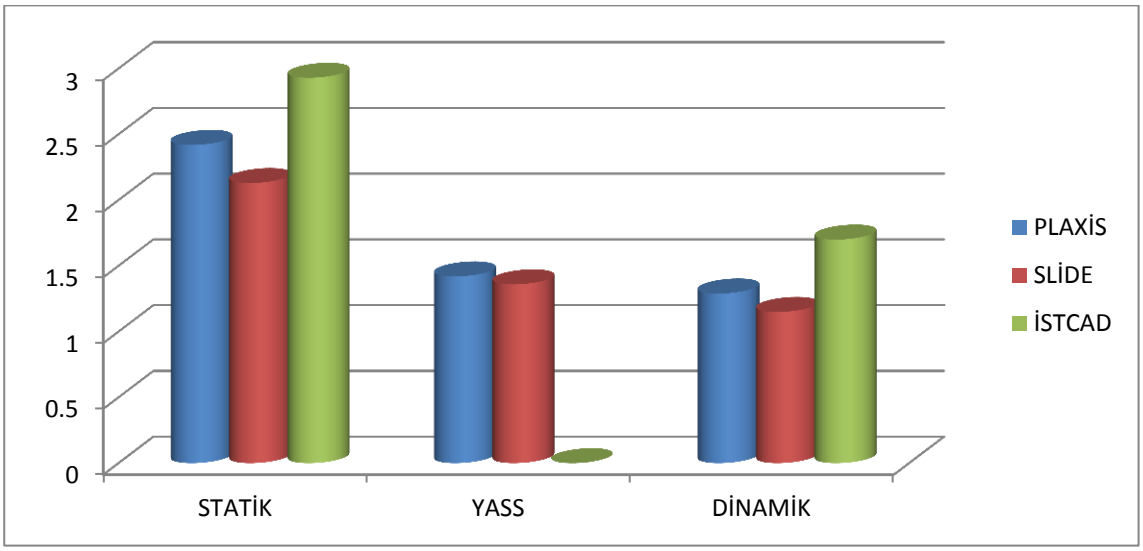


Şekil 4.92. İstinat duvarlı C-C' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan fore kazıklı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.10. ve şekil 4.93.'de görülmektedir.

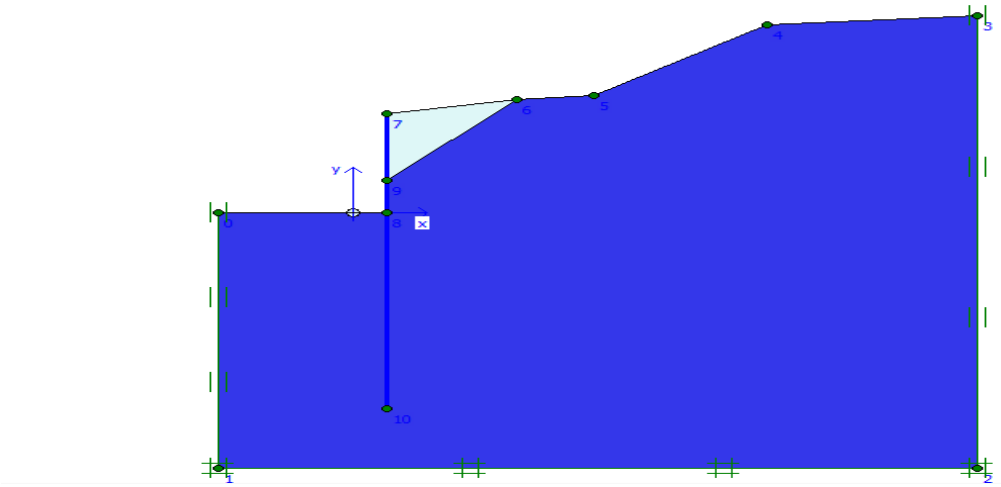
Çizelge 4.10. C-C' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,42	1,29	1,42
Slide 5.v	2,13	1,15	1,36
İstcad 6.0	2,93	1,70	

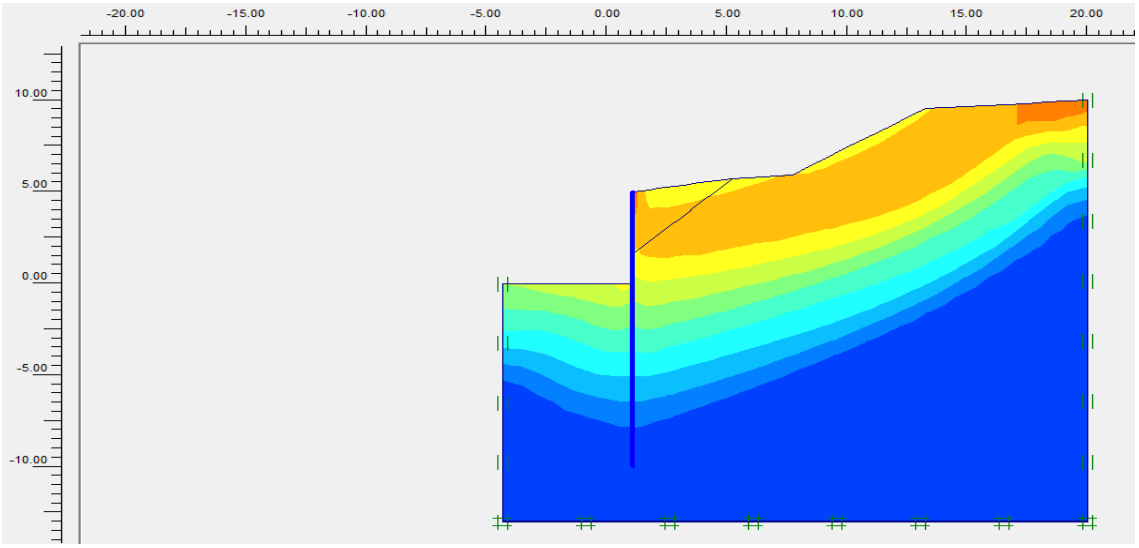


Şekil 4.93. C-C' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

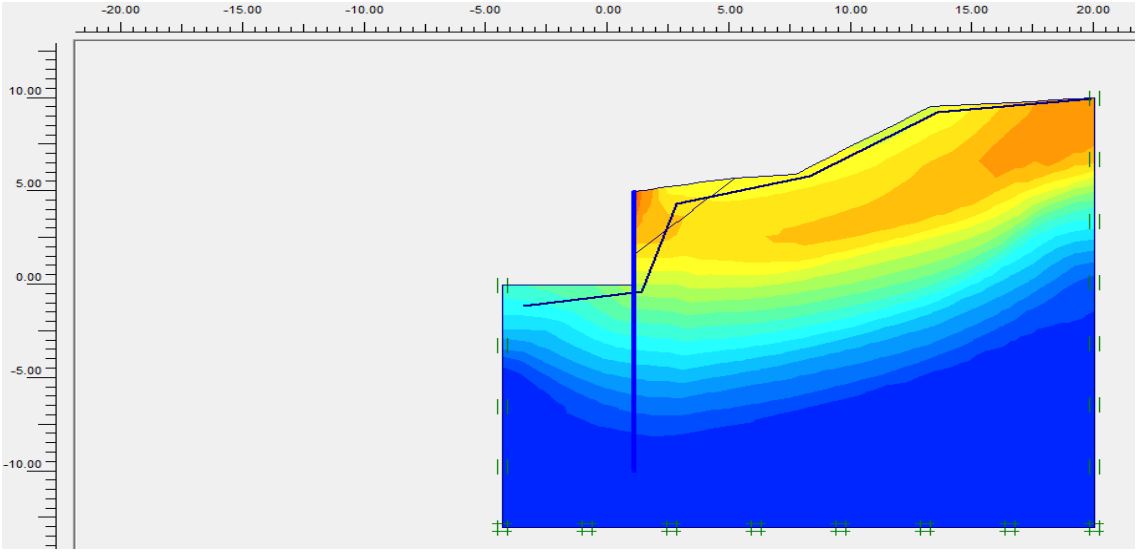
Analizlerde kullanılan fore kazıklı kesit şekil 4.94. ve şekil 4.99.'da görülmektedir. Tüm durum analizlerinde; fore kazık derinliğinin, muhtemel kayma eğrilerinin altında olduğu ve kayma yüzeylerinin Plaxis programında Slide programına göre daha derinsel olduğu görülmektedir (Şekil 4.95.,4.96.,4.97.,4.100.,4.101. ve 4.102.). İstcad programında ise zemin ve fore kazık parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.103. ve şekil 4.104.'de görülmektedir.



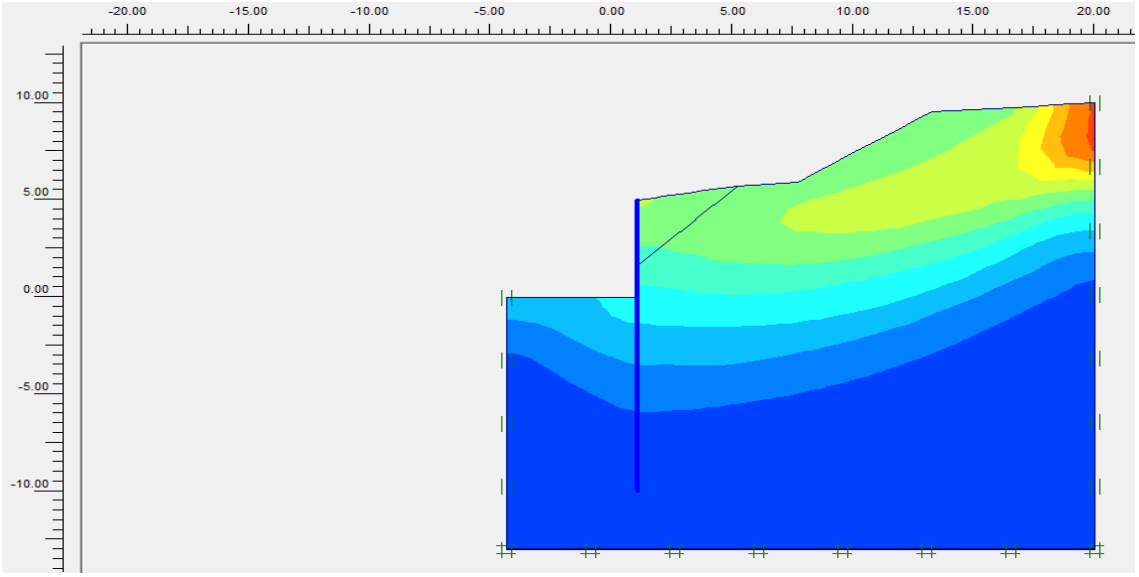
Şekil 4.94. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı C-C' şevine ait kesit



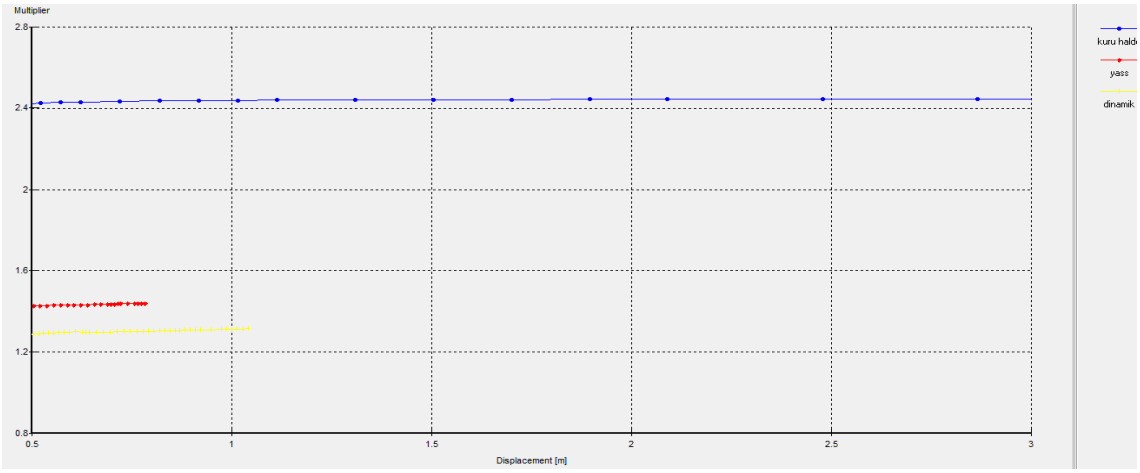
Şekil 4.95. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



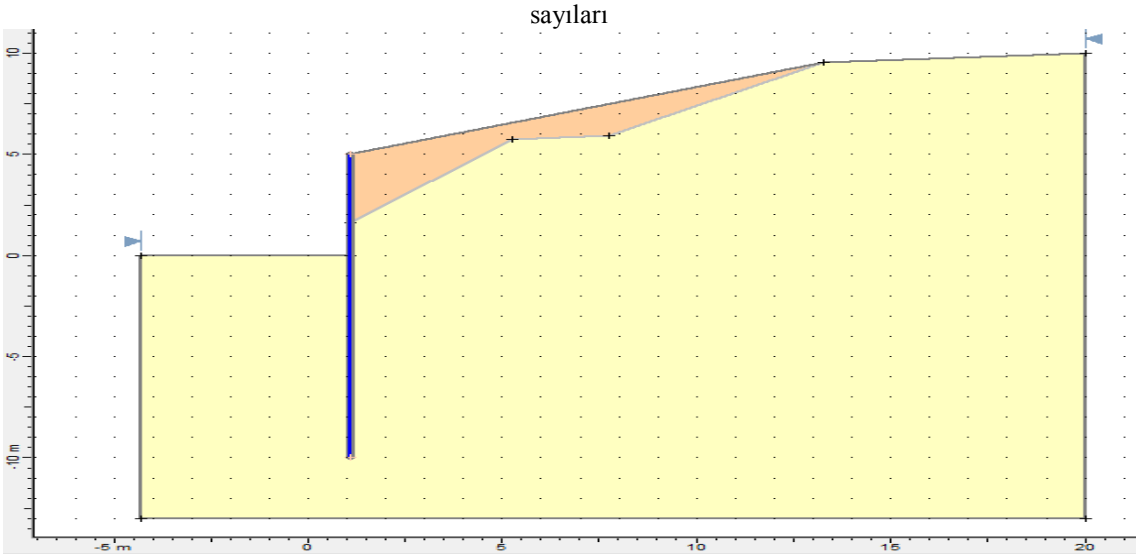
Şekil 4.96. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



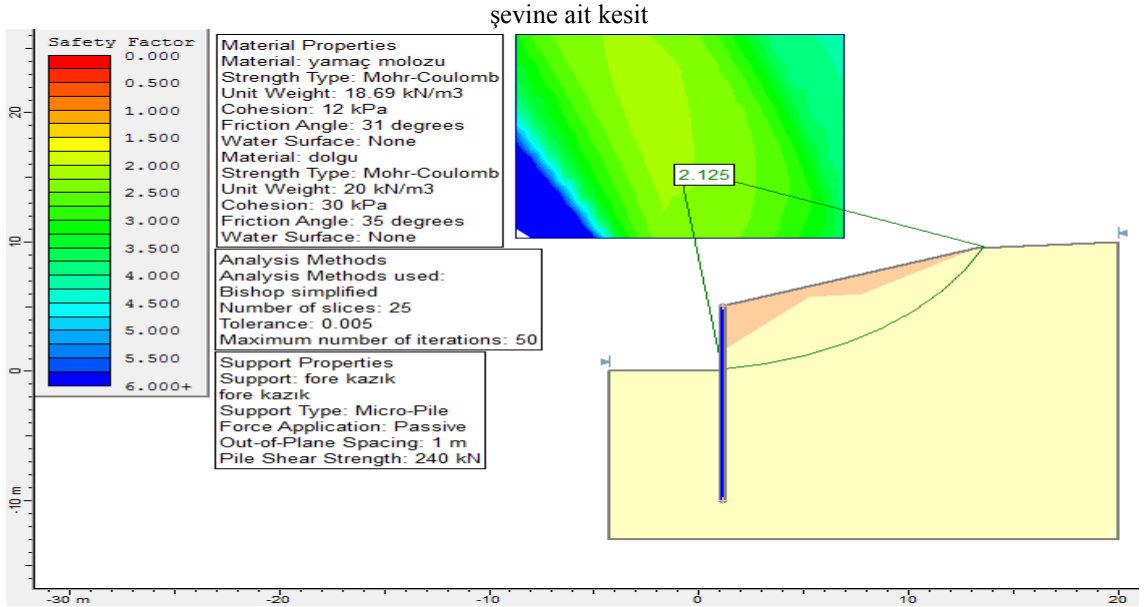
Şekil 4.97. Fore kazıklı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



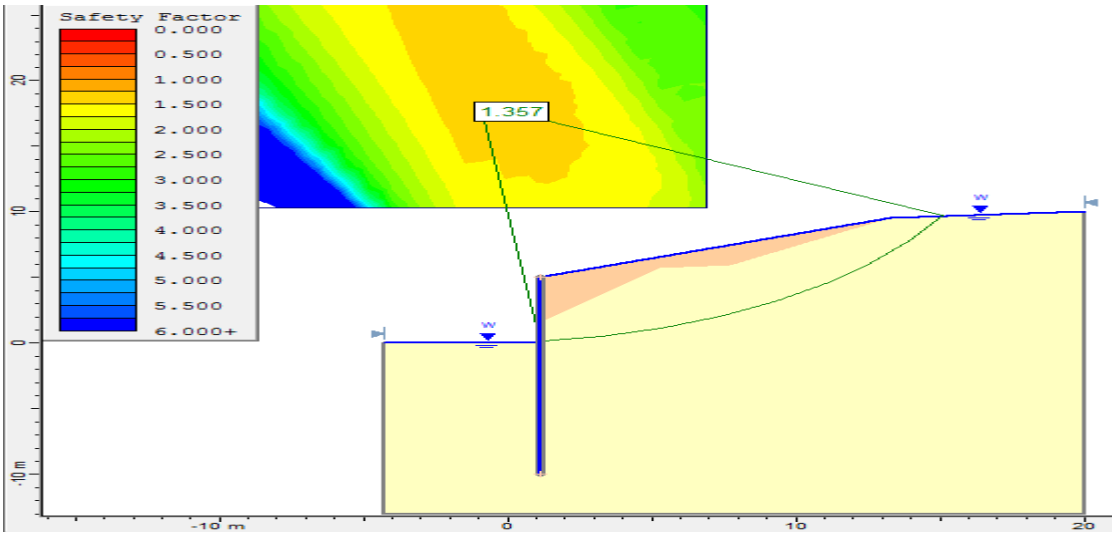
Şekil 4.98. Plaxis'de fore kazıklı C-C' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



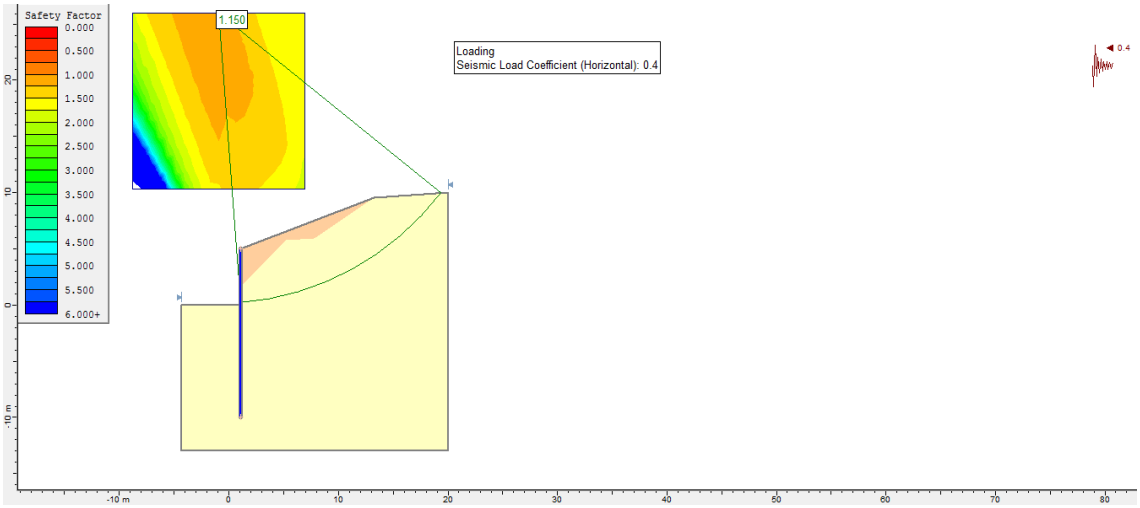
Şekil 4.99. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı C-C' şevine ait kesit



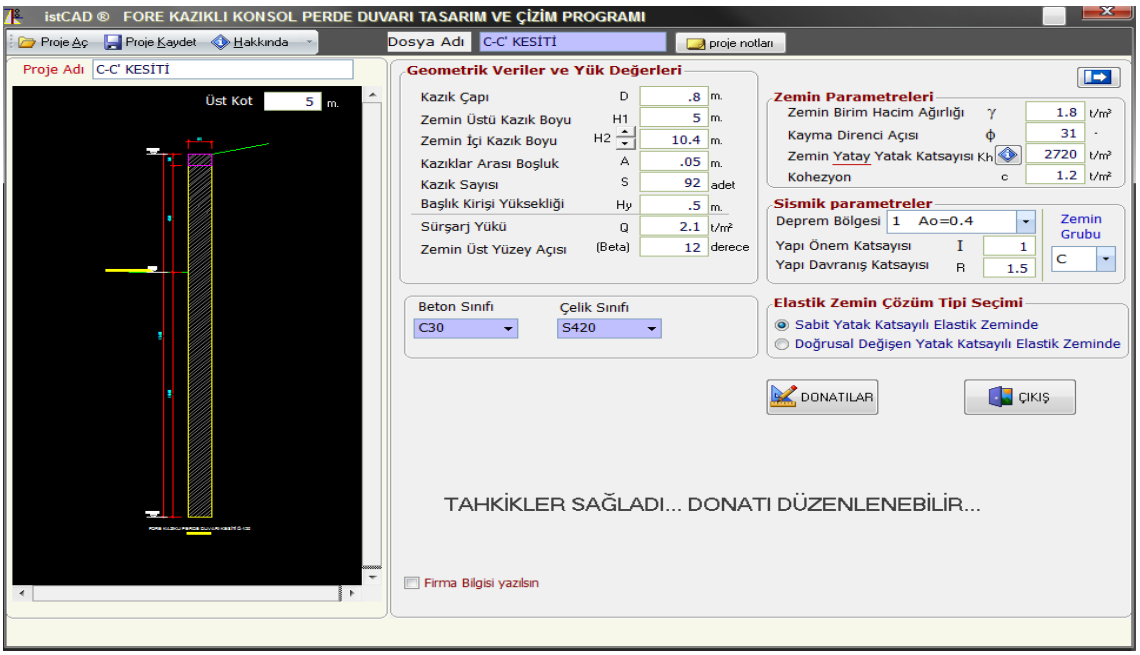
Şekil 4.100. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



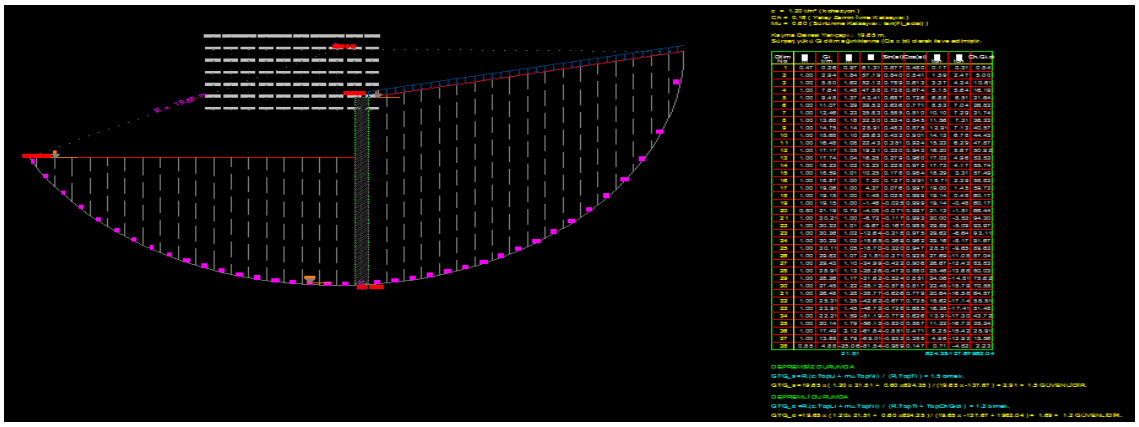
Şekil 4.101. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarında Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.102. Fore kazıklı C-C' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.103. Fore kazıklı C-C' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası



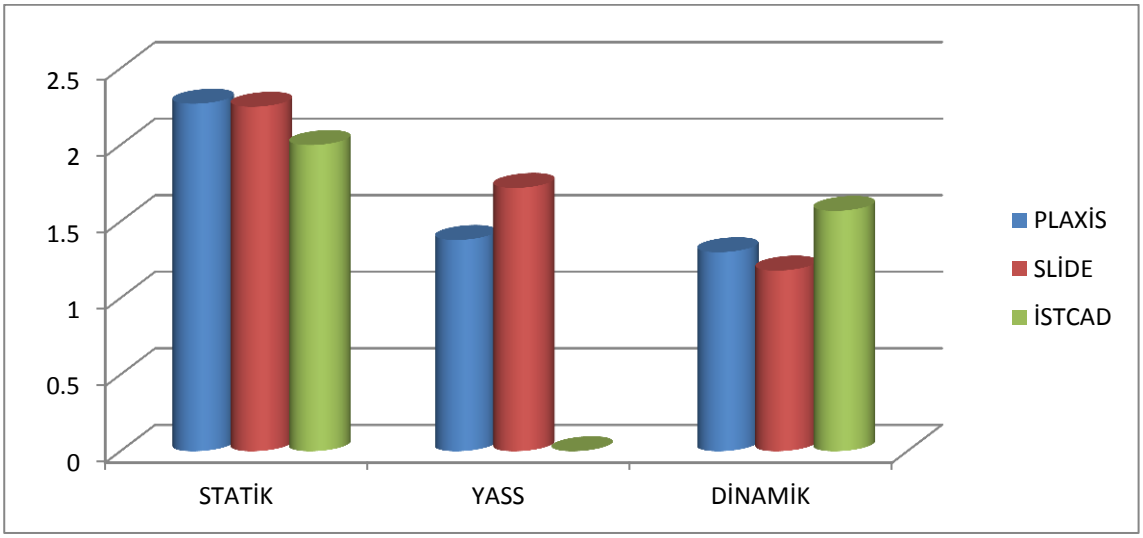
Şekil 4.104. Fore kazıklı C-C' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

4.8. D-D' Kesiti İçin Hazırlanan İyileştirme Projeleri

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan istinat duvarlı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.11. ve şekil 4.105.'de görülmektedir.

Çizelge 4.11. D-D' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

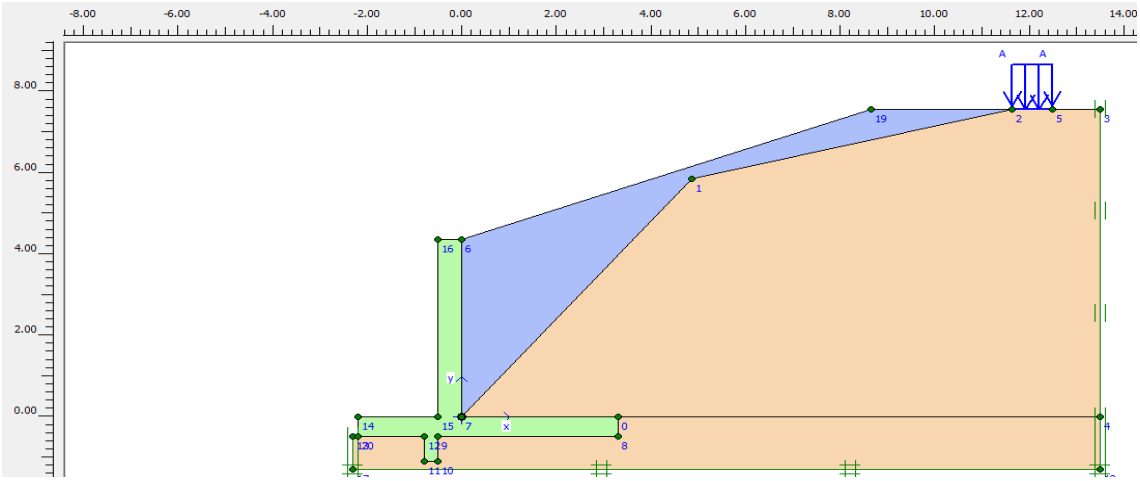
	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,27	1,30	1,38
Slide 5.v	2,25	1,18	1,72
İstcad 6.0	2,00	1,57	



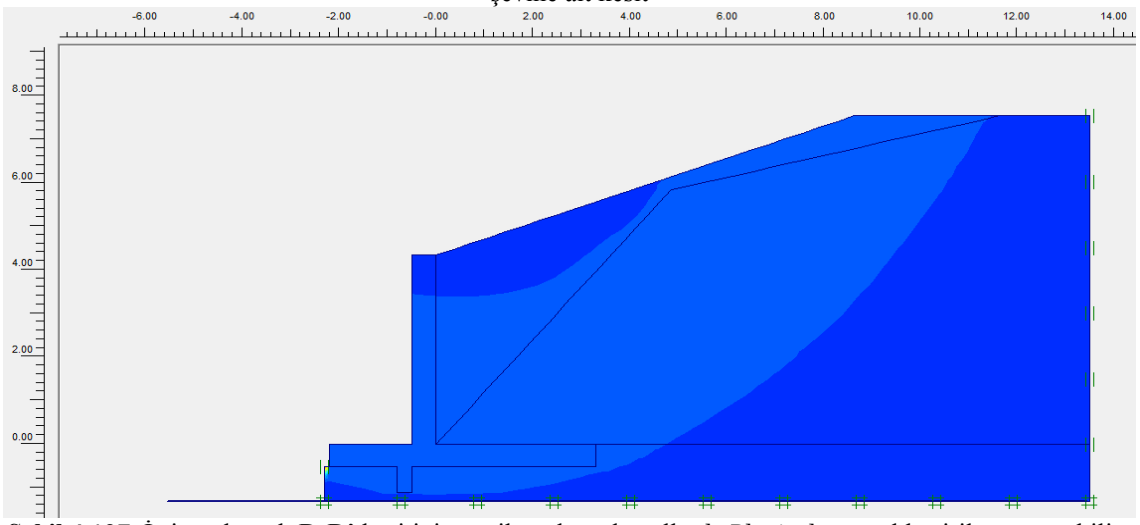
Şekil 4.105. D-D' kesiti için istinat duvarlı güvenlik sayıları

Analizlerde kullanılan istinat duvarlı kesit şekil 4.106. ve 4.111.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda her üç koşul için programlarda yeterli güvenlik sayılarına ulaşılmıştır. Kayma yüzeylerinin her iki programda tüm koşullar için genellikle yakın konumlarda olduğu görülmektedir (Şekil 4.107.,4.108.,4.109.,4.112.,4.113. ve 4.114.).

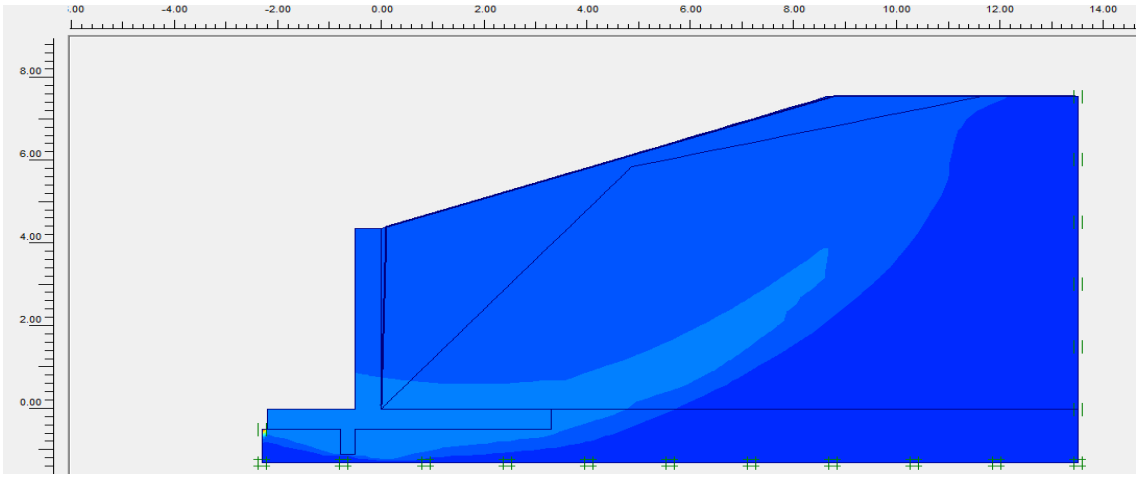
İstcad programında ise zemin ve duvar parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.115. ve şekil 4.116.'da görülmektedir.



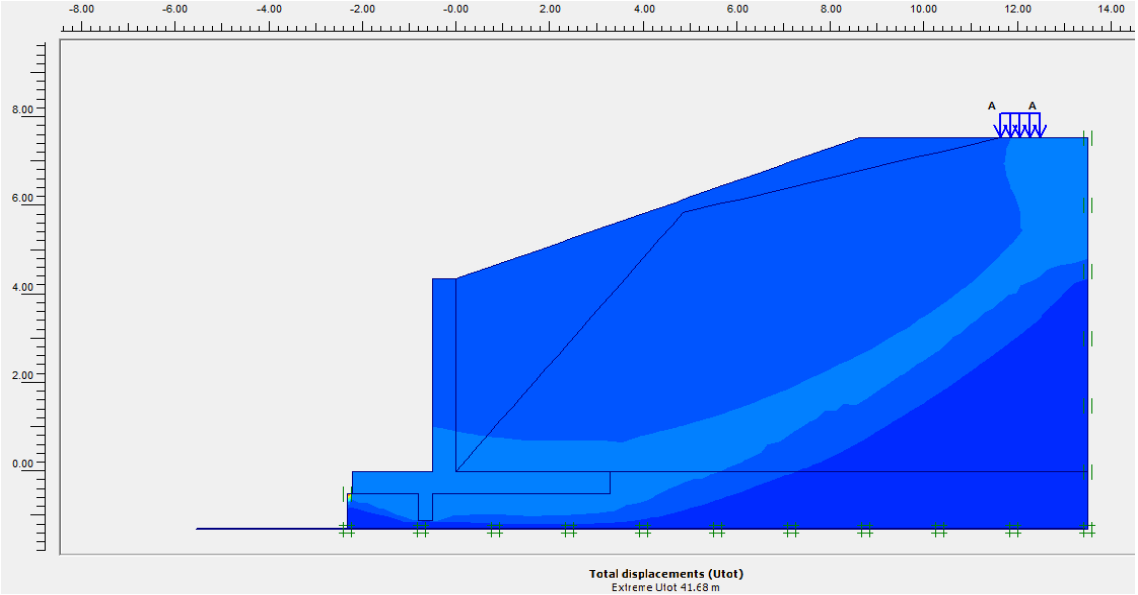
Şekil 4.106. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan istinat duvarlı D-D' şevine ait kesit



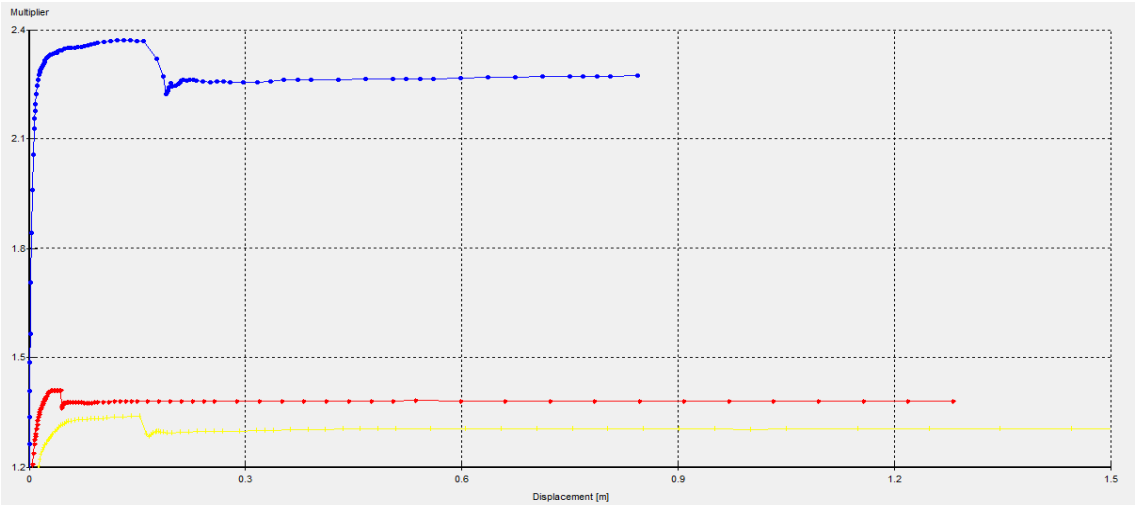
Şekil 4.107. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



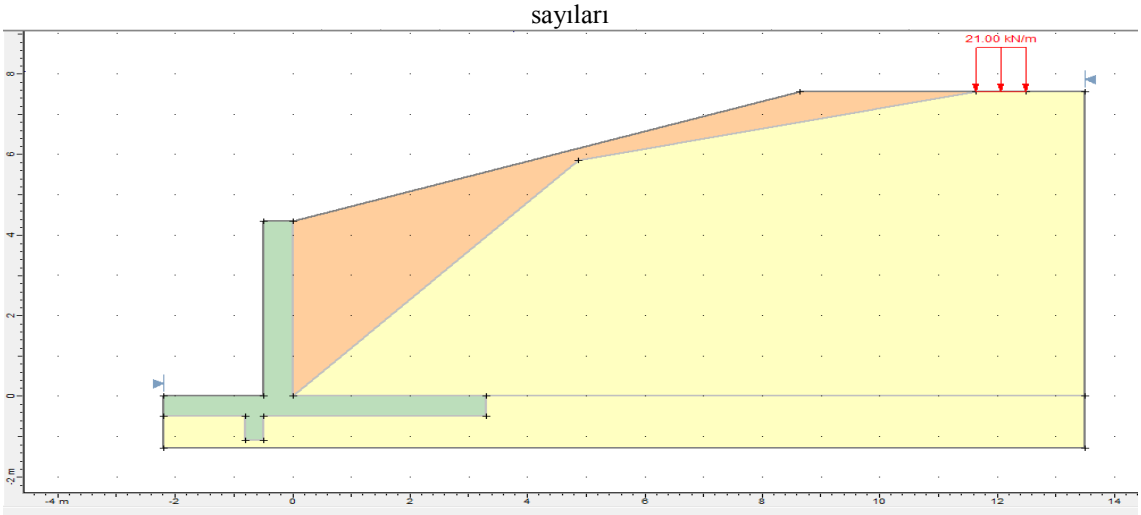
Şekil 4.108. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



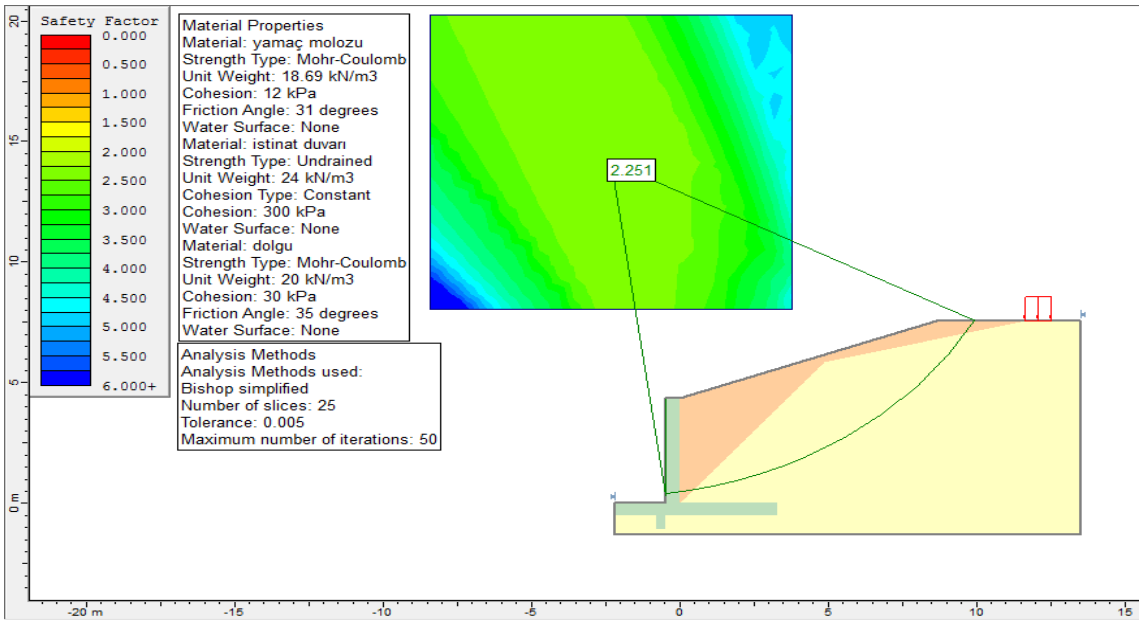
Şekil 4.109. İstinat duvarlı D-D' kesitinin dinamik koşulda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



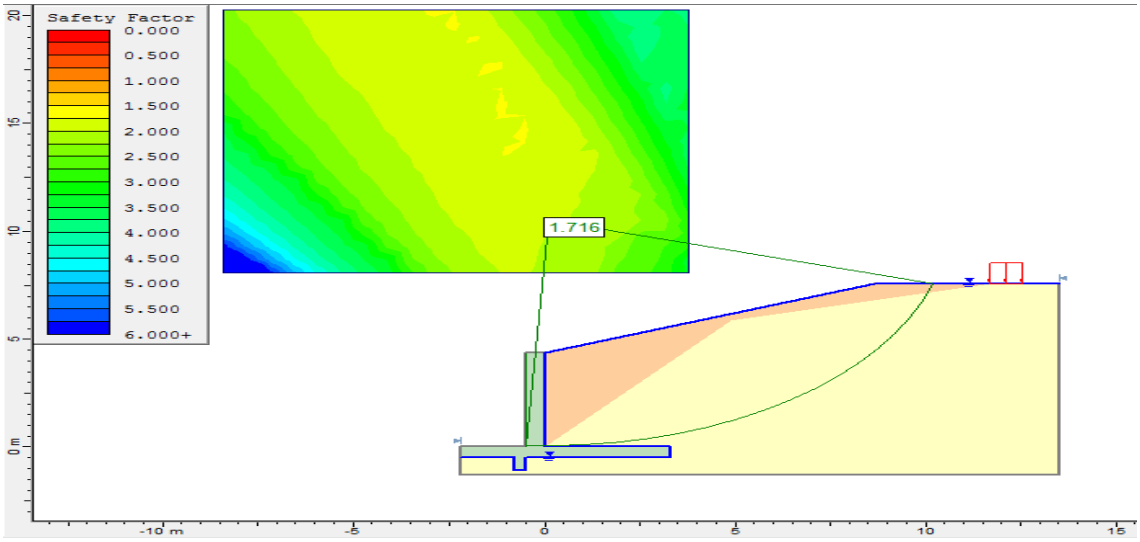
Şekil 4.110. Plaxis'de istinat duvarlı D-D' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



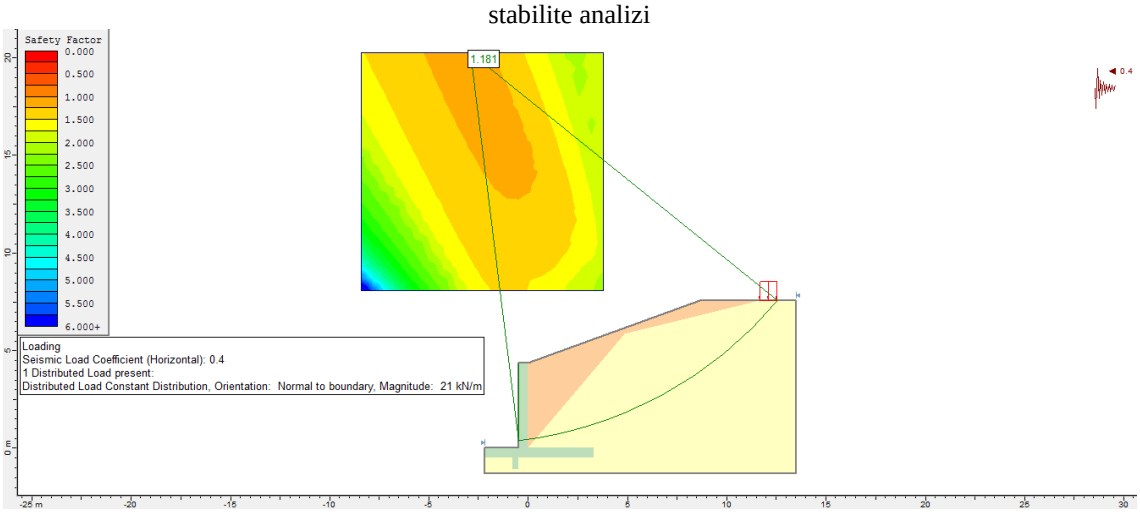
Şekil 4.111. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan istinat duvarlı D-D' şevine ait kesit



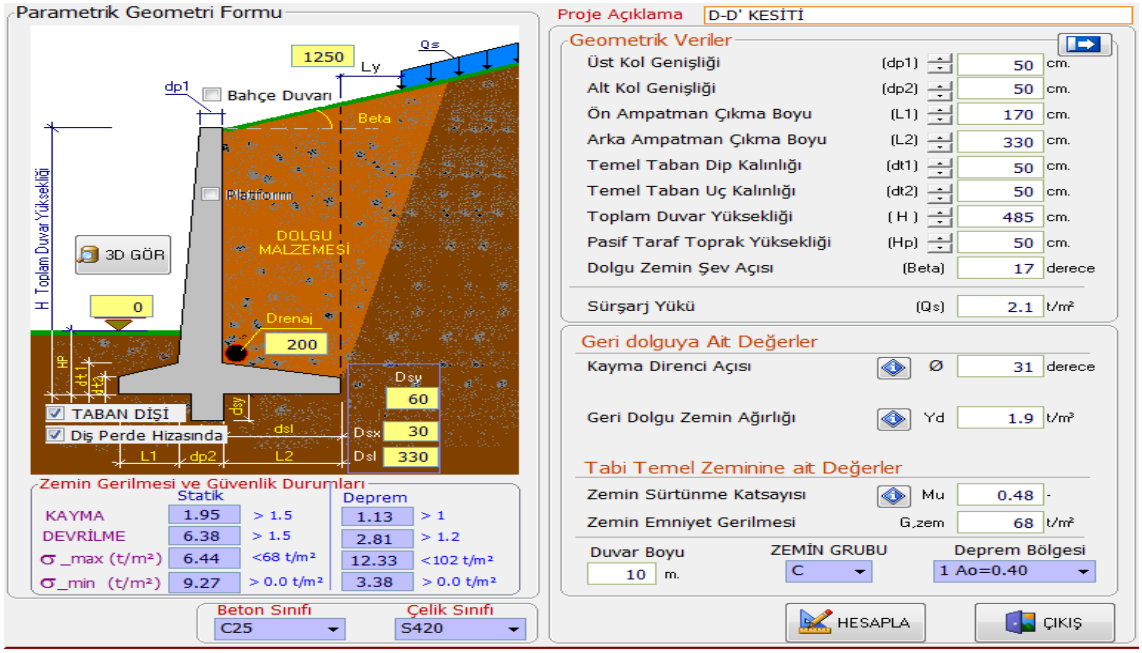
Şekil 4.112. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



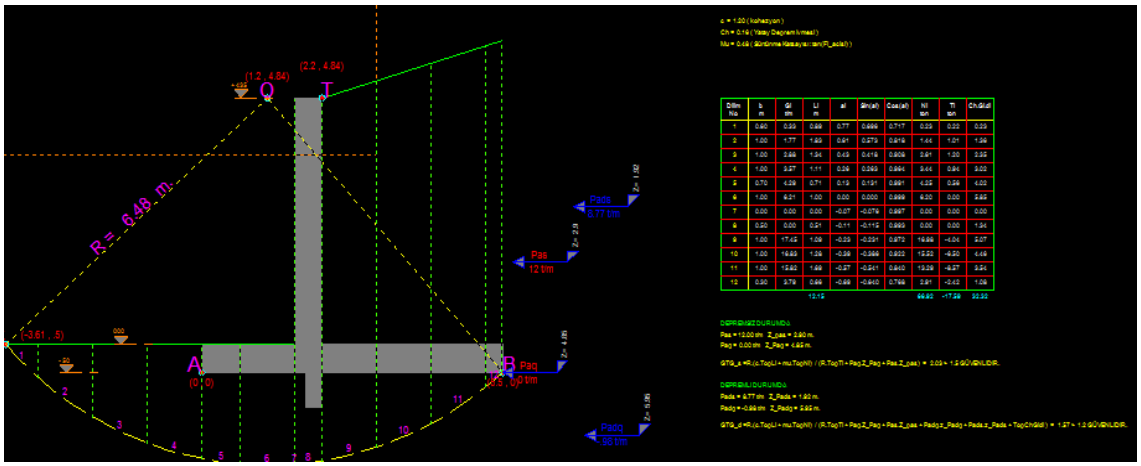
Şekil 4.113. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.114. İstinat duvarlı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.115. İstinat duvarlı D-D' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası

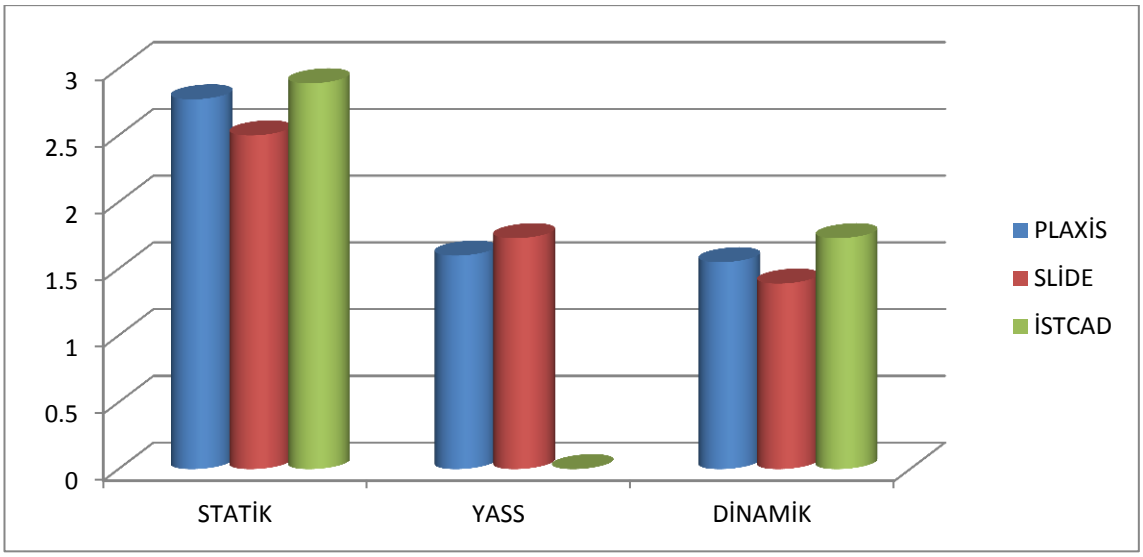


Şekil 4.116. İstinat duvarlı D-D' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak hazırlanan fore kazıklı modelde analizler sonucu elde edilen güvenlik sayısı değerleri çizelge 4.12. ve şekil 4.117'de görülmektedir.

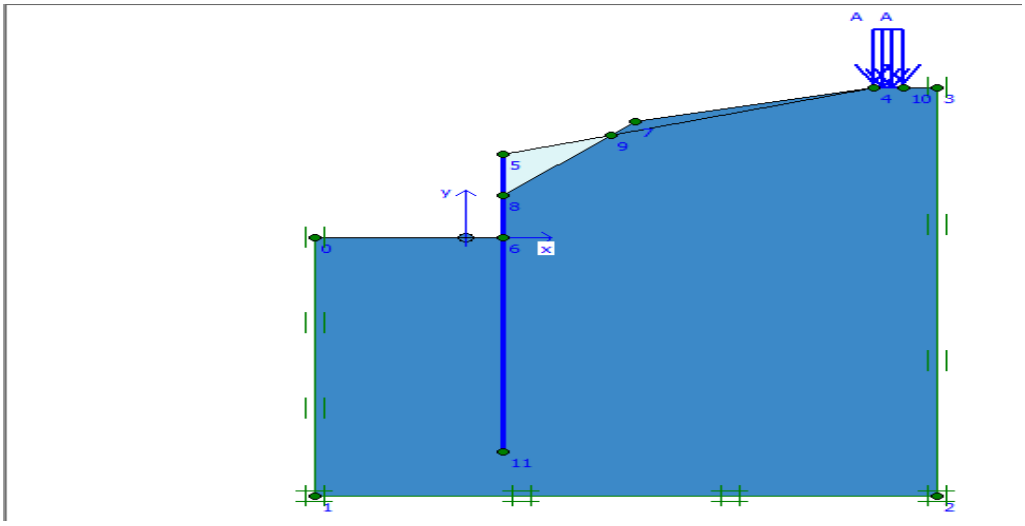
Çizelge 4.12. D-D' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

	Statik Durum	Depremli Durum	YASS
Plaxis 7.2	2,77	1,55	1,60
Slide 5.v	2,50	1,39	1,73
İstcad 6.0	2,89	1,73	

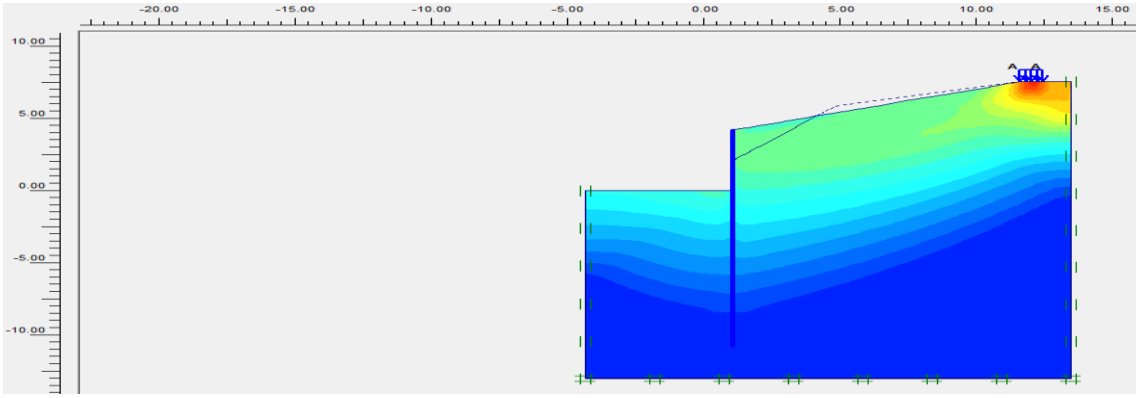


Şekil 4.117. D-D' kesiti için fore kazıklı güvenlik sayıları

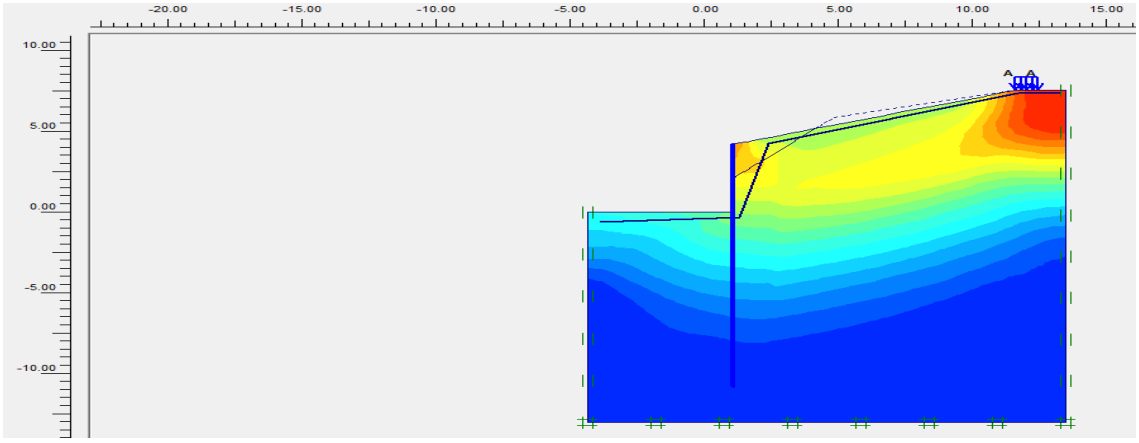
Analizlerde kullanılan fore kazıklı kesit şekil 4.118. ve şekil 4.123.'de görülmektedir. Bu kesit üzerinde gerçekleştirilen analizler sonucunda tüm programlarda farklı koşul durumlarında birbirlerine yakın ve yeterli güvelik sayıları elde edilmiştir. Tüm durum analizlerinde; fore kazık derinliğinin, muhtemel kayma eğrilerinin altında olduğu ve kayma yüzeylerinin plaxis programında Slide programına göre genellikle daha derinsel olduğu görülmektedir (Şekil 4.119.,4.120.,4.121.,4.124.,4.125. ve 4.126.). İstcad programında ise zemin ve fore kazık parametrelerine ait veri giriş sayfası ile bu programda ulaşılan statik, kuru ve dinamik durum analiz değerleri şekil 4.127. ve şekil 4.128.'de görülmektedir.



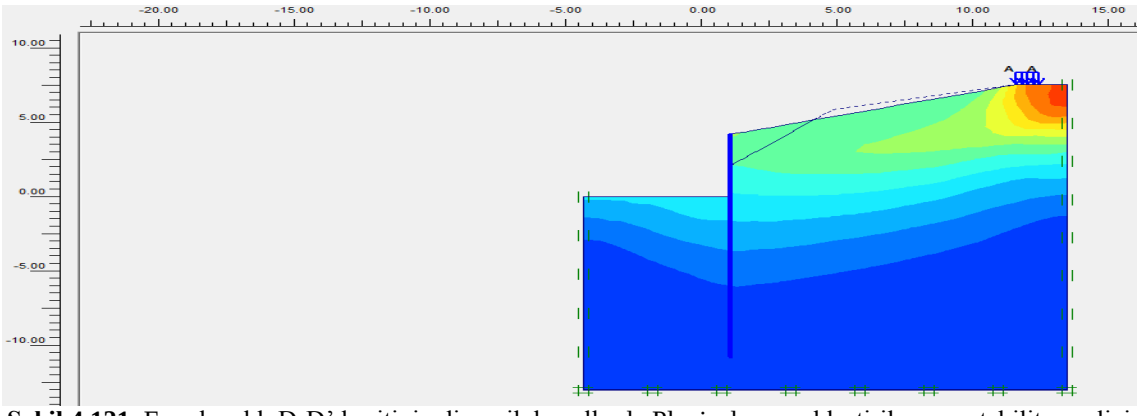
Şekil 4.118. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Plaxis programında hazırlanan fore kazıklı D-D' şevine ait kesit



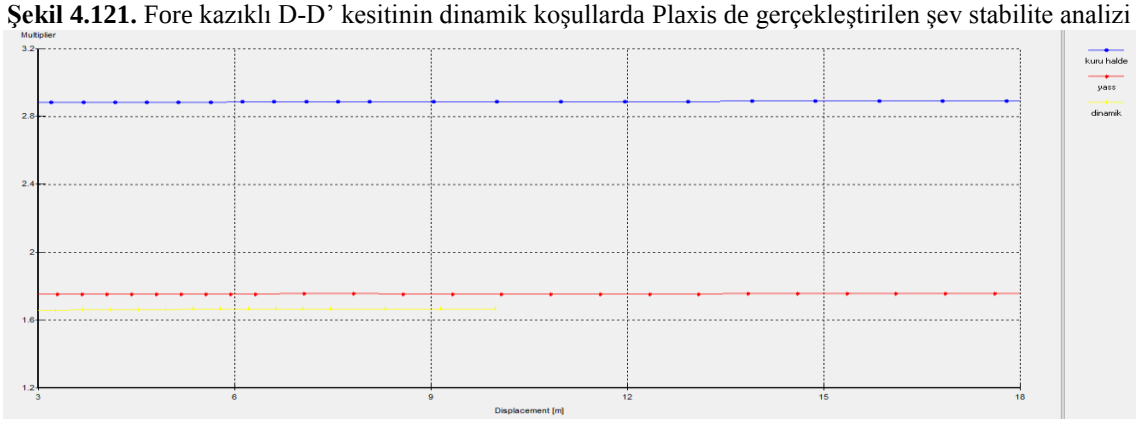
Şekil 4.119. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



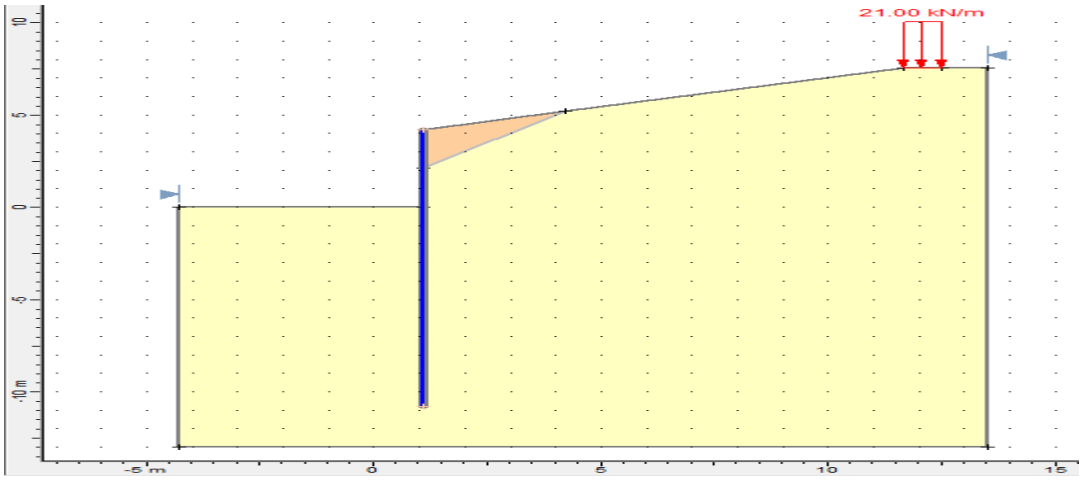
Şekil 4.120. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



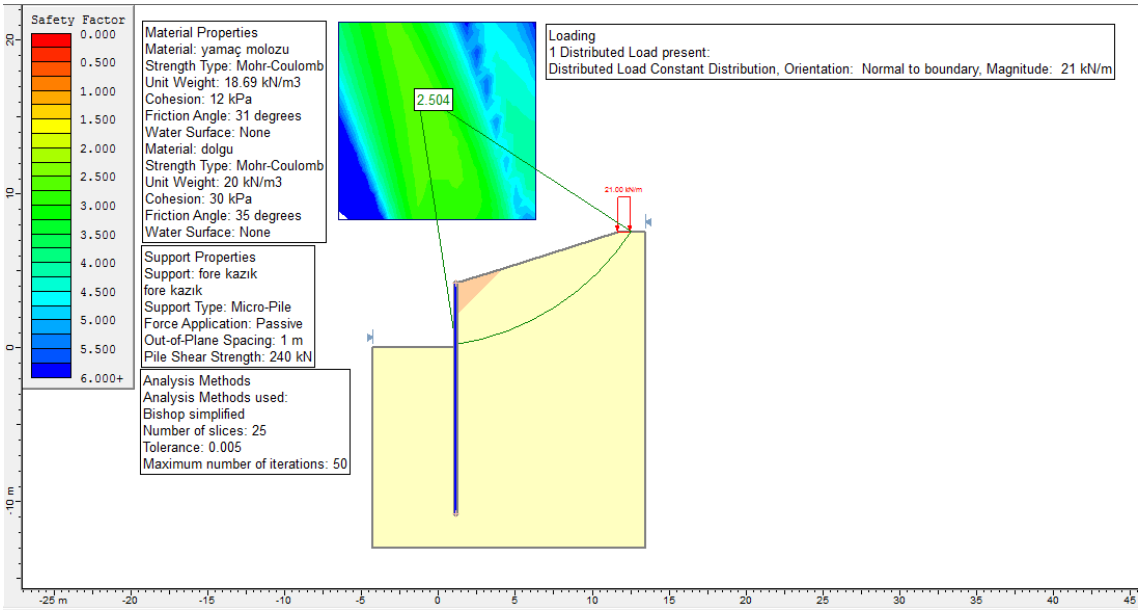
Şekil 4.121. Fore kazıklı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Plaxis de gerçekleştirilen şev stabilite analizi



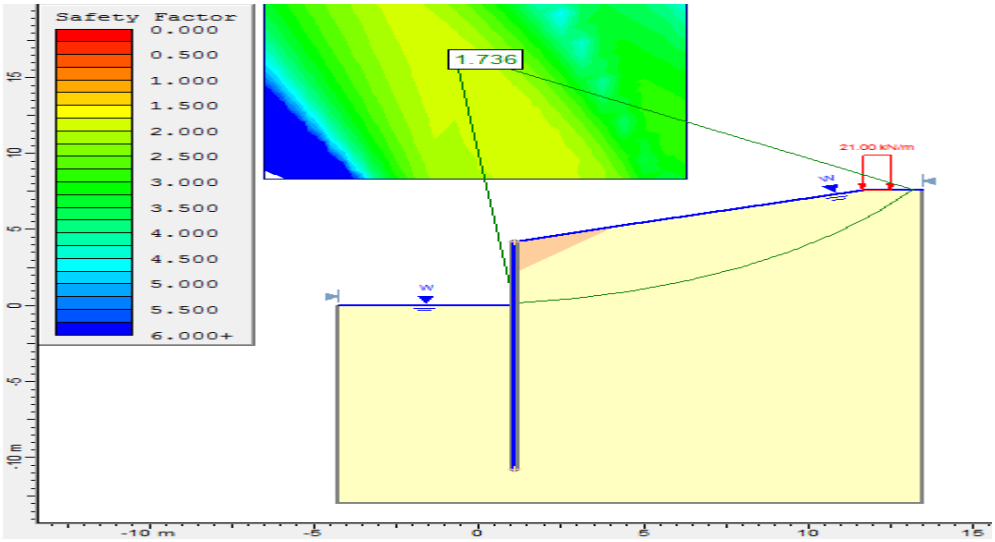
Şekil 4.122. Plaxis'de fore kazıklı D-D' kesitinin kuru, yeraltı suyu ve dinamik koşullardaki güvenlik sayıları



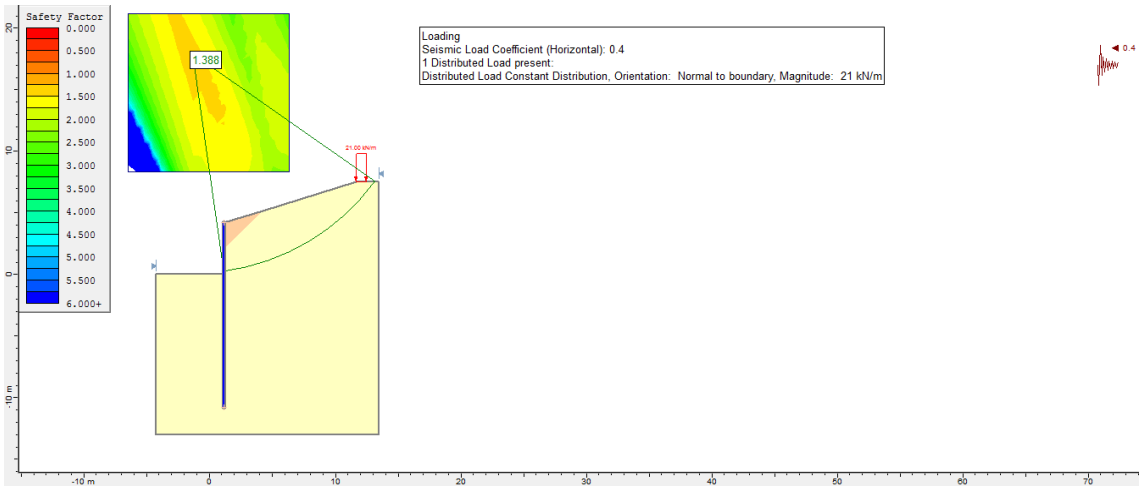
Şekil 4.123. Mevcut zemin profilinin dikkate alınarak Slide programında hazırlanan fore kazıklı D-D' şevine ait kesit



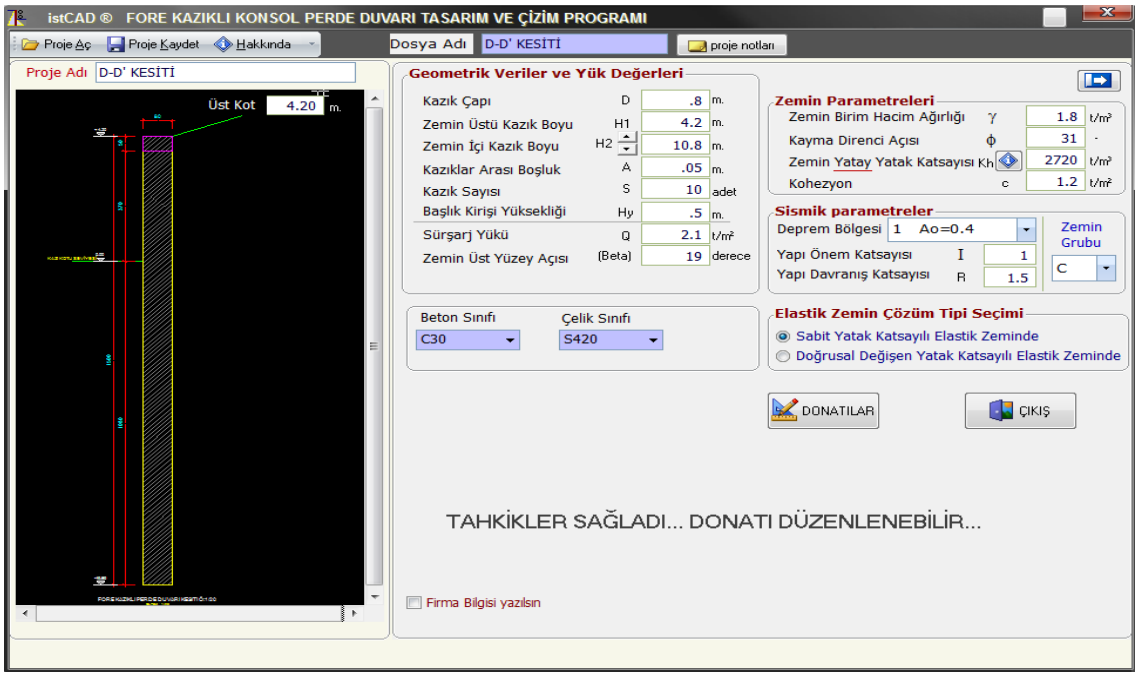
Şekil 4.124. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve kuru koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



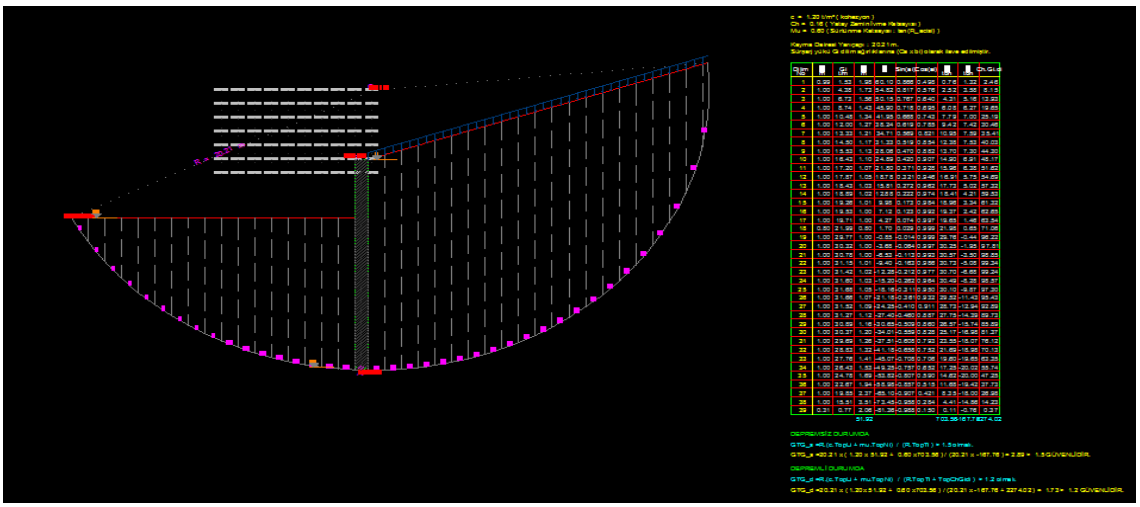
Şekil 4.125. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik ve yeraltı suyu koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.126. Fore kazıklı D-D' kesitinin dinamik koşullarda Slide da gerçekleştirilen şev stabilite analizi



Şekil 4.127. Fore kazıklı D-D' kesitinin İstcad programında veri giriş sayfası



Şekil 4.128. Fore kazıklı D-D' kesitinin statik, kuru koşullar ve dinamik koşullarda İstcad programında gerçekleştirilen şev stabilite analizi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kazı şevlerinde meydana gelen şev hareketleri sonlu elemanlar ve limit denge yöntemini kullanarak analizlerini gerçekleştiren bilgisayar programlarıyla incelenmiştir. İncelenen vakada, trafo merkezinin yapımı sırasında açılan dik kazı şevlerinde sonraki yıllarda yağışlarında etkisiyle kayma ve akma şeklinde hareketler görülmüştür. Sorunun çözümü için öncelikle zemin bilgilerine ve kayma dayanım parametrelerine ihtiyaç duyulmuş bu sebeplerden geoteknik çalışma gerçekleştirilmiştir. Geoteknik rapordaki parametreler; sahanın belirli bölgelerinden alınan şevli yüzey kesitlerinde hem mevcut hem de iyileştirme projeleri kapsamında hazırlanan profiller üzerinde bire bir modellenmiştir. Hazırlanan modeller, limit denge ve sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu iki yöntemin farkları ve farklı koşullarda güvenlik sayılarına etkileri karşılaştırılmış.

Özetle bu şev kayması vakası için zemin parametrelerinin limit denge ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanan programlarla analizlerinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

1. Yapılan analizlerde yeraltı suyu varlığı ve dinamik koşullarda beklendiği gibi statik duruma göre daha düşük güvenlik sayılarına ulaşılmıştır.
2. Mevcut profillerle yapılan analizlerde hem Slide 5.v hem de Plaxis 7.2 programlarında genel olarak birbirine yakın güvenlik sayıları elde edilmiştir.
3. Sonlu elemanlar yönteminde modelleme aşamasında muhtemel kayma eğrisi program tarafından otomatik olarak oluşturulmakta, limit denge yönteminde ise kayma yüzeyinin sınırları kullanıcı tarafından belirlenmektedir. Her iki yöntemle de elde edilen kayma yüzeylerinin birbirine benzer olduğu gözlemlenmiştir.
4. Ele alınan tüm kesitler için gerçekleştirilen analizlerde, stabilite problemlerinin olduğu bu nedenle destek ve dizayn değişikliğine ihtiyaç duyulduğu görülmüştür. İyileştirme amaçlı istinat duvarı ve pasif fore kazık çözümleri ele alınarak gerekli analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, geri dolgu parametreleri, betonarme imalat değerleri ve diğer parametreler (dolgu şev açısı, sürşarj yükü vb.) Plaxis, Slide ve İstcad programlarında aynı değerlerle modellenmiştir.

5. Ele alınan çözüm yöntemlerinde, hem sonlu elemanlar hem de limit denge yöntemi ile gerçekleştirilen analizler; statik, dinamik ve yeraltı suyu koşullarında şevin stabilitesini arttırarak gerekli güvenlik sayısını sağladığı görülmüştür.
6. Gerçekleştirilen analizler ve saha gözlemleri sonucunda derin bir stabilite probleminin olmadığı, kayma hareketinin yüzeysel olarak kabul edilebileceği görülmüştür. Ekte sunulan maliyet tabloları da gözönüne alınarak çözüm yöntemi olarak şev stabilitesini arttırmaya yönelik istinat duvarlı çözüm uygun görülmüştür.
7. İstinat duvarlı çözümün uygulanması durumunda iyileştirme öncesi ve sonrası güvenlik sayısı değerleri çizelge 5.1. de görülmektedir.

Çizelge 5.1. İyileştirme öncesi ve sonrası güvenlik sayısı değerleri

Kesit	Durum	İyileştirme Öncesi		İyileştirme Sonrası		
		Slide	Plaxis	İstcad	Slide	Plaxis
A-A'	Statik	1,70	2,21	4,00	2,97	3,28
	YASS	1,00	1,25 >	-	2,26	2,51
	Dinamik	0,93	1,00	3,23	1,48	1,82
B-B'	Statik	2,10	1,75	2,71	2,93	2,58
	YASS	1,49	1,25	-	2,01	1,90
	Dinamik	1,12	1,00 >	2,32	1,39	1,46
C-C'	Statik	1,69	1,57	2,25	2,74	2,65
	YASS	1,13	1,25 >	-	1,85	1,59
	Dinamik	0,90	1,00 >	1,53	1,23	1,32
D-D'	Statik	1,55	1,45	2,00	2,25	2,27
	YASS	1,10	1,25 >	-	1,72	1,38
	Dinamik	0,93	1,00 >	1,57	1,18	1,30

6. KAYNAKLAR

AIGM, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, s. 159.

Atkinson, J., 1993. An Introduction to The Mechanics of Soils and Foundations, McGraw-Hill Book Company, London.

Bakır, B.S., 2013. Sonbahar-Kış Dönemi Meslekiçi Eğitim Geoteknik Kursu Ders Notları, Mersin, 7.1, 7.45.

Bishop, A.W., 1955. The Use of Slip Circle in The Stability Analysis of Slopes, ***Geotechnique***, ***Vol. 5, No.1.***

Bishop, A.W., and Morgenstern N.R., 1960. Stability Coefficent for Earth Slopes, ***Geotechnique, Vol.10, No. 4, pp. 129-150***.

Bjerrum, L. and Flodin, N., 1960. The Development of Soil Mechanics in Sweden 1900-1925, ***Geotechnique, Vol. 10, No. 1, pp 1-18***.

Bowles, J.E., 1996. Foundation Analysis and Design McGraw-Hill Companies, Inc., New York,
Burmister, D.M. , 1951. Identification and Clasification of Soil – An Apprasial and Statement of Principles, ASTM STP 113, ***Amer. Soc. For Test and Mat., Philadelpia, pp. 3-24, 85-91***

Coduto, D.P., 2006. Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar, Gazi Kitapevi.

Duncan, J.M., Buchignani, A.L., De Wet, M. 1987. An Engineering Manual for Slope Stability Studies, Virginia Tech., Blacksburg, Virginia.

Duncan, J.M. ve Wright, S.G., 2005. Zemin Şevlerinin Duraylılığı, Gazi Kitabevi.

Hammouri, N.A., Malkawi, A.I.H. and Yamin, M.A., 2007. Stability Analysis of Slopes Using The Finite Element Method and Limiting Equlibrium Approach, ***Bulletin of Engineering Geology, Vol.67, pp. 471-478***.

Hoek, E., Brown, E.T., 1997, Practical Estimates or Rock Mass Strength. ***International Journal Rock Mech Mining Sci. & Geomechanics Abstracts, Vol. 34, No.8, pp. 1165-1186***.

Hoek, E., Diederichs, M.S., 2006. Empirical Estimation of Rock Mass Modulus. ***International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43: 203-2015***.

Huvaj, N., 2017. Meslekiçi Eğitim Geoteknik Kursu, İstanbul.

Janbu, N., 1957. Earth Pressure and Bearing Capacity Calculations by Generalized Procedure of Slices, Proc. 4th Int. Conf. SMFE, London, 2, 207-12.

Keskin, M. S., 2009. Güçlendirilmiş Kumlu Şevlere Oturan Yüzeysel Temellerin Deneysel ve Teorik İncelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Keskin, M. S. ve Laman, M., 2007. Sonlu Elemanlar Yönteminin Şev Stabilitesi Problemlerinin Analizinde Kullanılması. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.

Kim, J., Salgado, R. and Lee, J., 2002. Stability Analysis of Complex Soil Slopes Using Limit Analysis, ***Geotech. Geoenviron. Eng. ASCE 128-7: 546-557***.

Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall.

Marinos, P., Hoek, E. 2001. Estimating The Geotechnical Properties of Heterogeneous Rock Masses such as Flysch Bull Eng. ***Geotech. Environ. Vol. 61, pp. 85-92***.

Morgenstern, N.R. and Price, V.E. 1965. ***The Analysis of The Stability of General Slip Surfaces, Geotechnique, Vol. 15, pp. 1: 93***.

Newmark, N., 1965. Effects of Earthquakes on Dams and Embankments, ***Geotechnique, Vol. 5, No. 2***.

Özbek, A., 2017. 154 kV Çağlayan (Suçatı-Kahramanmaraş) Trafo Merkezi Kazı Şevlerinde Oluşan Duraysızlıkların Analizine Yönelik Jeoteknik Rapor, Kahramanmaraş.

Petterson, K.E., 1955. The Early History of Circular Sliding Surfaces, ***Geotechnique, Vol. 5, pp. 275-296***.

Rockscience inc., 2015, ROCLAB Rock Mass Strength Analysis Using The Generalized Hoek-Brown Failure Criterion, Toronto.

Seed, H.B., and Martin, G.R., 1966. The Seismic Coefficient in Earth Dam Design, ***JSMFD, ASCE, Vol. 92, No. SM3.***

Skempton, A.W., 1964. Long-term Stability of Clay Slopes, Rankine Lecture, ***Geotechnique, 14, pp. 77-101.***

Spencer, E., 1967. A Method of Analysis of The Stability of Embankments Assuming Parallel Interslice Forces, ***Geotechnique, 17, 11-26.***

TS 1500, 2000. İnşaat Mühendisliğinde Zeminlerin Sınıflandırılması, Türk Standartları Enstitüsü s. 14.

TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü s.99.

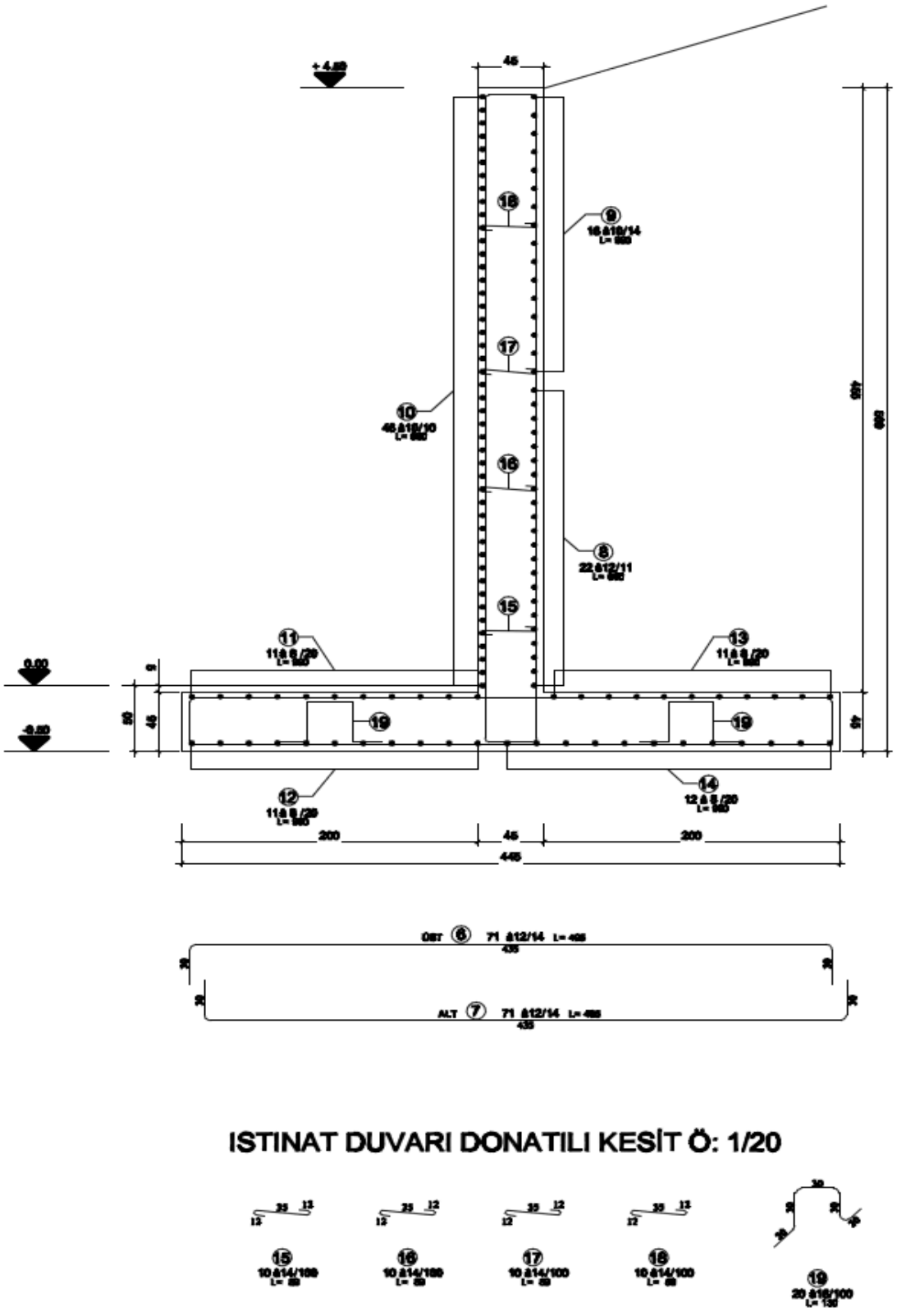
TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, s. 68.

Wyllie, D.C., 1992. Foundations on Rock, Chapman-Hall p. 333, England.

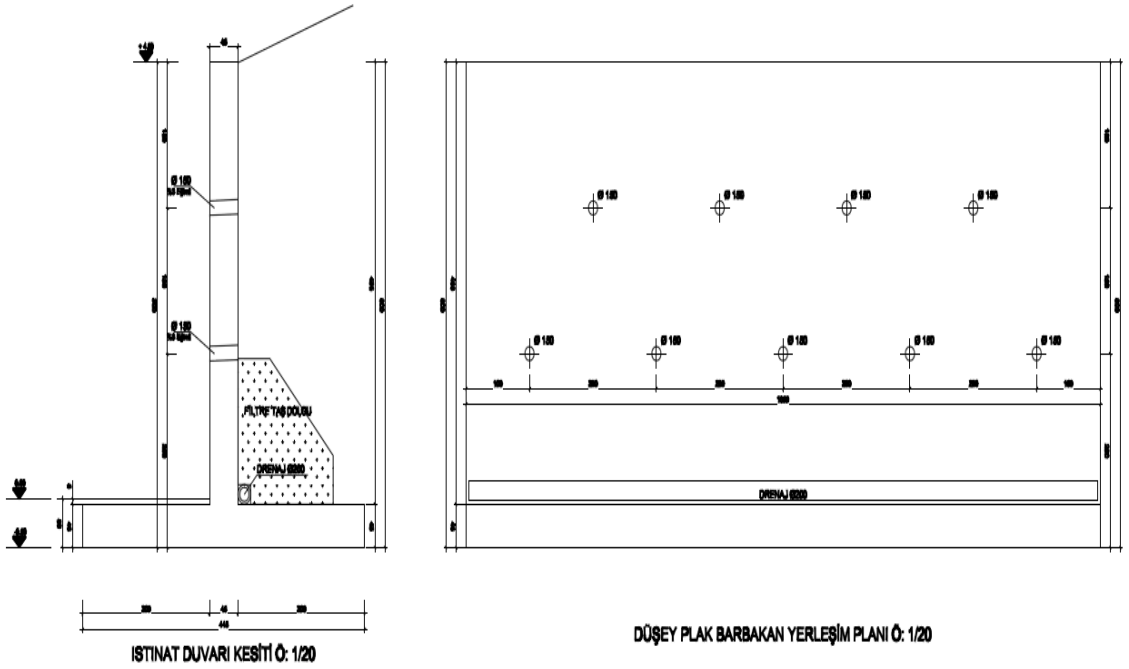
Zeinkiewicz, O.C. 1977. The Finite-Element Method 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Co. p. 787.

EKLER

EK 1. A-A’ ve B-B’ kesitleri istinat duvarı donatı detayı



EK 2. A-A’ ve B-B’ kesitleri istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı



ISTINAT DUVARI KESİTİ Ö: 1/20

DÜŞEY PLAK BARBAKAN YERLEŞİM PLANI Ö: 1/20

EK 3. A-A' ve B-B' kesitleri istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre boyunca)

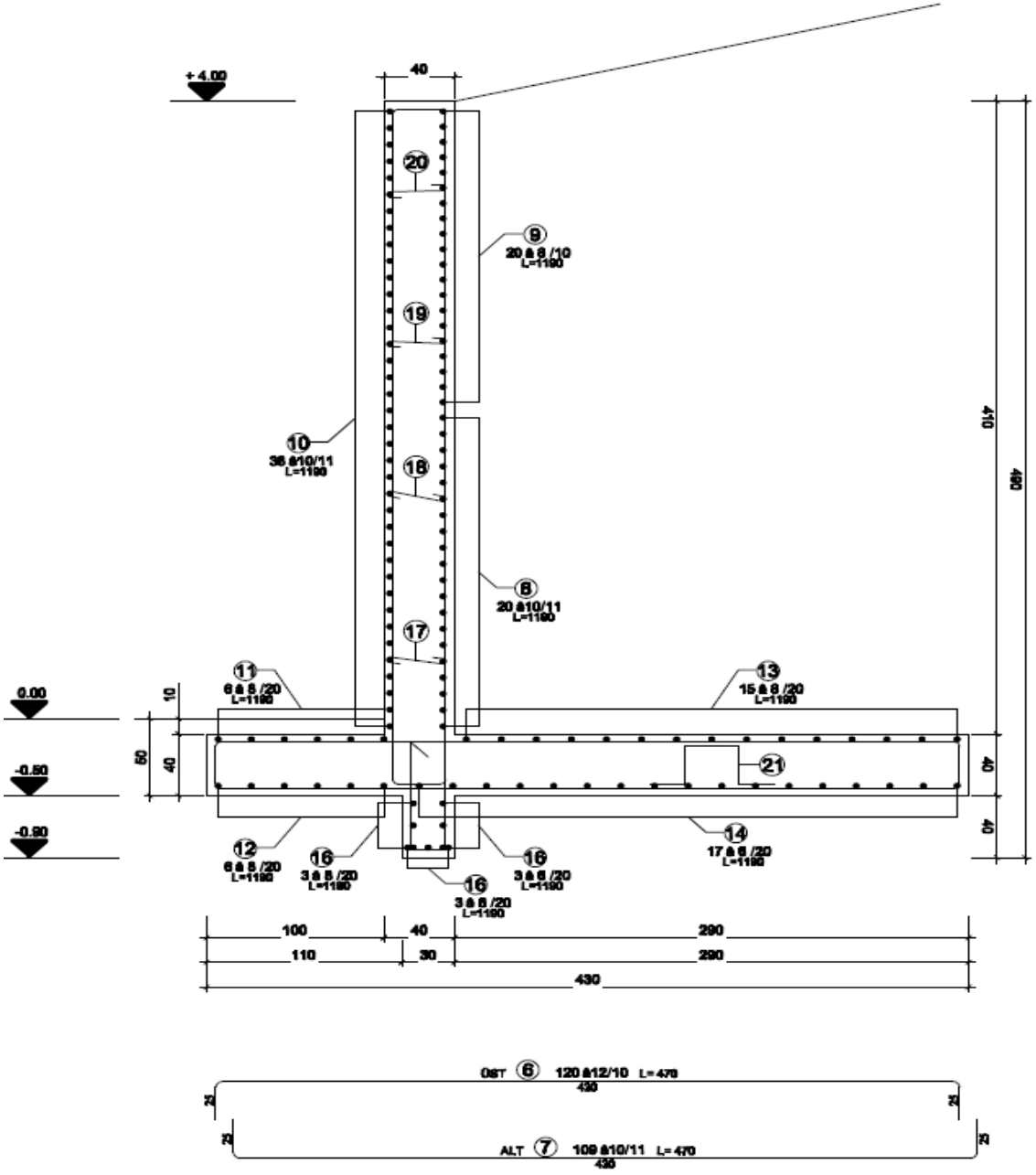
DEMIR METRAJ TABLOSU

POZ	ADET	BOY	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 14	Ø 16	Ø 20
1	100	1.83						183.00
2	100	2.72						272.00
3	71	3.02			214.42			
4	91	1.83		166.53				
5	91	4.60		418.60				
6	71	4.95			351.45			
7	71	4.95			351.45			
8	22	9.90			217.80			
9	16	9.90		158.40				
10	46	9.90		455.40				
11	11	9.90	108.90					
12	11	9.90	108.90					
13	11	9.90	108.90					
14	12	9.90	118.80					
15	10	0.59				5.90		
16	10	0.59				5.90		
17	10	0.59				5.90		
18	10	0.59				5.90		
19	20	1.30					26.00	
Toplam Boylar			445.50	1198.93	1135.12	23.60	26.00	455.00
Birim Ağırlık			0.3945	0.6165	0.8878	1.2084	1.5783	2.4661
Toplam Ağırlık			175.74	739.14	1007.75	28.51	41.03	1122.07

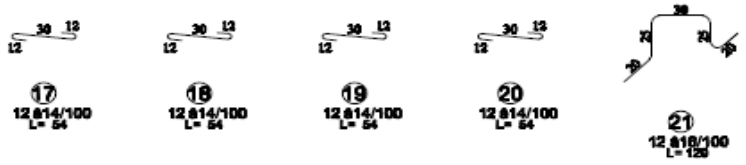
Demir Toplamı	3114.27	kg
Beton Miktarı	40.50	m3
Demir / Beton	76.89	kg/m3
Kalıp Miktarı	100.00	m2

Beton Sınıfı	C25
Çelik Sınıfı	S420

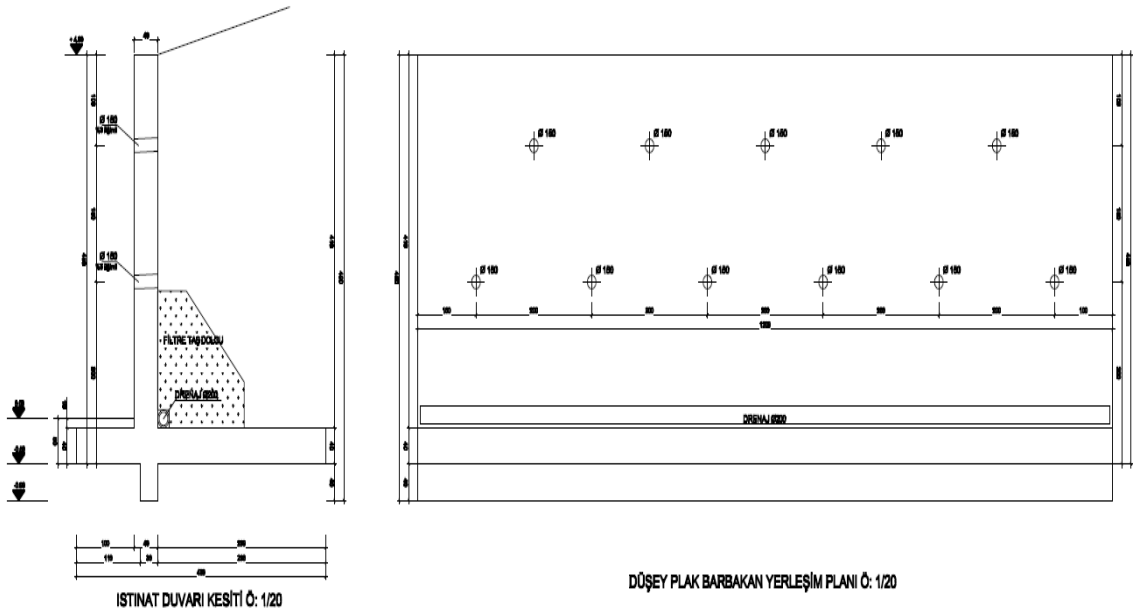
EK 4. C-C’ kesiti istinat duvarı donatı detayı



ISTINAT DUVARI DONATILI KESİT Ö: 1/20



EK 5. C-C’ kesiti istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı



EK 6. C-C' kesiti istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre boyunca)

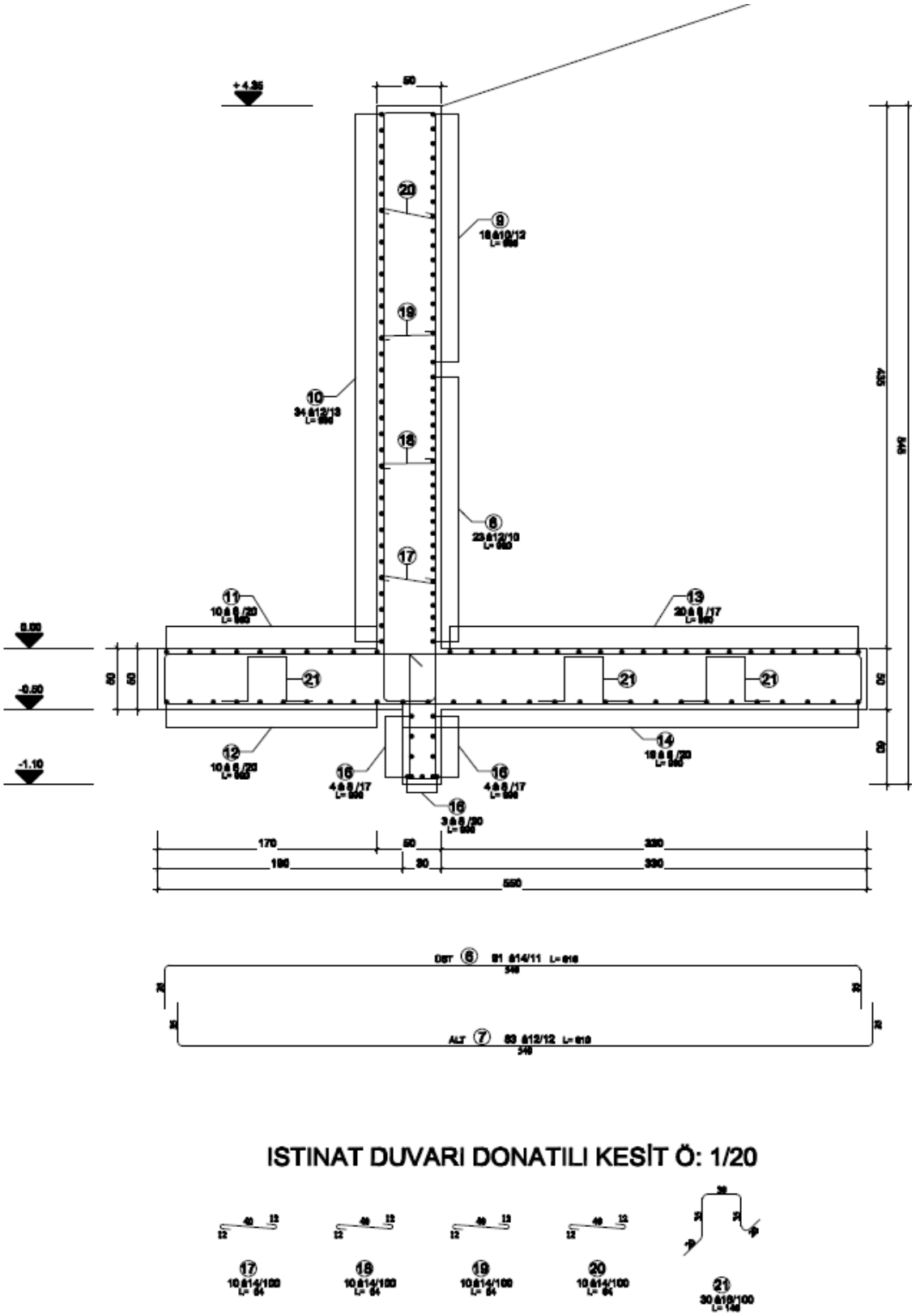
DEMIR METRAJ TABLOSU

POZ	ADET	BOY	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 14	Ø 16
1	109	1.77					192.93
2	109	2.50					272.50
3	109	2.75		299.75			
4	100	1.77		177.00			
5	100	4.15		415.00			
6	120	4.70			564.00		
7	109	4.70		512.30			
8	20	11.90		238.00			
9	20	11.90	238.00				
10	38	11.90		452.20			
11	6	11.90	71.40				
12	6	11.90	71.40				
13	15	11.90	178.50				
14	17	11.90	202.30				
15	92	2.00			184.00		
16	5	11.90	59.50				
17	12	0.54				6.48	
18	12	0.54				6.48	
19	12	0.54				6.48	
20	12	0.54				6.48	
21	12	1.20					14.40
Toplam Boylar			821.10	2094.25	748.00	25.92	479.83
Birim Ağırlık			0.3945	0.6165	0.8878	1.2084	1.5783
Toplam Ağırlık			323.92	1291.10	664.07	31.32	757.31

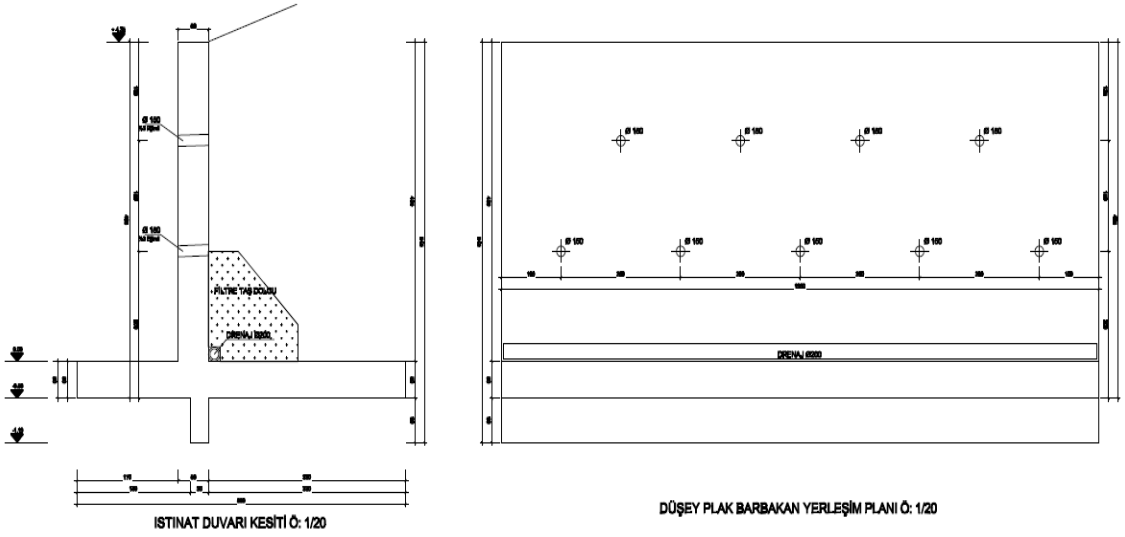
Demir Toplamı	3067.74	kg
Beton Miktarı	41.76	m3
Demir / Beton	73.46	kg/m3
Kalıp Miktarı	117.60	m2

Beton Sınıfı	C25
Çelik Sınıfı	S420

EK 7. D-D’ kesiti istinat duvarı donatı detayı



EK 8. D-D’ kesiti istinat duvarı kesit resmi ve barbakan yerleşim planı



EK 9. D-D' kesiti istinat duvarı donatı metraj tablosu (10 metre boyunca)

DEMIR METRAJ TABLOSU

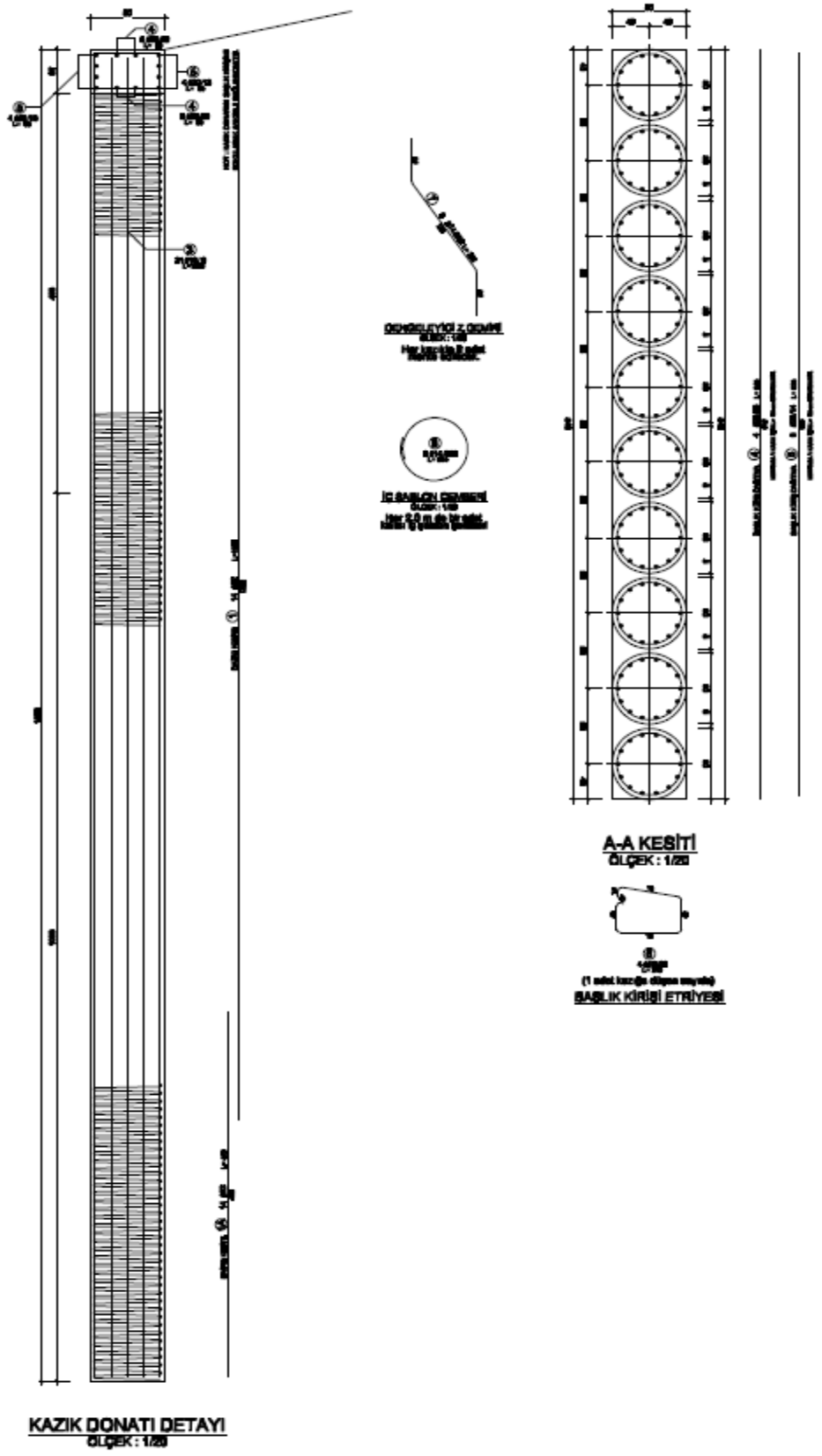
POZ	ADET	BOY	Ø 8	Ø 10	Ø 12	Ø 14	Ø 16	Ø 22
1	91	1.87						170.17
2	91	2.62						238.42
3	83	2.97			246.51			
4	100	1.88		188.00				
5	100	4.40		440.00				
6	91	6.10				555.10		
7	83	6.10			506.30			
8	23	9.90			227.70			
9	18	9.90		178.20				
10	34	9.90			336.60			
11	10	9.90	99.00					
12	10	9.90	99.00					
13	20	9.90	198.00					
14	19	9.90	188.10					
15	91	2.60				236.60		
16	7	9.90	69.30					
17	10	0.64				6.40		
18	10	0.64				6.40		
19	10	0.64				6.40		
20	10	0.64				6.40		
21	30	1.40					42.00	

Toplam Boylar	653.40	806.20	1317.11	817.30	42.00	408.59
Birim Ağırlık	0.3945	0.6165	0.8678	1.2064	1.5763	2.9640
Toplam Ağırlık	257.76	497.02	1169.33	987.62	66.28	1219.23

Demir Toplamı	4197.26	kg
Beton Miktarı	51.05	m3
Demir / Beton	82.21	kg/m3
Kalıp Miktarı	109.00	m2

Beton Sınıfı	C25
Çelik Sınıfı	S420

EK 10. Fore kazık donatı detayı



EK 11. Fore kazık donatı metraj tablosu (1 adet)

METRAJ 1 ADET KAZIK VE BAŞLIĞINA AİT DEĞERLERİ İÇERİR.

DEMIR METRAJ TABLOSU

POZ	ADET	BOY	Ø 10	Ø 14	Ø 20	Ø 22
1	14	12.00				168.00
1A	14	4.10				57.40
3	31	12.00	372.00			
4	4	0.85			3.40	
5	8	0.85			6.80	
6	4	2.40	9.60			
7	6	2.22		13.32		
8	8	2.44		19.52		
Toplam Boylar			381.60	32.84	10.20	225.40
Birim Ağırlık			0.6165	1.2084	2.4661	2.9840
Toplam Ağırlık			235.25	39.68	25.15	672.59

Demir Toplamı	972.68	kg
Beton Miktarı	7.54	m3
Demir / Beton	129.00	kg/m3
Kalıp Miktarı	0.85	m2

Beton Sınıfı	C30
Çelik Sınıfı	S420

EK 12. İstinat duvar imalatı yaklaşık maliyet hesabı

SIRA NO	POZ NO	İMALATIN ADI	MİKTAR	BİRİM	2017 YILI BİRİM FİYATI	TUTARI (TL)
1	14.001	Yumuşak toprak kazılması	350,155	**m³**	19,88	6.961,08
2	15.153	Tuvenan kum, çakıl veya stabilize ile dolgu yapma	3.348,350	**m³**	7,39	24.744,31
3	14.018	Dolgunun el ile tokmaklanarak sıkıştırılması	3.348,350	**m³**	10,64	35.626,44
4	Y.21.001/ 03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	1.399,27	**m²**	39,63	55.453,07
5	Y.23.014	Ø8- Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	29,207	**ton**	2.552,31	74.545,32
6	Y.23.015	Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelikçubuğu,çubukların kesilmesi, bükülmesi ve yerine konulması	14,504	**ton**	2.503,25	36.307,14
7	Y.16.050/15	C25 betonarme betonu	526,700	**m³**	175,15	92.251,51

8	Y.18.460/ 24	Ø200 mm çaplı pvc esaslı koruge drenaj borusunun temini ve yerine döşenmesi	138,000	**m**	11,60	1.600,80
9	Y.15.140/ 07	32 mm ye kadar kırmataş temin edilerek, el ile serme sulama ve sıkıştırma yapılması	235,980	**m³**	49,73	11.735,29
10	Y.21.051/ C11	İş iskelesi	1.194,54	**m²**	8,66	10.344,72
			Toplam Tutar		**349.569,66 (TL)**	

EK 13. A-A’ ve B-B’ kesitleri istinat duvarı metrajları

Sıra	Açıklamalar	Benzer	Eni	Boyu	Yük.	Kısmı	Yekün	Birimi
1	Kazı yapılması		5,45	53,00	0,50	144,43	**144,43**	**m³**
2	Dolgunun teminive sıkıştırılması		2,00	53,00	4,55	482,30		
			2,00	53,00	0,05	5,30		
			8,50	53,00	3,30	1486,65		
			53,00	2,00	0,70	74,20	**2.048,45**	**m³**
3	Kalıp yapılması							
	Temel	2		4,45	0,45	4,01		
	Temel	2		53,00	0,45	47,70		
	Perde	2		53,00	4,55	482,30		
	Perde	2		0,45	4,55	4,10	**538,10**	**m²**
4	İnce nervürlü çelik hasırın temini ve yerinekonulması						**10,190**	**ton**
5	Kalın nervürlü çelik hasırın temini ve yerinekonulması						**6,316**	**ton**

6	C25 olan betonarme betonu							
	Temel		4,45	53,00	0,45	106,13		
	Perde		0,45	53,00	4,55	108,52	**214,65**	**m³**
7	İş iskelesi	2	53,60		4,50	482,40	**482,40**	**m²**
8	Ø200 mm çaplı drenaj borusunun temini ve yerine döşenmesi		53,00			53,00	**53,00**	**m**
9	Kırmataş temin edilerek sıkıştırma yapılması	1,71	53,00			90,63	**90,63**	**m³**

EK 14. C-C' kesiti istinat duvarı metrajı

Sıra	Açıklamalar	Benzer	Eni	Boyu	Yük.	Kısmı	Yekün	Birimi
1	Kazı yapılması		5,30	75,00	0,40	159,00		
			0,30	75,00	0,40	9,00	**168,00**	**m³**
2	Dolgunun temini ve sıkıştırılması		2,90	75,00	4,10	891,75		
			1,00	75,00	0,10	7,50		
			2,90	75,00	1,00	217,50	**1.116,7**	**m³**
3	Kalıp yapılması							
	Temel	2		4,30	0,40	3,44		
	Temel (Konsol)	2		0,30	0,40	0,24		
	Temel	2		75,00	0,40	60,00		
	Temel (Konsol)	2		75,00	0,40	60,00		
	Perde	2		75,00	4,10	615,00		
	Perde	2		0,40	4,10	3,28	**741,96**	**m²**

4	İnce nervürlü çelik hasırın temini ve yerine konulması						**17,093**	**ton**
5	Kalın nervürlü hasırın temini ve yerine konulması						**5,915**	**ton**
6	C25 olan betonarme betonu							
	Temel		4,30	75,00	0,40	129,00		
	Temel (Konsol)		0,40	75,00	0,30	9,00		
	Perde		0,40	75,00	4,10	123,00	**261,00**	**m³**
7	İş iskelesi	2	75,60		4,10	619,92	**619,92**	**m²**
8	Ø200 mm çaplı drenej borusunun temini ve yerine döşenmesi		75,00			75,00	**75,00**	**m**
9	Kırmataş temin edilerek sıkıştırılması	1,71	75,00			128,25	**128,25**	**m³**

EK 15. D-D' kesiti istinat duvarı metrajı

Sıra	Açıklamalar	Benzer	Eni	Boyu	Yük.	Kısmı	Yekün	Birimi
1	Kazı yapılması		6,50	11,00	0,50	35,75		
			0,30	11,00	0,60	1,98	**37,73**	**m³**
2	Dolgunun temini ve sıkıştırılması		3,30	10,00	4,35	143,55		
			3,30	10,00	1,20	39,60	**183,15**	**m³**
3	Kalıp yapılması							
	Temel	2		5,50	0,50	5,50		
	Temel (Konsol)	2		0,30	0,60	0,36		
	Temel	2		10,00	0,50	10,00		
	Temel (Konsol)	2		10,00	0,60	12,00		
	Perde	2		10,00	4,35	87,00		
	Perde	2		0,50	4,35	4,35	**119,21**	**m²**
4	İnce nervürlü çelik hasırın temini ve yerine konulması						**1,924**	**ton**
5	Kalın nervürlü hasırın temini						**2,273**	**ton**

6	C25 olan betonarme betonu							
	Temel		5,50	10,00	0,50	27,50		
	Temel (Konsol)		0,30	10,00	0,60	1,80		
	Perde		0,50	10,00	4,35	21,75	**51,05**	**m³**
7	İş iskelesi	2	10,60		4,35	92,22	**92,22**	**m²**
8	Ø200 mm çaplı drenej borusunun temini ve yerine döşenmesi		10,00			10,00	**10,00**	**m**
9	Kırmataş temin edilerek sıkıştırma yapılması	1,71	10,00			17,10	**17,10**	**m³**

EK 16. Fore kazık imalatı yaklaşık maliyet hesabı

SIRA NO	POZ NO	İMALATIN ADI	MİKTAR	BR.	2017 YILI BİRİM FİYATI	TUTARI (TL)
1	14.001	Yumuşak toprak kazılması	2.169,73	**m³**	19,88	43.134,13
2	15.153	Tuvenan kum, çakıl veya stabilize ile dolgu yapma	2.412,55	**m³**	7,39	17.828,74
3	14.018	Dolgunun el ile tokmaklanarak sıkıştırılması	2.412,55	**m³**	10,64	25.669,53
4	Y.21.001/03	Plywood ile düz yüzeyli betonarme kalıbı yapılması	140,40	**m²**	39,63	5.564,05
5	Y.23.014	Ø8- Ø12 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, ve yerine konulması	38,346	**ton**	2.552,31	97.870,88
6	Y.23.015	Ø14- Ø28 mm nervürlü beton çelik çubuğu, çubukların kesilmesi, ve yerine konulması	120,200	**ton**	2.503,25	300.890,7
7	Y.16.062/06	Ø80 cm çapında C30/37 basınç dayanımında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması	2.445,00	**m**	248,26	606.995,70
			Toplam Tutar		**1.097.953,69 (TL)**	

EK 17. Fore kazık metrajı

Sıra	Açıklamalar	Benzer	Eni	Boyu	Yük.	Kısmı	Yekün	Br.
1	Kazı yapılması							
	A-A'Kesiti		7,00	43,00	7,0/2	1.053,50		
	B-B'Kesiti		4,25	10,00	4,3/2	90,53		
	C-C'Kesiti		5,00	75,00	5,0/2	937,50		
	D-D'Kesiti		4,20	10,00	4,2/2	88,20	**2.169,73**	**m³**
2	Dolgunun temini ve sıkıştırılması							
	A-A'Kesiti		17,00	43,00	2,50	1.827,50		
	B-B'Kesiti		2,00	10,00	4,00	80,00		
	C-C'Kesiti		3,50	75,00	1,90	478,80		
	D-D'Kesiti		2,10	10,00	1,25	26,25	**2.412,55**	**m³**
3	Kalıp yapılması							
	A-A', B-B'Kesiti	2		53,00	0,50	53,00		
	A-A', B-B'Kesiti	2		0,80	0,50	0,80		
	C-C' Kesiti	2		75,00	0,50	75,00		
	C-C' Kesiti	2		0,80	0,50	0,80		
	D-D' Kesiti	2		10,00	0,50	10,00		

	D-D’ Kesiti	2		0,80	0,50	0,80	**140,40**	**m²**
4	80 cm çapında yerinde dökme betonarme fore kazık yapılması							
	A-A’, B-B’Kesiti	63			15,0	945,00		
	C-C’ Kesiti	88			15,0	1.320,00		
	D-D’ Kesiti	12			15,0	180,00	**2.445,00**	**m**
		Ad.	Bir Adetteki Ağırlık					
5	İnce nervürlü çelik hasırın temini							
	A-A’, B-B’Kesiti	63	235,25			14.820,75		
	C-C’ Kesiti	88	235,25			20.720,00		
	D-D’ Kesiti	12	235,25			2.823,00	**38.345,75**	**ton**
6	Kalın nervürlü hasırın temini							
	A-A’, B-B’Kesiti	63	737,42			46.457,46		
	C-C’ Kesiti	88	737,42			64.892,96		
	D-D’ Kesiti	12	737,42			8.849,04	**120.199,5**	**ton**

ÖZGEÇMİŞ

Yazar 1991 yılında Van'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Van'da tamamladı. 2009 yılında eğitime başladığı, Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümünü, 2013 yılında bitirdi. 2014 yılında, Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	Ozan NATUR
ÖĞRENCİ NO	14806003
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2017-2018
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	İnşaat Mühendisliği
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Şev Stabilitesi Analiz Yöntemleri ve Bir Vaka Analizi
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	159
BENZERLİK ORANI	%17
RAPORLAMA TARİHİ	26/06/2018

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 159 sayfalık kısmına ilişkin, 26/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *TURNITIN* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 17 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- ☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
- ☐ Kaynakça hariç
- ☐ Alıntılar hariç/dâhil
- ☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)

(Ozan NATUR)

(İmza)	(İmza)
26/06/2018	26/06/2018
Doç. Dr. M. Salih KESKİN **Tez Danışmanı**	Doç. Dr. Abdulhalim KARAŞİN **Anabilim Dalı Başkanı**