



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKŞEHİR(KONYA)-YALVAÇ YOLUNDA MEYDANA GELEN
HEYELANIN İNCELENMESİ VE STABİLİTE ANALİZLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Çağlar BALTAOĞLU

Danışman
Doç. Dr.Gökhan DEMİR

SAMSUN
2024

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**AKŞEHİR(KONYA)-YALVAÇ YOLUNDA MEYDANA GELEN
HEYELANIN İNCELENMESİ VE STABİLİTE ANALİZLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

Çağlar BALTAOĞLU

Danışman
Doç. Dr.Gökhan DEMİR

SAMSUN
2024

TEZ KABUL VE ONAYI

ÇAĞLAR BALTAOĞLU tarafından, **Doç. Dr.Gökhan DEMİR** danışmanlığında hazırlanan “**AKŞEHİR(KONYA)-YALVAÇ YOLUNDA MEYDANA GELEN HEYELANIN İNCELENMESİ VE STABİLİTE ANALİZLERİ**” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 22.4.2024 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	Sonuç
Başkan	Doç. Dr. Mustafa VEKLİ Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Doç. Dr. Gökhan DEMİR Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Ayhan BAŞALAN Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı	☒ Kabul ☐ Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

Prof. Dr. Ahmet TABAK
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet ☐ (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır ☒

20 /02/ 2024
Çağlar BALTAOĞLU

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı: AKŞEHİR(KONYA)-YALVAÇ YOLUNDA MEYDANA GELEN HEYELANIN İNCELENMESİ VE STABİLİTE ANALİZLERİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 20.02.2024 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 25

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

20/02/2024

Doç. Dr.Gökhan DEMİR

ÖZET

AKŞEHİR(KONYA) YALVAÇ YOLUNDA MEYDANA GELEN HEYELANIN İNCELENMESİ VE STABİLİTE ANALİZLERİ

Çağlar BALTAOĞLU

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

İnşaat Mühendisi Anabilim Dalı

Yüksek Lisans, Şubat/2024

Danışman: Doç Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DEMİR

Bu çalışmada, Akşehir-Yalvaç yol çalışmaları sırasında meydana gelen heyelanının gerçekleşme nedenleri ve heyelana karşı uygulanan stabilite yöntemleri incelenmiştir. Heyelanın nedenlerinin inceleme çalışmalarında; meydana gelmiş ve ileride meydana gelebilecek toprak kaymalarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Karayolları tarafından yaptırılan arazi ve laboratuvar çalışmaları incelenmiştir. Bu araştırma kapsamında heyelan kütlelerinin oluşum mekanizmasını ortaya koymak ve oluşturulacak geoteknik tasarımın belirlenmesine yönelik olarak 9 adet sondaj kuyusu açılmış ve alınan numuneler üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Arazi, sondaj, inklinometre ve laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiş ve bu veriler jeolojik tip enkesitler üzerine işlenerek bölgede olduğu düşünülen heyelan mekanizması ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda heyelan kütlesi homojonize edilerek makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesi amacıyla geriye dönük analiz çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda inceleme alanının jeolojik-jeomorfolojik yapısı, kazı durumu, emniyet, duraylılık, zaman, maliyet, gibi unsurlar da dikkate alınarak ilgili kurum tarafından en uygun geoteknik tasarım model oluşturulmaya çalışılmıştır. Buna göre; üretilen geoteknik tasarımın esası şev düzenlemesi, yeraltı suyu ve yüzey sularının drenajı ile, yarma şevinin topukta desteklenmesine dayanmaktadır. Ancak belirtilen stabilite çalışmaları uygulandıktan sonra arazide tekrar heyelan oluşumu gözlemlenmiştir. Tekrar eden heyelanın oluşum nedeninin belirlenmesi amacıyla arazi uygulamaları yerinde incelenmiş, yapılan imalatların teknik şartname ve heyelan raporuna uygun olarak imal edildiği gözlemlenmiştir. Buradan hareketle çalışmanın devamında ilk yol çalışmaları sırasında uygulanan tip kesit, heyelanın gerçekleşmesinden sonra uygulanan ikinci tip kesit incelenerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada uygulamada yapılan arazi şevlendirilmesi ve istifsiz taş dolgu ile topuk oluşturulmasına alternatif olarak maliyet ve uygulama alanı açısından tasarruf sağlayan fore kazık sistemleri; sabit boy (10 m), farklı kazık çapları (1.20 m, 1.00 m, 0.80 m) ve farklı kazık aralıkları (1.45 m, 1.60 m, 1.21 m, 1.33 m, 0.97 m, 1.06 m) dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Tüm bu analizlerde Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Farklı rijitlik parametrelerinde farklı yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar; analiz süreci, tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Heyelan; Geoteknik Tasarım; Geri Analiz; Stabilizasyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF STREAMS AND STABILITY ANALYSIS IN AKŞEHİR KONYA YALVAÇ ROAD

Çağlar BALTAOĞLU
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering
Master's thesis February/2024
Supervisor: Asst. Doç. Dr. Gökhan DEMİR

In this study, the causes of the landslide occurring during the Akşehir-Yalvaç road works and the stability methods applied against the landslide were investigated. and aimed to determine the future landslides. In this respect, the field and laboratory studies commissioned by the Highways were examined. In order to determine the formation mechanism of the landslide mass and to determine the geotechnical design, 9 drilling wells were drilled and necessary laboratory tests were performed on the samples. The data obtained after field, drilling, inclinometer and laboratory studies were evaluated together and these data were studied on geological cross sections and the landslide mechanism thought to be in the region was tried to be revealed. In this direction, homogeneous landslide mass and shear strength parameters were determined retrospectively. As a result of these studies, geological-geomorphological structure of the study area, excavation status, safety, stability, time, cost, factors such as taking into account the most appropriate geotechnical design model has been tried by the relevant institution. According to this; The principle of geotechnical design is based on slope arrangement, drainage of groundwater and surface water, and support of the slope in the heel.

However, after the mentioned stability studies, landslide formation was observed in the land again. In order to determine the cause of the recurrent landslide, land applications were examined on-site and the productions made; It was observed that it was manufactured in accordance with the technical specifications and landslide report. From this point of view, the type section applied during the first road works and the second type section applied after the landslide was examined were analyzed and the results were analyzed. In this study, as an alternative to land sloping and heel formation with stacked stone filler, bored pile systems which provide savings in terms of cost and application area; The analysis was carried out considering the fixed length (10 m), different pile diameters (1.20 m, 1.00 m, 0.80 m) and different pile intervals (1.45 m, 1.60 m, 1.21 m, 1.33 m, 0.97 m, 1.06 m). Plaxis 2D finite element software was used in all these analyzes. Different displacement values were obtained in different stiffness parameters. The results obtained and the analysis process are presented in tables and graphs.

Keywords: Landslide; Geotechnical Design; Back Analysis; Stabilization.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmayı bana öneren ve tez çalışmamın her aşamasında değerli görüş ve katkıları ile her zaman desteğini gördüğüm danışman hocam Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Görevlisi Sayın Doç. Dr. Gökhan DEMİR'e teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen Karayolları 3. Bölge Müdür Yardımcısı Hakan AKCEYLAN'a, Karayolları 13. Bölge Müdürü Hasan SARIOĞLAN'a ve Dr. Öğretim Üyesi Ahmet Hamdi SERDAR'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca hep yanımda olan, bana güven ve desteklerini her zaman hissettiren başta annem ve babam olmak üzere aileme ve çalışmalarım sırasında gösterdiği sabır ve anlayıştan dolayı eşim Çiğdem BALTAOĞLU' na, ayrıca yeterli zamanı ayıramadığım oğlum Emir Batuhan BALTAOĞLU ve Mert Barış BALTAOĞLU' na minnettar olduğumu bildiririm.

Çağlar BALTAOĞLU

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1.Tezin Amacı.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	2
2.1 Literatür Özeti.....	2
3. GENEL BİLGİLER.....	5
3.2 Heyelan Çeşitleri	5
3.2.1 Düşme.....	6
3.2.2. Devrilme.....	6
3.2.3. Kayma	7
3.2.4. Yayılma	9
3.2.5. Akma	10
3.3. Heyelanların Nedenleri	11
3.3.1. Jeolojik Nedenler.....	12
3.3.2. Morfolojik Nedenler.....	12
3.3.3. Fiziksel Nedenler.....	12
3.3.4. İnsan Nedenleri	133
3.4. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri	13
3.4.1. Limit Gerilme Yaklaşımı	13
3.4.2. Limit Denge Yaklaşımı	14
3.5. Heyelan Stabilizasyonu.....	15
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR	17
4.1.Mevcut Arazi Durumu	17
4.2.Geoteknik Tasarım.....	244
4.2.1. Heyelan Mekanizmasının Tanımlanması	244
4.2.2. Geri Analiz Yöntemi	323
4.2.3. Dişli Taş Topuk Dolgusu ile Tasarım Durumu Değerlendirmesi	344
4.2.4. Tek Sıra Fore Kazıklı Tasarım Durumu Değerlendirmesi	377
4.2.5. Toprak İşleri	588
4.2.6. Sanat Yapıları.....	655
4.2.6.1. Standart Yeraltı Drenajı.....	655
4.2.6.2. Derin Standart Yeraltı Drenajı.....	677
4.2.6.3. Tek Kat Çelik Hasır ve Beton İle Kaplanacak Palye Hendeği	688
4.2.6.4. Beton Kaplamalı Kafa Hendeği.....	744
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	766
KAYNAKLAR	798
ÖZ GEÇMİŞ.....	81

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Doğada düşme yenilmeleri.....	6
Şekil 3.2. Devrilme türü stabilite yenilmeleri (a, b).....	6
Şekil 3.3. Devrilme türü yenilmeler (a-Tirebolu-Torul DY, b- Hopa-Sarp DY).....	7
Şekil 3.4. Düzlemsel kayma (a, b) ve kama tipi kayma (c, d) türü stabilite yenilmeleri.....	7
Şekil 3.5. Dairesel kayma yapısının genel şematik görünümü.....	8
Şekil 3.6. Çoklu dairese kaymalar.....	8
Şekil 3.7. Mersin-Tarsus otoyolu Km29+300-29+900 heyelanı.....	8
Şekil 3.8. Arıdurak tüneli çıkışı kaya heyelanı.....	9
Şekil 3.9. Tirebolu-Torul devlet yolu Km 30+000 süme heyelanı.....	9
Şekil 3.10. Düzlemsel kayma şeklinde yanal yayılma şekilleri	10
Şekil 3.11. Kuzulu Heyelanı.....	10
Şekil 3.12. Heyelan yapılarının genel şekilleri.....	11
Şekil 4.1. Aktif heyelan sahasının gösterimi.....	17
Şekil 4.2. Heyelan sahasından genel görünüm-1.....	18
Şekil 4.3. Heyelan sahasından genel görünüm-2.....	18
Şekil 4.4. Heyelan sahasından genel görünüm-3.....	19
Şekil 4.5. Heyelan sahasından genel görünüm-4.....	19
Şekil 4.6. Heyelan sahasından genel görünüm-5.....	19
Şekil 4.7. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-1	20
Şekil 4.8. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-2.....	20
Şekil 4.9. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-3.....	21
Şekil 4.10. Heyelan sahasından meydana gelen derin çatlaktan görünüm-1	21
Şekil 4.11. Heyelan sahasından meydana gelen derin çatlaktan görünüm-2.....	22
Şekil 4.12. Heyelan sahasında meydana gelmiş kabarmalardan genel görünüm-1.....	22
Şekil 4.13. Heyelan sahasında 5. palyeden görünüm-1.....	23
Şekil 4.14. Heyelan sahasında 5. palyeden görünüm-2.....	23
Şekil 4.15. Kritik görülen KM 22+740 Jeolojik enkesiti.....	25
Şekil 4.16. Kritik görülen KM 22+740 Jeolojik enkesiti.....	26
Şekil 4.17. SK-1 no'lu sondaj kuyusuna ait inlinometre deney sonucu.....	26
Şekil 4.18. SK-7 no'lu sondaj kuyusuna ait inlinometre deney sonucu.....	27
Şekil 4.19. SK-5 no'lu sondaj kuyusuna ait inlinometre deney sonucu.....	27
Şekil 4.20. SK-3 no'lu sondaj kuyusuna ait inlinometre deney sonucu.....	28
Şekil 4.21. SK-4 nolu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm.....	28
Şekil 4.22. SK-6 nolu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm1.....	29

Şekil 4.23. SK-6 nolu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm2.....	29
Şekil 4.24. Ara geo malzeme (IGM) oluşum süreçleri.....	31
Şekil 4.25. Kaya Malzeme Dayanımının Sınıflandırılması.....	32
Şekil 4.26. Zeminlerde olası parametreler.....	32
Şekil 4.27. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi.....	34
Şekil 4.28. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi (statik durum).....	36
Şekil 4.29. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi (depremlili durum).....	37
Şekil 4.30. Malzemeye göre elastisite modülü.....	38
Şekil 4.31. Kazık boyunun belirlendiği jeolojik enkesitler.....	40
Şekil 4.32. Kazıklı tasarım için modelin kurulması.	43
Şekil 4.33. Kazıklı tasarım için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	43
Şekil 4.34. Kazık rijitlik parametrelerinin pograma tanımlanması.....	44
Şekil 4.35. Heyelan malzemesine ait parametrelerin pograma tanımlanması.....	45
Şekil 4.36. Analizde takip edilen hesap aşamalarının gösterilmesi.....	45
Şekil 4.37. D=1.00 m, S=1.45 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	46
Şekil 4.38. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme.....	46
Şekil 4.39. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana aksenal kuvvet.....	46
Şekil 4.40. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana kesme kuvveti.....	47
Şekil 4.41. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana moment.....	47
Şekil 4.42. D=1.20 m, S=1.60 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	47
Şekil 4.43. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana gelen yatay yer	48
Şekil 4.44. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana aksenal kuvvet.....	48
Şekil 4.45. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana kesme kuvveti.....	48
Şekil 4.46. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana moment.....	49
Şekil 4.47. D=1.00 m, S=1.21 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	49
Şekil 4.48. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana gelen yatay yer.....	49
Şekil 4.49. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana aksenal kuvvet.....	50
Şekil 4.50. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana kesme kuvveti.....	50
Şekil 4.51. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana moment.....	50
Şekil 4.52. D=1.00 m, S=1.33 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	51
Şekil 4.53. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana gelen yatay yerdeğiştirme.....	51
Şekil 4.54. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana aksenal kuvvet.....	51
Şekil 4.55. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana kesme kuvveti.....	52
Şekil 4.56. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana moment.....	52
Şekil 4.57. D=0.80 m, S=0.97 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	52
Şekil 4.58. D=0.80 m, S=0.97 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme.....	53
Şekil 4.59. D=0.80 m, S=0.97 m için kazıkta meydana aksenal kuvvet.....	53

Şekil 4.60. D=0.80 m, S=0.97 m için kazıkta meydana kesme kuvvet.....	53
Şekil 4.61. D=0.80 m, S=0.97 m için kazıkta meydana moment.....	54
Şekil 4.62. D=0.80 m, S=1.06 m için sonlu elemanlar ağının kurulması.....	54
Şekil 4.63. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme	54
Şekil 4.64. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana eksenel kuvvet.....	55
Şekil 4.65. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana kesme kuvveti.....	55
Şekil 4.66. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana moment.....	55
Şekil 4.67. KM.22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü- 1.....	58
Şekil 4.68. KM.22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü-2.....	58
Şekil 4.69. KM.22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü-3.....	59
Şekil 4.70. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-1.....	59
Şekil 4.71. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-2.....	60
Şekil 4.72. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-3.....	60
Şekil 4.73. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-4.....	61
Şekil 4.74. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-5.....	61
Şekil 4.75. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-6.....	61
Şekil 4.76. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-7.....	62
Şekil 4.77. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-1.....	62
Şekil 4.78. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-2.....	62
Şekil 4.79. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-3.....	63
Şekil 4.80. Heyelan sahası istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-1.....	63
Şekil 4.81. Heyelan sahası istifli taş dolu çalışmaları görünümü-2.....	63
Şekil 4.82. İstifli taş dolgu enkesit görünümü-1.....	64
Şekil 4.83. İstifli taş dolgu imalatı ve kazı çalışmaları görünümü.....	64
Şekil 4.84. Standart yer altı drenaj detayı görünümü-1.....	65
Şekil 4.85. Standart yer altı drenaj detayı görünümü-2.....	66
Şekil 4.86. Standart yer altı drenaj detayı görünümü-3.....	66
Şekil 4.87. Derin standart yer altı drenaj detayı görünümü A-A kesiti.....	67
Şekil 4.88. Derin standart yer altı drenaj detayı görünümü B-B kesiti.....	68
Şekil 4.89. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı.....	69
Şekil 4.90. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-1.....	70
Şekil 4.91. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-2.....	70
Şekil 4.92. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-3.....	71
Şekil 4.93. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-4.....	71
Şekil 4.94. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-5.....	72
Şekil 4.95. Beton kaplamalı palye hendeği uygulama görünümü-1.....	73
Şekil 4.96. Beton kaplamalı palye hendeği uygulama görünümü-2.....	73

Şekil 4.97. Beton kaplamalı kafa hendeği detay görünümü	74
Şekil 4.98. Beton kaplamalı kafa hendeği uygulama görünümü-1	74
Şekil 4.99. Beton kaplamalı kafa hendeği uygulama görünümü-2	75



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması.	5
Tablo 3.2. Heyelanların boyutsal özelliklerine göre sınıflandırılması.....	11
Tablo 3.3. Analiz metotları.....	15
Tablo 3.4. Heyelan önleyici ve düzeltici metotlar.....	16
Tablo 4.1. Analizlerde Kullanılan zemin-kaya parametreleri.....	39
Tablo 4.2. Kazık için analizlerde kullanılan rijitlik parametreleri.....	42
Tablo 4.3. Analiz sonuçlarının özeti	56
Tablo 4.4. S/D=1,21' e göre analiz sonuçlarının gösterilmesi.....	57
Tablo 4.5. S/D=1,33' e göre analiz sonuçlarının gösterilmesi	57



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışmada, Akşehir-Yalvaç yol çalışmaları sırasında meydana gelen heyelanının gerçekleşme nedenleri ve heyelana karşı uygulanan stabilite yöntemleri incelenmiştir.

Tekrar eden heyelanın oluşum nedeninin belirlenmesi amacıyla arazi uygulamaları yerinde incelenmiş, yapılan imalatların teknik şartname ve heyelan raporuna uygun olarak imal edildiği gözlemlenmiştir. Buradan hareketle çalışmanın devamında ilk yol çalışmaları sırasında uygulanan tip kesit, heyelanın gerçekleşmesinden sonra uygulanan ikinci tip kesit incelenerek analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada uygulamada yapılan arazi şevlendirilmesi ve istifsiz taş dolgu ile topuk oluşturulmasına alternatif olarak maliyet ve uygulama alanı açısından tasarruf sağlayan fore kazık sistemleri; sabit boy (10 m), farklı kazık çapları (1.20 m, 1.00 m, 0.80 m) ve farklı kazık aralıkları (1.45 m, 1.60 m, 1.21 m, 1.33 m, 0.97 m, 1.06 m) değerleri dikkate alınarak analiz yapılmıştır. Tüm bu analizlerde Plaxis 2D sonlu elemanlar yazılımı kullanılmıştır. Farklı rijitlik parametrelerinde farklı yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar; analiz süreci, tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Literatür Özeti

(Varnes ve Practice, 1958), Doğru olarak kabul edilebilecek tüm yer hareketlerini heyelanlar olarak adlandırmış, önlenmesi veya kontrolü üzerinde zemin etkisini araştırmıştır. Bu araştırmada "heyelan" terimi aşağıya doğru doğal kaya topraktan oluşan şev malzemelerin dışa doğru hareketi, yapay dolgular veya bunların kombinasyonlarından oluşan malzemelerin hareketini heyelan olarak tanımlamıştır. Zemin hareketi; düşme, kayma, akma, veya bunların kombinasyonları ile bir yerden diğer yere heyelan yukarı doğru hareket edebilirken zemin parçaları aşağı doğru hareket edebilir. Toprak kayması malzemenin hareket hızının gerçek veya potansiyel hareket hızına neden olur. Ayrıca, çoğu tip donma ve çözülme nedeniyle hareketlenme (solifluction); çoğunlukla oluşan çığlarla birlikte kar ve buz belirtilen anlamda heyelan olarak kabul edilmez. Ancak çoğu zaman ciddi sorunlar doğurur.

(Ito vd, 1981), Dengeleyici kazıklarla eğimin stabilite analizinde, kayma yüzeyinin konumu genellikle saha araştırmaları ile önceden belirlenir. Bu araştırmada, üst üste kazıkların tasarım yöntemi incelenmiştir. Sonuçlar bu faktörleri göstermektedir. Kazıklar arasındaki aralık; hav başlığının sabitliği, kayan yüzey üzerindeki hav uzunluğu, hav çapı ve çelik borunun sertliği eğim üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Önerilen tasarım yönteminde, bu beş faktöre sistematik olarak karar verilebilir. Ayrıca bu araştırmada kazık tasarımında önemli faktörlerin ortaya konduğu bir tasarım örneği gösterilmiştir.

(Chow ve Geomechanics, 1996), Eğimlerin stabilizasyonu için kullanılan kazıkların, dengesiz eğimin hareketinden dolayı indüklenen yanal yüklere dayanacak şekilde tasarlanması gerekir. Bu araştırmada problemin analizi için sayısal bir yöntem sunulmaktadır, kirişli kazık sonlu elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Yığınlardaki toprak tepkisi, elastikiyet teorisi kullanılarak düşünülen alt dereceli reaksiyon modülü ve kazık-toprak-kazık etkileşimi kullanılarak modellenmiştir. Biri kazık diğeri kazık grubu için iki durum geçmişi, sayısal modelin kazıkların genel özelliklerini yakın derecede belirleyeceğini analizler göstermiştir. Çalışma, kazık grubu etkilerini görmezden gelerek tek kazık analizinin hesaplanması durumunda kazıkların tasarımının yanlış olabileceğini göstermektedir.

(Hassiotis vd, 1997) , Yamaçların tasarımı için bir metodoloji önerilmiştir. Plastisite teorisine dayanan mevcut yöntem, kritik yüzeyin üzerinde kazık bölümüne etkiyen yanal kuvvetleri bulmak için kullanılır. Bu kuvvetin bir kısmının, eğimin hareketine karşı harekete geçtiği varsayılmaktadır. Ardından, sürtünme çemberi yöntemi, reaksiyon kuvvetini stabilite analizine dâhil etmek için genişletilir. Bu nedenle, takviye edilmiş eğimin modifiye yüzeyini ve emniyet faktörünü belirlemek için kazık reaksiyonunu içeren yeni bir stabilite numarası kullanılır. Son olarak, eğim / kazık sistemi için istenen güvenlik faktörünü sağlayan optimum bir tasarım çözümü elde etmek için bir yöntem önerilmiştir.

(Chen vd, 2002) , Lateral toprak hareketine maruz kalan pasif kazık gruplarından direncin mobilizasyon mekaniği, kemerleme etkisi açısından tartışılmaktadır. Granül ve ince taneli topraklar için kazık grupları etrafında bir yaylanma bölgesinin varlığı, FLAC'ın sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak [kontin hızlı lagrangian analizi, versiyon 3.4, kılavuz (1998)] incelenmiştir. Kazık yüklenmesi, yer değiştirme eğrileri ve yaylanma etkisi, gerilmelerin topraktan kazıklara nasıl geçtiğini açıklamak için incelenir. Parametre değişimlerinin kazık / toprak etkileşimi üzerindeki etkisi, kemer eğrilerindeki değişimlerle de açıklanmaktadır. Sonuçlar, yaylanma bölgesinin oluşumunun ve kazık şeklinin düzenlenmesi, kazıkta meydana gelen yer değiştirme, pürüzlülüğü ve toprak dilatasyon açısının fonksiyonu olduğunu ortaya koymaktadır. Granüler topraktaki grup etkileri önemlidir; ancak yanal aktif yükleme altındaki ince taneli toprakta ve bir yığın için pasif toprak hareketi üzerinde önemli bir etki gözlenmemiştir.

(Kourkoulis vd, 2010) Şev stabilitesinin sağlanması amacıyla yığınların analizi ve tasarımı için karma bir yöntem kullanılmaktadır. Bu araştırmanın amacı, yığınların ve yığın gruplarının tepkisini ölçmektir. Kazık ekseninden eksenine olan hav aralığı (S), kararlı toprak kütlelerinin (Hu) kalınlığı, havya gömülmesinin derinliği (Le), hav çapı (D) ve hav grubu değerleri çalışmadaki parametrelerdir. $S = 4D'$ nin en uygun maliyetli kazık aralığı olduğu gösterilmiştir. Çünkü kazıkların arasında kemerli toprak üretebilen en büyük açıklıktır. Toprağın homojen olmaması (kayma mukavemeti açısından) önemsiz bulunmuştur. Bunun nedeni olarak dengesiz toprak katmanının gücünden etkilenmesidir. Nispeten küçük kazıkların gömme işlemleri için kazık tepkisi, büyük bükülme distorsiyonu olmadan katı cisim dönüşü ile domine edilir. Kısa kazığın başarısız olduğu durumlarda, yığının yapısal kapasitesi kullanılamaz ve

tasarım ekonomik olmaz. Kazık tabanındaki sabitleme koşullarının elde edilmesi kritik yerleştirme derinliğinin, dengesiz toprağın (yani kayan düzlemin altındaki toprak) nispi kuvvetine bağlı olarak 0.7 H_u ila 1.5 H_u arasında olduğu sonucuna varılmıştır. Kayaya gömülü yığınlar için boyutsuz tasarım çizelgelerinin bir örneği sunulmuştur. Sonuçlar, iki esneklik oranı ve birkaç hav aralığı için hesaplanmıştır. Tekli yığınlar genellikle derin toprak kaymalarını dengelemek için kullanılır, ancak yığın grupları etkili bir çözüm sunabilir.



3. GENEL BİLGİLER

3.1. Heyelanın Tanımı

Heyelanlar, yamacın ilk geometrisinin belirli bir zaman içerisinde gözle görülür bir şekilde değişmesine, üzerinde ya da önünde bulunan mühendislik yapılarının güvenliğinin kaybolmasına neden olan kütle hareketleri olarak tanımlanmıştır (TSE 8853, 1991).

Diğer bir tanımda ise; Toprak, taş veya bunların karışımından oluşan bir zeminin ya da çeşitli kayaçların, bir yüzey üzerinde, aşağı ve dışarı doğru hissedilebilir bir şekilde hareketi heyelan olarak tanımlanmıştır (Erguvanlı, K 1994).

3.2 Heyelan Çeşitleri

Varnes (1978), heyelan yerine yamaç hareketi terimini kullanmıştır. Yamaç hareketlerinin farklı yollardan sınıflandırıldığını ve her bir sınıflamada tanıma, kontrol, ıslah veya diğer amaçların ön plana çıkarılabildiğini açıklamıştır.

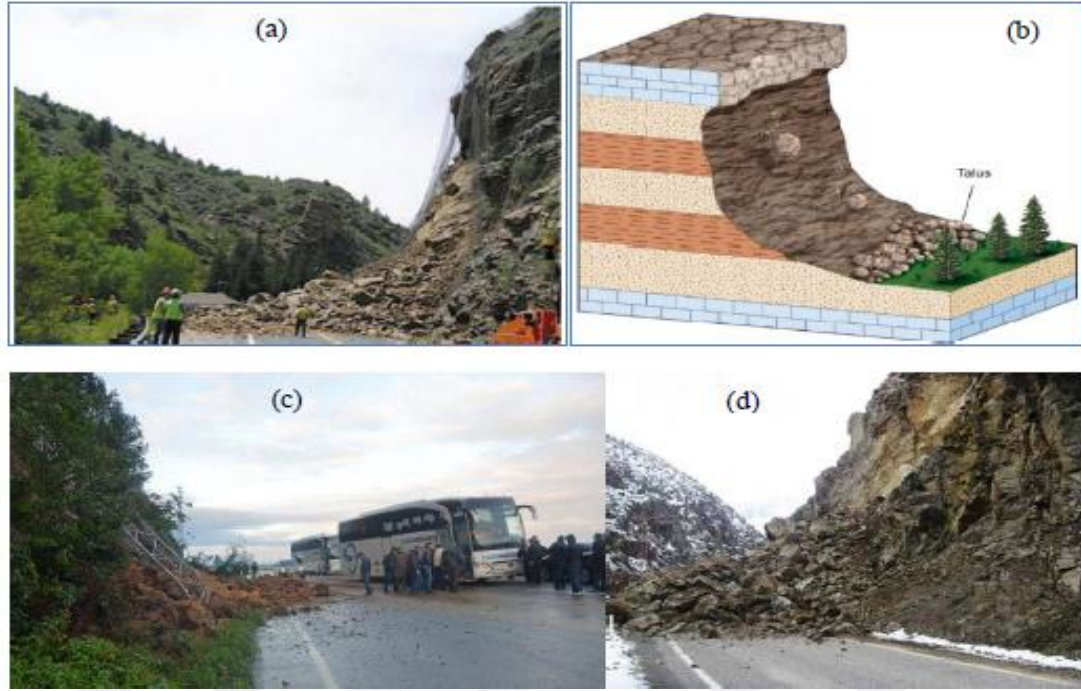
Tanıma ve sınıflama için hareketin tipi ve malzemenin türünün önemli olduğunu vurgulayarak; heyelanları hareketin tipine ve malzemenin türüne göre sınıflandırmıştır (Tablo 3.1.).

HAREKETİN TİPİ		MALZEMENİN TÜRÜ	
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER
			İri taneli İnce Taneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz Düşmesi Zemin Düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Moloz Devrilmesi Zemin Devrilmesi
Kayma	Dönel	Kaya Kayması	Moloz Kayması Zemin Kayması
	Yanal		
YAYILMA		Kaya Yayılması	Moloz Yayılması Zemin Yayılması
AKMA		Kaya akması (Derin Krip)	Moloz Akması Zemin Akması (Toprak Kribi)
KARIŞIK		İki veya daha fazla hareket türü	

Tablo 3.1. Hareketin tipi ve malzemenin cinsine göre heyelanların sınıflandırılması (Varnes, 1978)

3.2.1 Düşme

Düşme, jeolojik formasyonun cinsine göre; kaya düşmesi, moloz düşmesi ve toprak düşmesi şeklinde adlandırılır (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



Şekil 3.1. Doğada düşme yenilmeleri

3.2.2. Devrilme

Devrilme; kaya formasyonların yapısal özelliklerine ve devrilme olan yamaç eğimine bağlı olarak gelişmesi durumunda kaya düşmesi, eğimin yüksek olduğu yamaçlarda jeolojik birimin cinsine göre (yamaç molozu veya toprak, zemin olma durumuna göre) moloz devrilmesi veya toprak devrilmesi olarak adlandırılmıştır (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



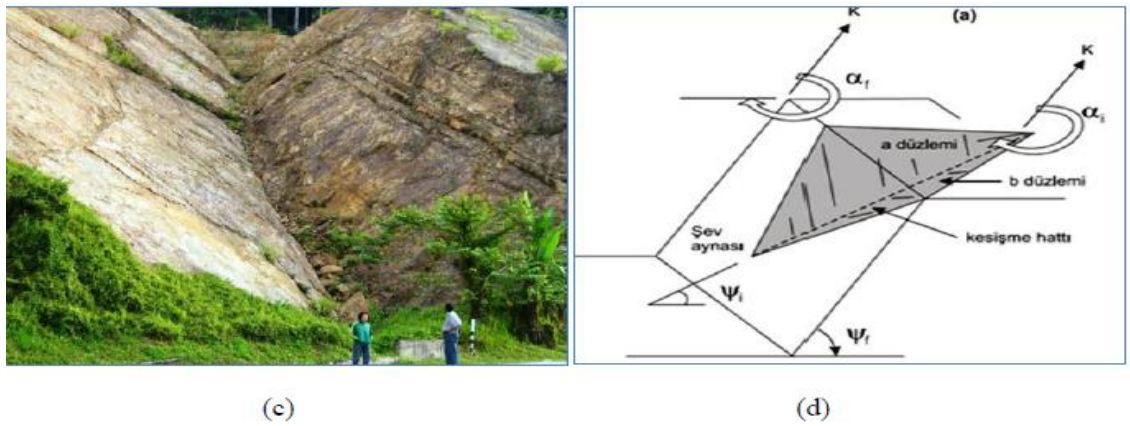
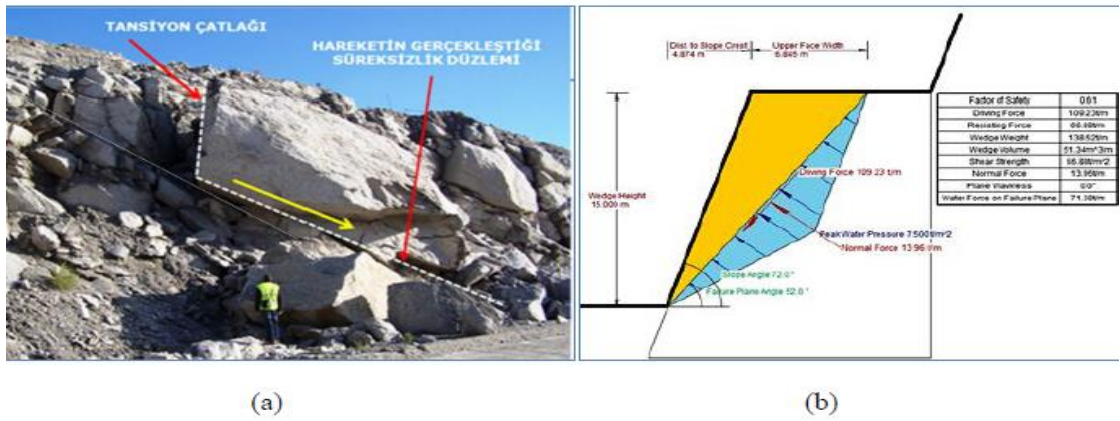
Şekil 3.2. Devrilme türü stabilite yenilmeleri



Şekil 3.3. Devrilme türü yenilmeler (a- Tirebolu-Torul DY, b- Hopa-Sarp DY) (Şirin, A 1995)

3.2.3. Kayma

Kaymalar genel olarak dairesel kaymalar ve ötelenmeli düzlemsel kaymalar şeklinde ikiye ayrılmaktadır. Yamaç eğimine bağlı olarak jeolojik birimin cinsine ve tane dağılımına bağlı olarak (yamaç molozu veya toprak, zemin olma durumuna göre) moloz kayması ve toprak kayması olarak adlandırılmıştır (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



Şekil 3.4. Düzlemsel kayma (a, b) ve kama tipi kayma (c, d) türü stabilite yenilmeleri (KGM, 2015)



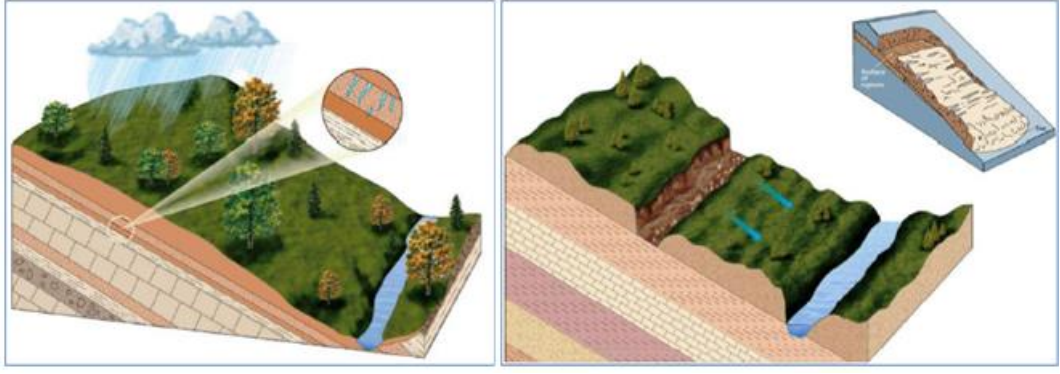
Şekil 3.8. Arıdurak tüneli çıkışı kaya heyelanı (ötelenmeli kaya kayması (heyelanın yola verdiği hasar-trafik riski görünümüleri) (Şen ,S 2009)



Şekil 3.9. Tirebolu-Torul Devlet Yolu (877-02) Km:30+000 Süme Heyelanı (karmaşık yapıda ardışık gelişen dairesel kayma şeklindeki heyelan örneği) (Şirin, A, 1995)

3.2.4. Yayılma

Yayılmalar genel olarak parçalı kaya, moren ve moloz birimlerinde moloz yayılması şeklinde tabandaki dayanımlı ve sağlam formasyonun sınırının geometrisine bağlı olarak veya vadiler boyunca moloz yayılma şeklinde kendini gösterir. Toprak yayılması ise ayrık zemin birimlerinin yayılması şeklinde izlenir (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



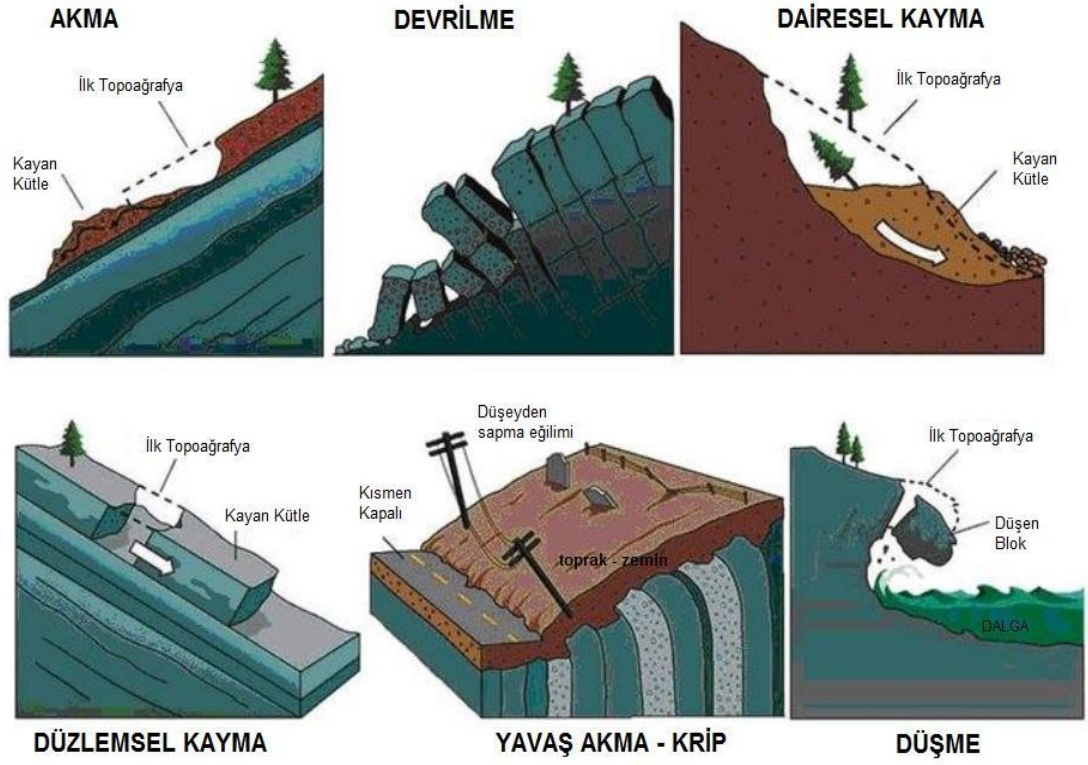
Şekil 3.10. Düzlemsel kayma şeklinde yanal yayılma şekilleri (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).

3.2.5. Akma

Akmalar genel olarak parçalı kaya, moren ve moloz birimlerinde moloz akması şeklinde tabandaki dayanımlı ve sağlam formasyonun sınırının geometrisine bağlı olarak veya vadiler boyunca moloz akması şeklinde kendini gösterir. Toprak akması ise ayrık zemin birimlerinin veya rezidüel zeminin su içeriğine bağlı olarak sıvı hale gelmesi ile toprak veya çamur akması şeklinde izlenir (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



Şekil 3.11. Kuzulu (Koyulhisar) heyelanı (17 Mart 2005) (taç kısmında çoklu dairesel kayma, yamaç aşağı moloz akması (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).



Şekil 3.12. Heyelan yapılarının genel şekilleri (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).

D/L(%)	Tanım
5-10	Kayma (ötelenme)
0.5-3	Akma
15-30	Dönel Göçme

Tablo 3.2. Heyelanların boyutsal özelliklerine göre sınıflandırılması (D: Heyelanın genişliği, L:Heyelanın uzunluğu) (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).

3.3. Heyelanların Nedenleri

Heyelanların nedenleri birçok araştırmacılara göre farklı tanımlanmasına rağmen, Cruden ve Varnes (1996), heyelanlara neden olan jeolojik, morfolojik, fiziksel ve insanlardan kaynaklanan etkenleri aşağıdaki şekilde açıklamışlardır.

3.3.1. Jeolojik Nedenler

- a. Zayıf malzeme
- b. Hassas malzeme
- c. Makaslamaya uğramış malzeme
- d. Eklemlili ve fissürlü malzeme
- e. Tersine uzanan yapının kırılması (fay, uyumsuzluk, vb.)
- f. Tersine uzanan kütle süreksizliği (tabakalarımı, yapraklanma vb.)
- g. Geçirgenlikteki zıtlık
- h. Sertlikteki zıtlık (katı, plastik malzeme üzerindeki yoğun malzeme)

3.3.2. Morfolojik Nedenler

- a. Tektonik ve volkanik yükselme
- b. Buzul gerilemesi
- c. Yamaç topuğunun akarsu tarafından aşındırılması
- d. Yamaç topuğundaki dalga aşındırılması
- e. Yamaç topuğundaki buzul aşındırması
- f. Yeraltı aşındırması (çözülme, kanal sistemiyle aktarma)
- g. Yamaç üzerine veya yamacın tepesine yük konulması
- h. Bitki örtüsünün ortadan kaldırılması (orman yangınları, kuraklık)

3.3.3. Fiziksel Nedenler

- a. Şiddetli yağmurlar
- b. Karın hızlı erimesi
- c. Taşkın ve gel-git olayında suların hızlı çekilmesi
- d. Deprem
- e. Volkanik püskürme
- f. Çözülme
- g. Donma ve çözülme yoluyla ayrışma

- h. Şişme-büzülme yoluyla ayrışma
- i. Olağanüstü yağışların devam etmesi

3.3.4. İnsan Nedenleri

- a- Yamacın veya topuğunun kazılması
- b- Yamaca veya tepesine yük konulması
- c- Göl suyu seviyesinin aşağı doğru çekilmesi
- d- Ormansızlaştırma
- e- Toprağı sulama
- f- Maden kazıları
- g- Yapay titreşimler
- h- Kullanımdan kaynaklanan su kaçakları

3.4. Şev Stabilite Analiz Yöntemleri

Heyelan ve şev kaymalarının nedenleri, bunların aldıkları şekillerin de çeşitli olması stabilitesizliğin doğasını matematiksel olarak yorumlamayı zorlaştırmaktadır. Şevlerde ve heyelanlarda, yalnızca nedenlerine ve çeşitlerine bakarak analiz yapmak bir bakıma yanlıştır. Çünkü şevden beklenen fonksiyonların da analiz aşamasında önemi büyüktür. Çoğu hallerde şevlerin fonksiyonel tasarımı için, şev zemininde oluşacak deformasyonların sınırlı olması gerekmektedir. Şev yakınlarında veya altında önemli yapılar var ise küçük deformasyonlar dahi kabul edilememektedir. Bu durumda zemin kütleindeki ortalama gerilme seviyesi de düşük olmalıdır (Demir, 2004).

Mühendislik açısından hemen her problemde denge, sayısal olarak ifade edilir ve sonuç olarak bir güvenlik sayısının hesaplanması istenir. Bu hesaplar sırasında da, limit gerilme ve limit denge olmak üzere iki ana yaklaşım yapılır.

3.4.1. Limit Gerilme Yaklaşımı

Limit gerilme yaklaşımı gerçekçi bir yaklaşım olup, dış yükler ve kendi ağırlığı altındaki ortamın, hangi ölçülerde hareket edeceği, gerilmelerin hangi noktalarda yoğunlaştığı ve bunun sonucunda göçmenin olup olmayacağının incelenmesi esasına dayanır. Ancak bu yaklaşım, gerilme analizini yapacak yöntem ve araçların bulunmasını ve ortamın özelliklerinin her noktada doğru olarak belirlenmesini

gerektirir. Sonlu elemanlar yöntemi ve sayısal analiz tekniklerinin gelişmesiyle birinci zorluk büyük ölçüde kaldırılmıştır. Ortam özelliklerini tarifte karşılaşılan güçlükler, yapılan birçok çalışmaya rağmen henüz tümüyle çözülememiştir (Önalp, A, 1983).

Ortam özelliklerinin yetersiz olarak bulunmasının en önemli nedenleri:

1. Temel malzemesinde, gerilme deformasyon modelinin saptanması,
2. Malzeme özelliklerinde yersel, yönsel değişimin olasılığı
3. Üniform olmayan boşluk ve çatlak suyu basınçlarının varlığı
4. Özellikle kayaçta yönü ve şiddeti belli olmayan doğal gerilmelerin varlığıdır (Önalp, A, 1975).

Bu sakıncalardan dolayı limit gerilme analizi, yamaç stabilitesinde geniş uygulama alanı bulamamaktadır.

3.4.2. Limit Denge Yaklaşımı

Limit denge yaklaşımı, ölçülmüş veya seçilmiş yüzeyler boyunca stabilitenin hesaplanmasına dayanır. Bu basitleştirme, hesapların elle yapılmasına olanak sağlaması açısından tercih edilir olmuştur. Diğer taraftan, limit denge prensiplerine dayanan basit yöntemlerle, gerilme altında yapıların deformasyonları hesaplanmasa bile, yapıların güvenliği hakkında karşılaştırmalı sonuçlar bulmak mümkün olacaktır.

Limit denge yaklaşımının dayandığı ana fikir; göçme olasılığı olan bir yüzey varsaymak ve bu yüzey boyunca göçmeye yol açacak gerilme durumunu bulmaya çalışmaktır. Bunun için kayma yüzeyinin yeri ve şekli önceden kabul edilir. Sonra kayma bölgesindeki kütlenin dengede kalması için gerekli olan kayma direnci hesaplanır. Bu analize göre güvenlik sayısı, denge için gerekli kayma direnci ile kayma yüzeyinde gerçekte var olan veya mobilize olan kayma direncinin karşılaştırılması ile bulunan bir katsayıdır.

Kritik güvenlik sayısını bulmak için işlem değişik şekil ve yerdeki kayma yüzeylerine göre iterasyon ile tekrarlanmalı ve en düşüğü seçilmelidir. Limit denge yaklaşımı klasik elastisite teorisi ile incelendiğinde hesaplanacak dengenin, gerçek değerinden daha düşük olacağı saptanmıştır. Kısaca limit denge yaklaşımı yamacı hiperstatik bir problem olarak kabul ederek, bilinmeyen kuvvet ve momentleri hesaplamaktadır. Çizelge 3.3’de geoteknikte en çok kullanılan yöntemler tanıtılmaktadır. (KGM Heyelan tanımlama ve veri oluşturma klavuzu, 2015).

Metot	Kayma Yüzeyi	Toplam Moment Dengesi	Toplam Kuvvet Dengesi	Dilimler arası kuvvetlerde yapılan kabuller
$\Phi U = 0$	Dairesel	*		
İsveç Dilim Yöntemi	Dairesel	*		Dilimler arası kuvvetlerin bileşkesi dilim tabanına paralel
Kama Analizi	Dairesel değil		*	Belirli Eğim
Sonsuz Şev Analizi	Dairesel değil		*	Şeve paralel
Bishop	Genel	*		Paralel
Basitleştirilmiş Janbu	Genel		*	Paralel
Genel Janbu	Genel	*	*	Belirli İtke Çizgisi
Spencer	Genel	*	*	Sabit Eğim
Morgenstern-Price	Genel	*	*	$X/E=\lambda f(x)$
Genel Dilim Yöntemi	Genel	*	*	$X/E=\lambda f(x)$

Tablo 3.3. Analiz metotları (Anderson M G ve Richards, K S., 1982)

3.5. Heyelan Stabilizasyonu

Heyelan stabilizasyonu etkenlerin fazlalığı nedeniyle her zaman kesin çözüm getirilemeyen bir konudur. Artan nüfus ve teknolojik gelişmelere paralel olarak çoğalan yollar, problemlı zeminler üzerindeki yüksek dolgular, barajlar, büyük ve derin kazılar beraberinde stabilite problemlerini de getirmektedir. Şev stabilite analizinde kullanılan yöntemlerin amacı, mühendislere karşılaştıkları kayma hareketlerinde uygulayabilecekleri uygun ıslah çarelerini bulmakta yardımcı olmaktadır. Heyelanların önlenmesi anlamına da gelen ıslah ve meydana getirdiği, getirebileceği tahribatın giderilmesi ve önlenmesi çeşitli şekillerde olabilir. Heyelan önleyici ve düzeltici metotların özeti Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Stabiliteye Etkisi	Kullanılan İslah Metodu	Açıklamalar
Herhangi bir etkisi yok	I.Sakınma Metotları A.Yerdeğiştirme(ripaj) B.Köprü ile Geçme	Yeni güzergah ekonomik olduğu takdirde uygundur.
Kayma gerilmelerini azaltır.	II.Kazı A.Baş kısmının kaldırılması B.Şevlerin yatırılması C.Şevlerin teraslanması D.Kayan bütün malzemenin kaldırılması	A.Kalınlığı fazla olan kohezyonlu malzemelere B.C. Ana kayada, etekte az malzeme atılmış geniş kohezyonlu kütlelerde D.Kayan malzemenin küçük ve kalınlığının az olduğu durumda
Kayma gerilmelerini azaltır ve kayma direncini artırır.	III.Drenaj A.Yüzey 1.Yüzey hendekleri 2.Şevlerin Islahı 3.Çatlakların tıkanması B.Yeraltı 1.Yatay Drenler 2.Boru Drenleri 3.Tüneller (galeriler) 4.Düşey dren kuyuları 5.Mütemadi sifon	A. 1.Bütün tipler için esastır. 2.Sızıntıyı kontrol için şev yüzünü kaplama 3.Bütün tiplerde uygulanabilir. B. 1.YAS bulunan derin ve geniş zemin kütlelerde 2.YAS bulunan nispeten derinliği az zeminlerde 3.Geçirimliliği olan derin ve geniş zeminlerde 4.Değişik tabaka ve cepler halinde YAS bulunan derin zeminlerde 5.Yeraltı dren boruları veya düşey dren deşarjında kullanılır.

Stabiliteye Etkisi	Kullanılan İslah Metodu	Açıklamalar
Kayma direncini artırır.	IV.Tutucu yapılar A.Dayanma yapıları B.Etekte dayanaklar C.Kazıklar D.Palpaşlar E.Zemin Ankrajları	A.Kayan kütlelerin nispeten küçük olduğu durumlarda uygundur. B.Etekte ilave mukavemet temini C.D.Kesme ve eğilmeye çalışan kazıklarda kayma direnci artırılır. E.Özellikle sürekli destek sağlamak amacı ile yapılır.
Daha ziyade kayma direncini artırır.	V.Çeşitli Metotlar A.Kayan kütlelerin stabilizasyonu 1.Enjeksiyon 2.Isıtma 3.Dondurma 4.Patlayıcı madde kullanma 5.Kompaksiyon 6.Elektro-osmoz 7.Derin Kompaksiyon 8.Derin Vibrasyon 9.Donatılı zemin 10.Kompaksiyon kazıkları	Yalnızca Özel Koşullarda Uygulanabilen Özel Yöntemlerdir.

Tablo 3.4. Heyelan önleyici ve düzeltici metotlar (Haliloğlu, B S., 1996)

Kaymanın etkisiyle kot olarak karayoluna yakın şevlerdeki kabarmalar görülmektedir. (Şekil 4.12.).

5. palyeden heyelan sahası kayma düzleminin üst noktası görülmektedir(Şekil 4.13.). Ayrıca kafa hendeklerinin ve palye hendeklerinin hareketten dolayı kırıldığı gözlemlenmektedir. En üst palye seviyesinden karayoluna doğru görüntü mevcuttur(Şekil 4.14). Karayolunun hemen aşağısında yeraltı su seviyesinin eski topografyaya göre yükselten bir göletin bulunduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 4.2. Heyelan sahasından genel görünüm-1



Şekil 4.3. Heyelan sahasından genel görünüm-2



Şekil 4. 4. Heyelan sahasından genel görünüm-3



Şekil 4. 5. Heyelan sahasından genel görünüm-4



Şekil 4. 6. Heyelan sahasının uydudan görünümü



Şekil 4.7. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-1



Şekil 4. 8. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-2



Şekil 4. 9. İksa duvarında meydana gelen çatlaktan görünüm-3



Şekil 4. 10. Heyelan sahasında oluşan derin çatlaklardan genel görünüm-1



Şekil 4. 11. Heyelan sahasında oluşan derin çatlaklardan genel görünüm-2



Şekil 4.12. Heyelan sahasında meydana gelmiş kabarmalardan genel görünüm



Şekil 4.13. Heyelan sahasında 5. palyeden görünüm



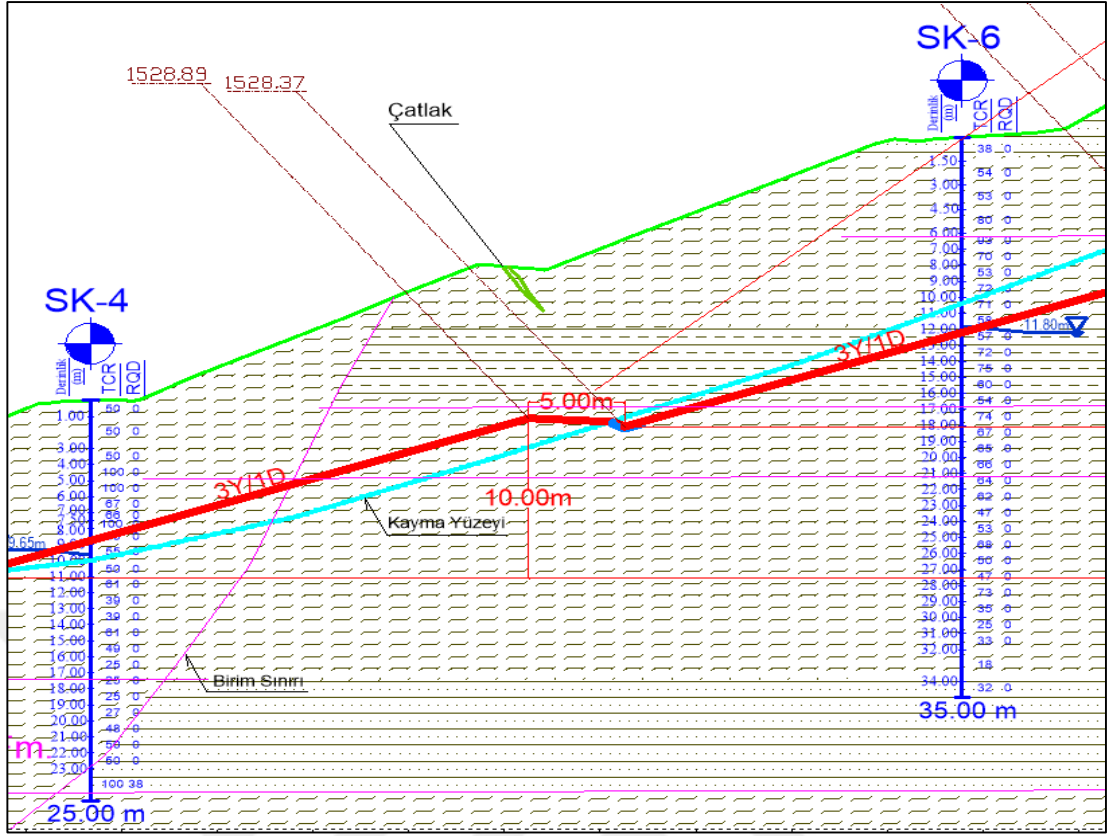
Şekil 4.14. Heyelan sahasında 5. palyeden görünüm

4.2. Geoteknik Tasarım

4.2.1. Heyelan Mekanizmasının Tanımlanması

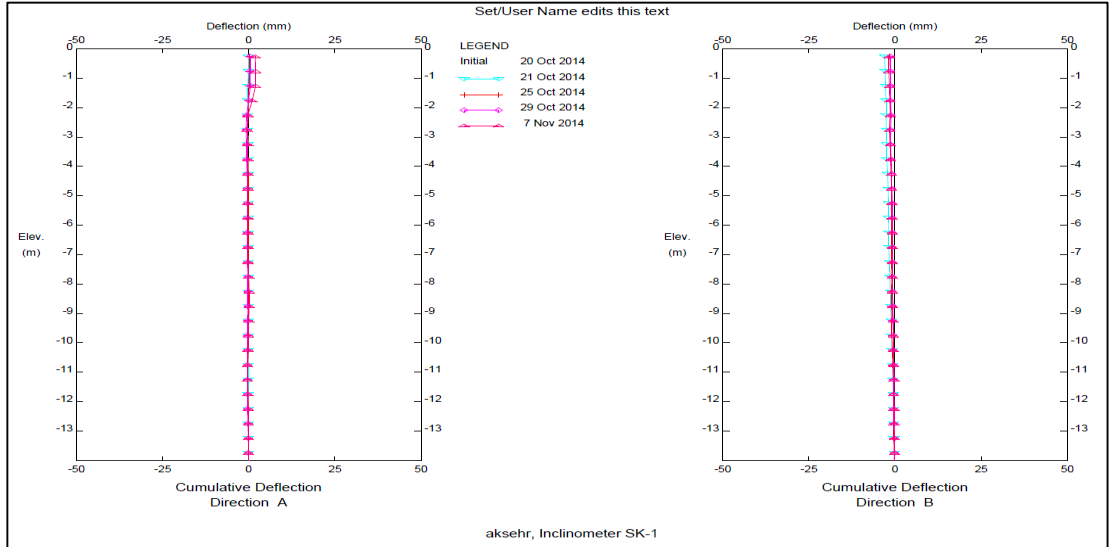
Kilometre artış yönünde güzergahın sağ tarafında yer alan heyelan bölgesine yönelik elde edilen tüm veriler birlikte değerlendirilmiş ve inceleme alanının jeolojik – jeomorfolojik yapısı, kazı durumu, emniyet, duraylılık, zaman, maliyet gibi unsurlar dikkate alınarak, en uygun geoteknik tasarım modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Buna göre üretilen geoteknik tasarımın esası; şev düzenlemesi, yeraltı suyu ve yüzey sularının drenajı ile yarma şevinin topukta desteklenmesine dayanmaktadır. Heyelanı önlemeye yönelik üretilen geoteknik tasarımın esasını kayma kütlelerinin topukta desteklenmesi, şev düzenlemesi ile yeraltı suyu ile yüzey sularının drenajı oluşturmaktadır. Buna göre söz konusu kayma kütlelerinin topuğunda önceden yer alan yüke eşdeğer bir yükleme yapılması mevcut kayma kütlelerinin mümkün olduğu kadar temizlenip kaldırılması ve serbest şevlendirmenin tekrar düzenlenmesi ile kütle yüzeyinde yerüstü ve yer altı sularının hızlı drenajının sağlanması temel yaklaşım olmalıdır. Bu yaklaşım doğrultusunda hazırlanan geoteknik tasarımın detayları ve uygulamaları aşağıda sunulmaktadır.

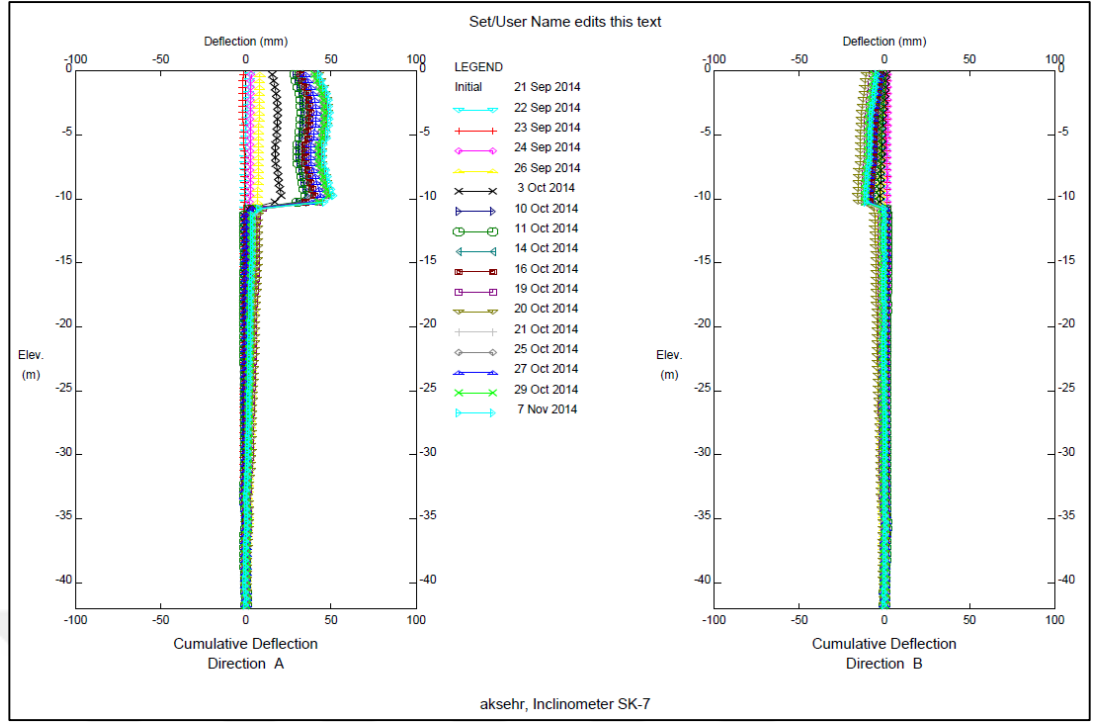


Şekil 4.16. Kritik görülen Km: 22+740 jeolojik enkesiti

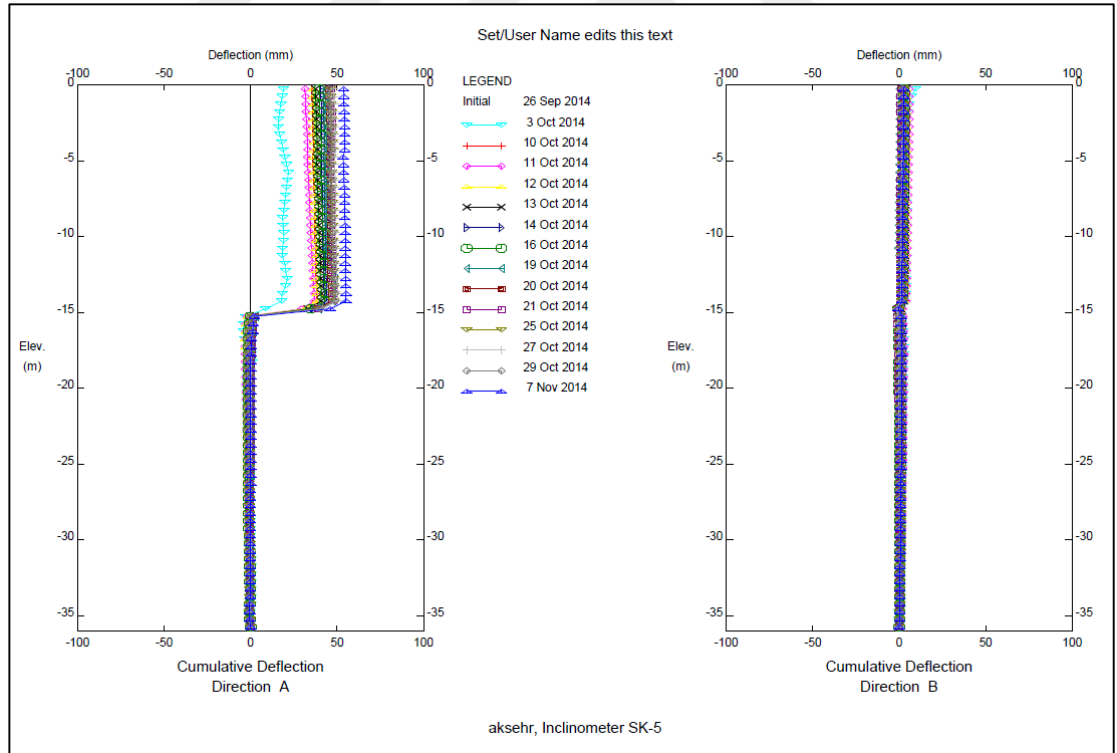
Bir önceki şekle göre ölçeği büyütülmüş yukarıdaki enkesitteki magenta çizgi ile tahmin edilen kayma düzlemi geçirilmiştir. Kayma dairesinin, metakumtaşı - metakıltaşı - şist biriminin içerisinde geçtiği kabul edilmiştir. İnklinometre sonuçları da bu kabulü doğrulamaktadır.



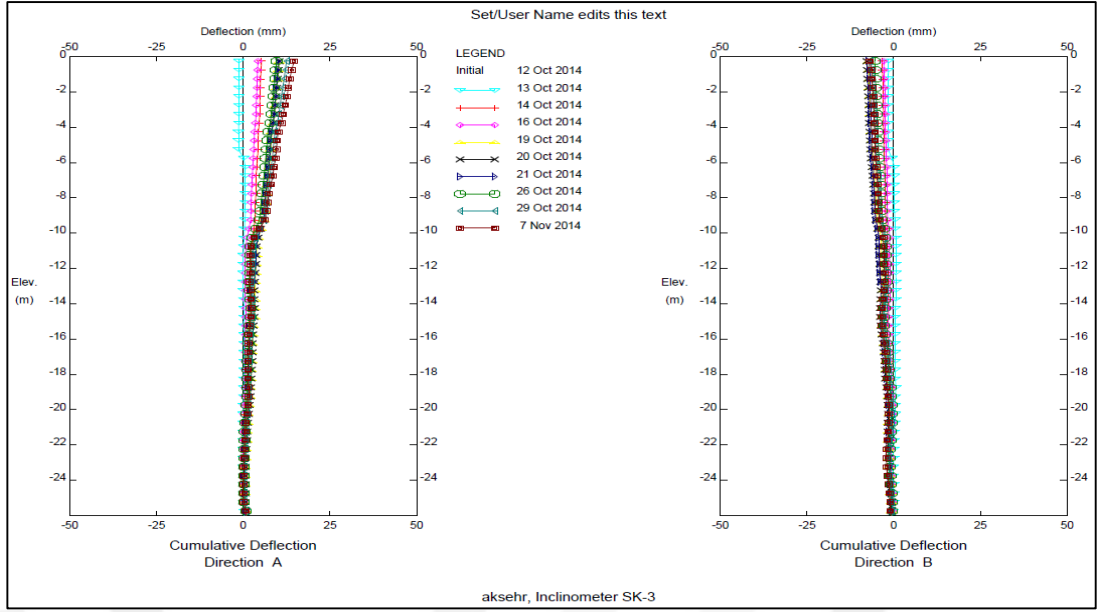
Şekil 4.17. SK-1 no'lu sondaj kuyusuna ait inklinometre deney sonucu



Şekil 4.18. SK-7 no'lu sondaj kuyusuna ait inklinometre deney sonucu



Şekil 4.19. SK-5 no'lu sondaj kuyusuna ait inklinometre deney sonucu



Şekil 4.20 SK-3 no'lu sondaj kuyusuna ait inklinometre deney sonucu

Metakumtaşı - metakiltası - şist birimi, sondaj kuyusu loglarında kaya olarak tanımlanmasına rağmen, TCR ve RQD değerleri %0 olarak tespit edilmiştir. Kayma düzleminin geçtiği derinlik (yaklaşık 10 m), Çakıllı BLOK – Blokluk ÇAKIL görünümündedir. Kaya kütlesi özelliği göstermemektedir (RQD = %0). Kayma düzleminde geçen malzemeyi şekil 4.21, şekil 4.22, şekil 4.23 ve şekil 4.24 incelendiğinde kaya kütlesi özelliği göstermediği ve çakıllı blok olduğu anlaşılmaktadır.

AKŞEHİR-YALVAÇ YOLU ARAŞTIRMA MÜHENDİSLİK HİZMETLERİ İŞİ
(KM.22+465-22+860 / KM.25+720-25+820)
KM. 22+465 – 22+860 HEYELANI

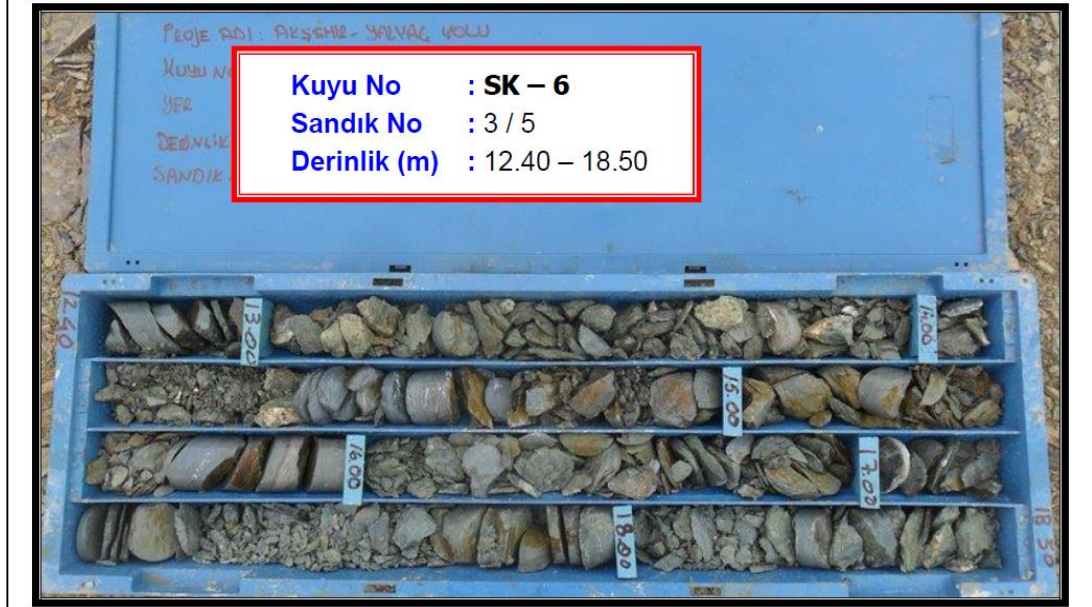


Şekil 4.21. SK-4 no'lu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm



Şekil 4.22. SK-6 no'lu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm

AKŞEHİR-YALVAÇ YOLU ARAŞTIRMA MUHENDİSLİK HİZMETLERİ İŞİ
(KM.22+465-22+860 / KM.25+720-25+820)
KM. 22+465 – 22+860 HEYELANI



Şekil 4.23. SK-6 no'lu sondaj kuyusuna ait karot sandık fotoğrafından görünüm

Sondaj kuyularında karşılaşılan birimler ve özellikleri incelendiğinde Zayıf Kaya (Weak Rock) ve Ara Geomalzeme (IGM, Intermediate Geomaterial) tanımları aşağıda açıklanmıştır.

Zayıf kayayı tanımlamak için çeşitli terimler kullanılmıştır. Zayıf ayrıışmış ve parçalanmış kaya (BS 8004), sertleşmiş zemin ve yumuşak kaya (Oliveria, 1993), ara geomalzeme IGM (Intermediate Geomaterial) (FHWA, 1995), ve yumuşak kaya (Johnston, 1989). Johnston zayıf (yumuşak) kayanın kaya ve zemin arasındaki sürekli spektrumdaki malzemelerin bir parçası olduğunu işaret etmektedir. Zeminlere göre zayıf kayalar daha sert, daha gevrek, daha genleşen ve süreksizdir. Diğer kayalara göre ise daha yumuşak, daha az gevrek, daha sıkışabilir ve efektif gerilme değişimlerdeki değişimlere daha hassastır. Kayalar kaya malzemesinin kendisi zayıf olduğundan dolayı veya kaya kütlesi kırıklı olduğundan zayıftır. Bu sebeple zayıf kaya tanımı malzeme dayanımı ve kütle yapısı ile ilgilidir.

CIRIA Report 181'de zayıf teriminin alt sınırı için intakt (sağlam) numunelerin tek eksenli basınç dayanımı 0.6 MPa'dır. BS 5930:1981'e göre zayıf tek eksenli basınç dayanımı (q_u) 1.25 - 5 MPa arası olarak tanımlanmaktadır. Zayıf kayanın diğer bir tanımı ise kütle rijitliğinin (massstiffness) 30 GPa değerinden (tipik bir beton kısa dönem Young Modülü değeri) küçük olmasıdır. Pratikte zayıf kayalar 0.6 - 12.5 MPa arasında tek eksenli basınç dayanımı ve 0.1 - 1 GPa arasında kütle rijitliği gösterirler.

Zayıf kayalar ya doğal olarak zayıf (yerçekiminden ötürü sınırlı miktarda sıkışma ve çimentolanma yaşamışlardır) ya da önceden dayanımlı olan kayaların bozunma, ayrışma ve alterasyonu ile parçalanmış/ufalanmış ürünleridir.

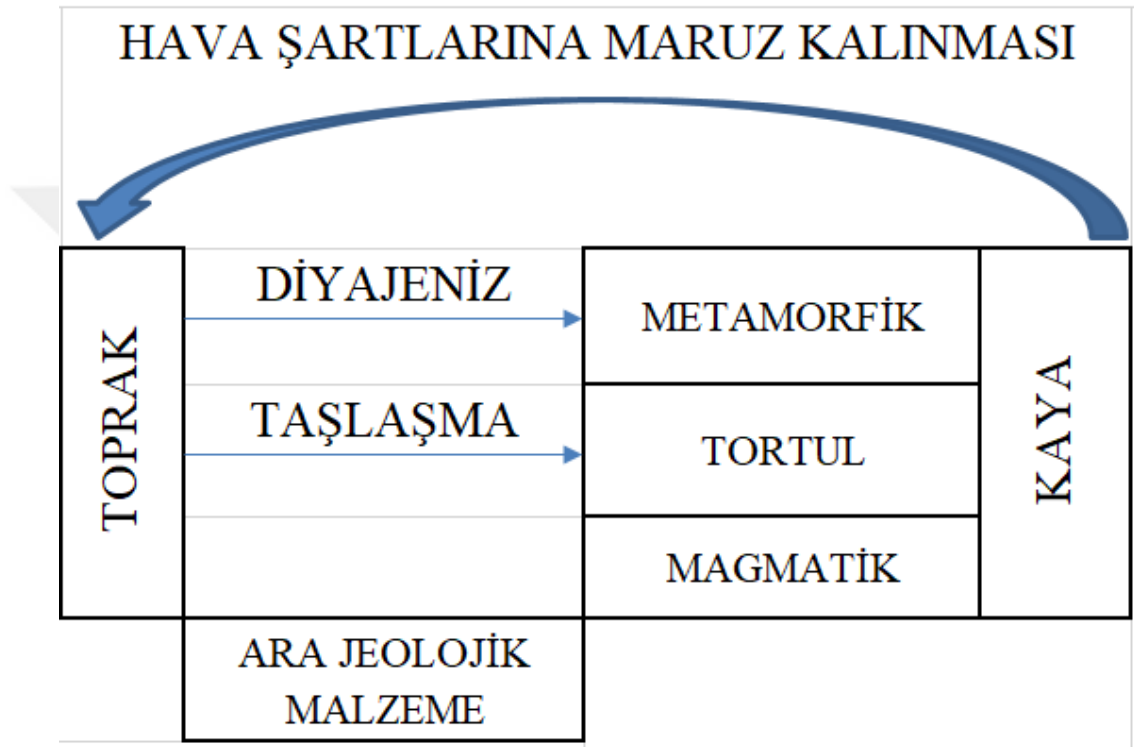
Zayıf kayalar, özellikle nispeten sert ve yumuşak değişken tabakalanmaların olduğu kıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşı gibi sedimanter kayalar önemli derecede heterojenlik gösterebilirler.

Ara geomalzemeler zemin ve kaya arasında yer almaktadır. Bu nedenle hem zemin hem de kaya mekaniği prensipleri IGM'nin malzeme davranışı ve dizayn metodolojisi açısından geçerlidir.

IGM oluşum süreçleri iki temel kategoriye oturmaktadır. 1 zemin kaya benzeri karakteristiklere güçlendirilmiştir 2 kaya formasyonları zemin benzeri seviyelere zayıflatılmıştır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz olarak 2 farklı IGM tipi bulunmaktadır. Kohezyonlu IGM'ler silttaşı, kıltaşı, çamurtaşı, kumtaşı gibi kil ve kum tabanlı

malzemelerdir. Kohezyonsuz IGM'ler dayanımlarını esas olarak sürtünme direncinden alan çok sıkı granüler malzemeleri içermektedir.

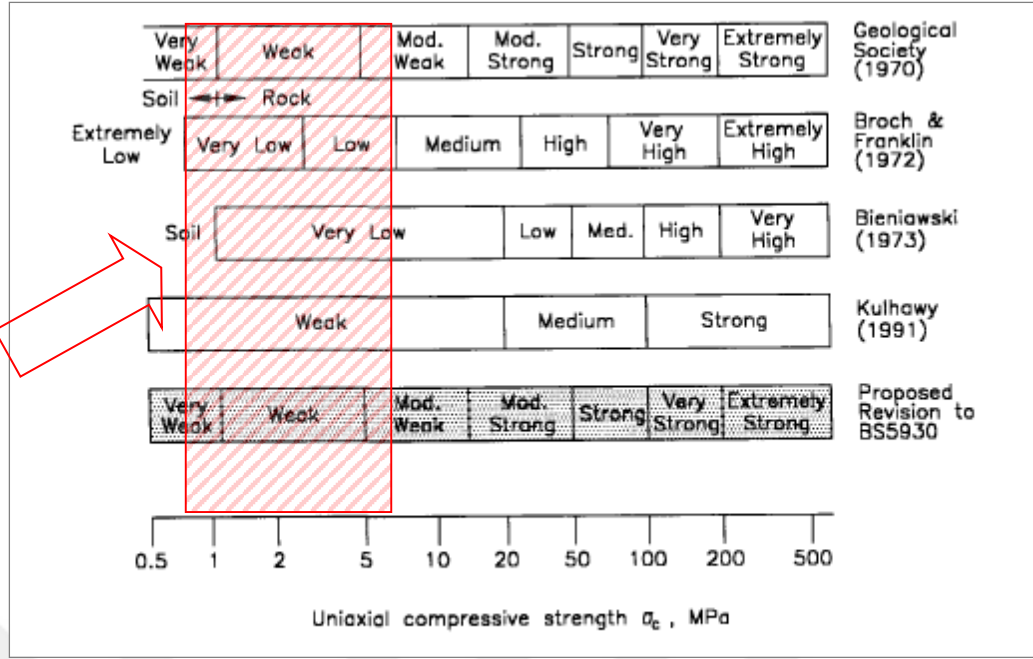
IGM'nin kayma dayanımı intakt (sağlam) kayadan daha az, fakat zeminden daha fazladır. Dayanım aralığı ara geomalzemelerin oluşumlarına yol açan süreçlerden dolayı oldukça geniştir. Ara geomalzemeler zemin veya kaya formasyonlarının doğal oluşum süreçleri eksik kaldığında veya tamamlanmadığında oluşmaktadır. Ara geomalzemeleri kayanın zayıflama sürecinin yan ürünüdür.



Şekil 4.24. Ara geomalzeme (IGM)

Değişkenliklerinden dolayı IGM'lerin davranışı öngörülebilirlikten uzaktır. Malzeme davranışındaki geniş aralıklar literatürde IGM için özellikle malzeme dayanımı için birbirinden farklı tanım ve açıklamalara sebebiyet vermektedir.

Birçok uygulama için makul bir tanım IGM'lerin 600 - 12.500 kPa arasında tek eksenli basınç dayanımı, $N > 50$ olan SPT darbe adeti ve 100 - 1.000 MPa arasında rijitlik modülüne sahip olduğudur.



Şekil 4.25. Kaya Malzeme Dayanımının Sınıflandırılması (Kulhawy ve Phoon, 1993)

Yukarıdaki değerlendirmeler neticesinde, birimin kaya kütlesi olarak değil, en kötü kaya, en iyi zeminden iyidir ilkesi esas alınarak, çok sıkı özellik gösteren granüler (çakıl - blok) malzeme özelliği göstereceği kabul edilerek, analizler yapılmıştır.

ÇİZELGE II-4 ZEMİNLERDE OLASI PARAMETRELER				
	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)
ZEMİN TÜRÜ	c_u	ϕ_u	c'	ϕ'
Çakıl (orta) GP, GW	-	35-55	-	35-55
Çakıl kumlu	-	33-50	-	33-50
Kum (gevşek,kuru)	-	-	-	28-34
Kum (sıkı,doygun)	-	33-46	-	33-46
Silt,siltli kum (gevşek)	4-8	22-27	-	25-30
Silt,siltli kum (sıkı)	6-12	25-30	-	27-32
Kil (NL)	0-50	3-20	0-15	20-38
Kil (OC)	30-500	5-20	10-100	15-25

Şekil 4.26. Zeminlerde olası parametreler (Önalp, A. Sert, S. , Geoteknik Bilgisi,2006)

4.2.2. Geri Analiz Yöntemi

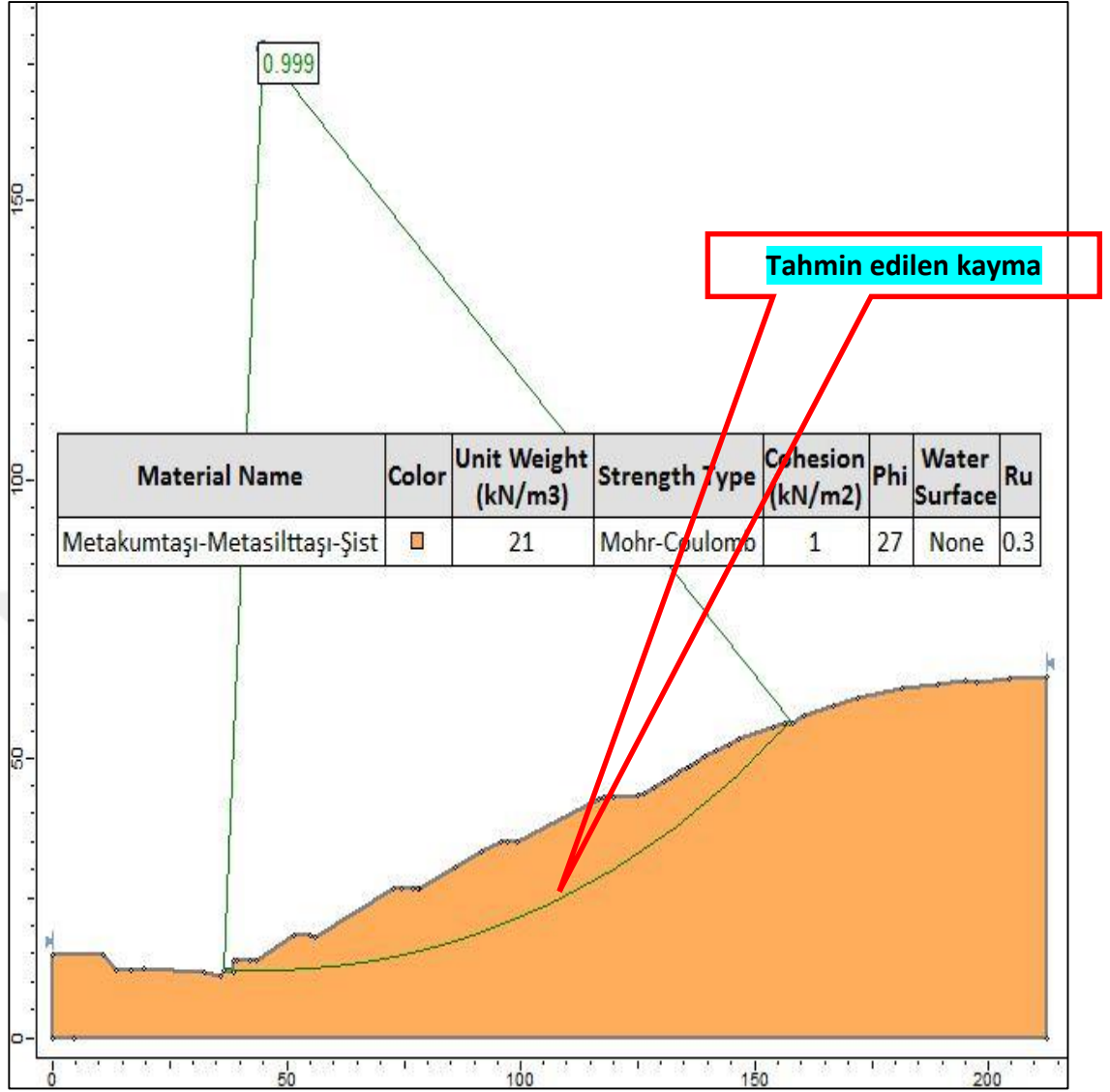
Heyelan kütlesinin oluşum mekanizmasını ortaya koymak ve oluşturulacak geoteknik tasarımın belirlenmesine yönelik olarak 9 adet sondaj kuyusu açılmış numuneler üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri yapılmıştır.

Arazi, sondaj, inklinometre ve laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiş ve bu veriler jeolojik tip enkesitler üzerine işlenerek bölgede geçerli olduğu düşünülen heyelan modeli ortaya çıkarılmıştır. İnklinometre deneyleri sonrasında kayma düzleminin, yaklaşık olarak SK-3 no’lu sondaj kuyusunda 10.00 metre, SK-5 no’lu sondaj kuyusunda 15.00 metre, SK-7 no’lu sondaj kuyusunda 11.00 metre seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir. Mevcut yol platformunun hemen kenarında hendek dibinde yapılan SK-1 no’lu sondaj kuyusunda ise belirgin bir kayma yüzeyi belirlenememiştir.

Heyelan alanında genellikle, hem yatay hem de düşey olarak birbiri ile ardalanmalı, Sultandede formasyonuna ait metakumtaşı, metakiltarı, şist ve kireçtaşı birimleri yer almaktadır. Bu birimler genel olarak çok tamamen ayrışmış, aşırı derecede zayıf çok zayıf dayanımlı özellik göstermekte olup, yer yer rezidüel zemin niteliğindedir. Laboratuvar deneyleri genellikle bu birimlerin daha az ayrışmış ve daha dayanımlı ara seviyelerinden yapılmış olup, birimlerin genelini temsil etmemektedir. Bu doğrultuda heyelan kütlesini homojenize ederek, makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesi amacı ile geriye dönük analiz çalışmaları yapılmıştır. Geri analiz yapılırken öncelikle mevcut kayma kütlesinin oluşturduğu kayma daireleri için ilgili enkesit üzerinde $GS < 1$ değerini sağlayan farklı veri çiftleri elde edilmiştir.

Bu doğrultuda heyelan kütlesini homojenize ederek, makaslama dayanım parametrelerinin belirlenmesi amacı ile geriye dönük analiz çalışmaları yapılmıştır.

Geri analizlerde, inceleme alanı ve çevresinin genel olarak yeraltı ve yüzey suları bakımından oldukça zengin olması dikkate alınarak, boşluk suyu basıncı oranı ru değeri, temsili olarak 0.30 alınmıştır.



Şekil 4.27. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi

4.2.3. Dişli Taş Topuk Dolgusu ile Tasarım Durumu Değerlendirmesi

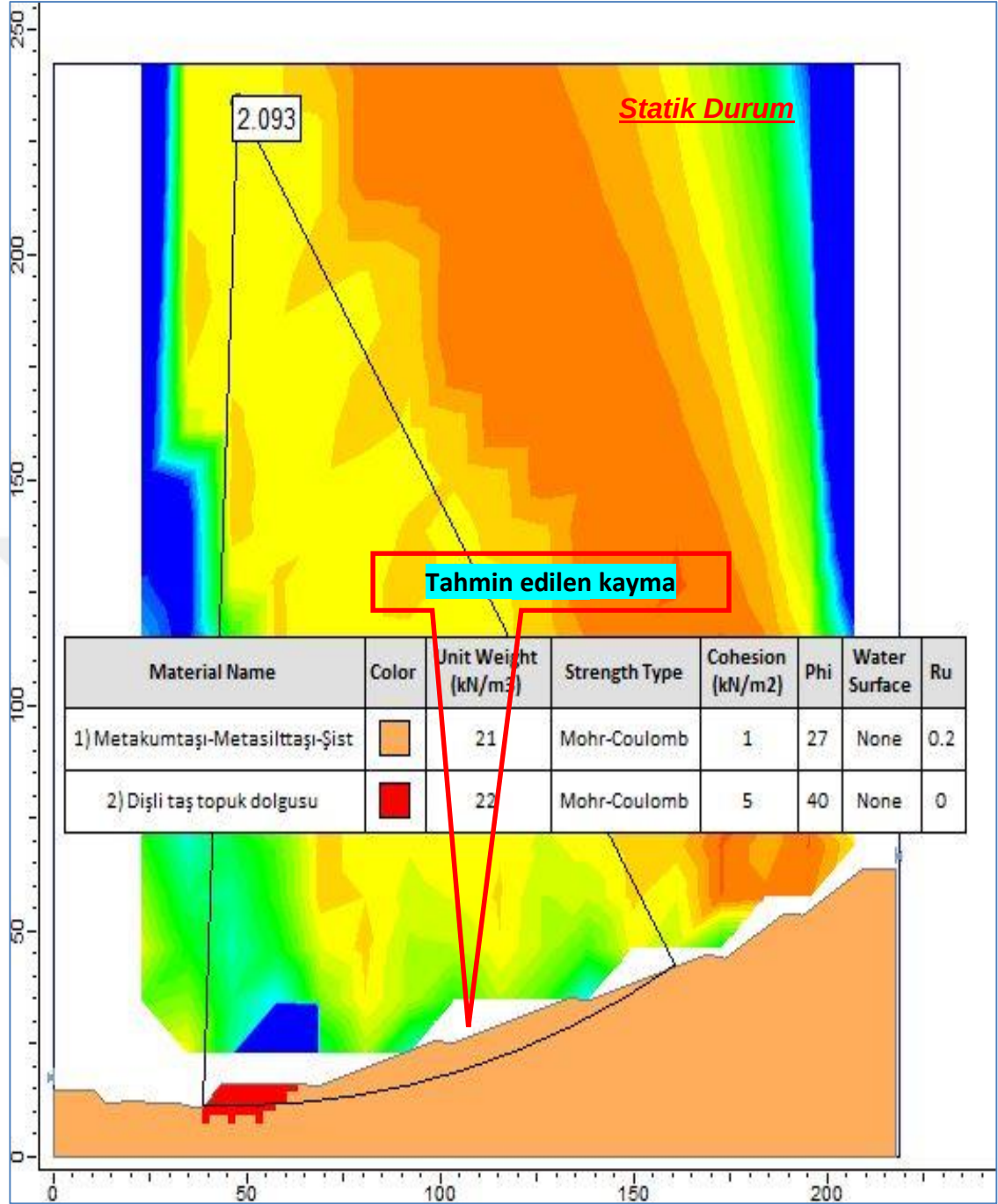
Ortaya konan geoteknik tasarımda, mevcut durumdaki stabilite probleminin çözümüne yönelik olarak, kilometre artış yönüne göre sağda kalan yol platformunun kenarında, taban ve üst yüzey genişliği 10.00 m olan, dişli taş topuk dolgusu önerilmiştir.

Yol platformu tarafı ile 1y/1d şev eğimli olacak dişli taş topuk dolgusunun, taban genişliği 10.00 m, yüksekliği 8.00 m, üst yüzey genişliği 14.00 m olarak, dış genişliği 2.00 m dış yüksekliği 3.00 m olarak tasarlanmıştır.

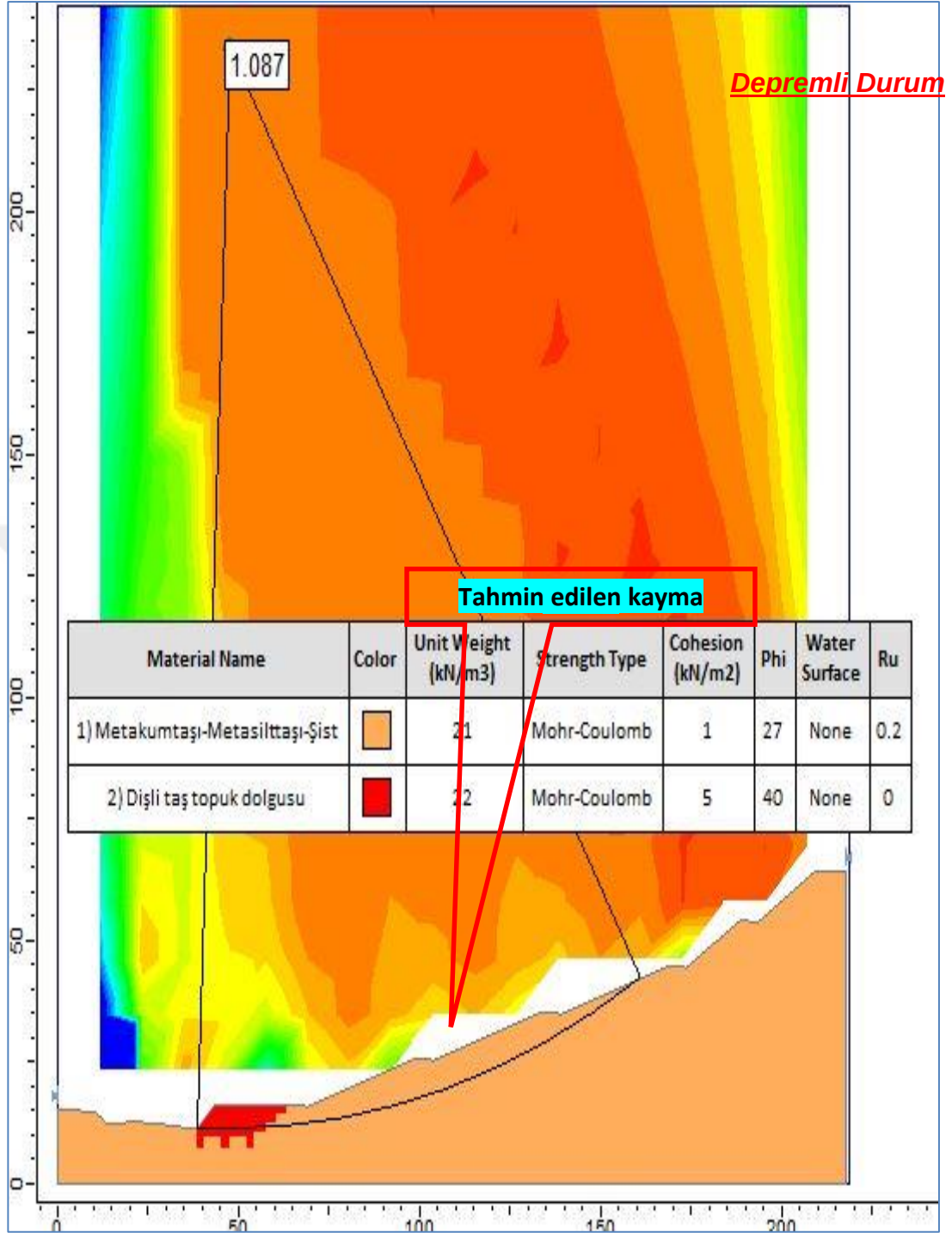
Tasarım durumu için yapılan analizler neticesinde, yolu etkileyecek kayma dairelerinde güvenlik sayıları (2.093, 1.087), hedeflenen güvenlik sayılarını (1.50, ≈ 1.10) sağlamakta olup stabilite problemi çözülmüş olacaktır.

Ayrıca heyelanın meydana gelmesindeki en önemli etkenlerden birisi olan heyelan kütlesi ve çevresindeki yüzey ve yeraltı sularının drenaj tedbirleri ile uzaklaştırılacağı göz önünde bulundurulmuştur. Analizlerde, boşluk suyu basıncı oranı (r_u) değeri drenaj önlemlerinin alındığında düşerek 0.20 olarak alınmıştır.





Şekil 4.28. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi (statik durum)



Şekil 4.29. KM.22+740 enkesiti, geri analiz değerlendirmesi (depremli durum)

4.2.4. Tek Sıra Fore Kazıklı Tasarım Durumu Değerlendirmesi

Bu bölümdeki analizler, iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile yapılmıştır. Yöntem, iki boyutlu düzlemde çalışmakta olup z (üçüncü boyut) eksenini bir birim metre kabulü ile işlem yapmaktadır. İlerleyen alt bölümlerde kazık ve kazık başlığı rijitlik parametreleri bir birim metre için hesaplanarak programa tanımlanmıştır.

Göçmeye yol açan normal ve kayma gerilmelerinin ortak etkisini gözönüne alan en basit hipotez olarak Mohr-Coulomb göçme kriteri olup, zeminlerin kayma mukavemetini ifade etmek için en yaygın kullanılan matematiksel bağıntıdır. Kayma düzleminin içerisinden geçtiği, sondaj kuyusu loğunda kaya olarak tanımlanmasına rağmen (çakıllı blok özelliği gösterdiğinden), zemin olarak kabul edilen birim için sonlu elemanlar analizinde, Mohr-Coulomb göçme kriteri kullanılmıştır.

Göçme zarfı olarak nitelendirilen eğrinin altında kalan gerilme durumları için göçme ortaya çıkmazken, bu zarfa ulaşıldığı anda zeminde göçme meydana gelmektedir. Genel olarak göçme zarfı bir eğri ile temsil edilmekle beraber bu eğri, basit ve kullanışlılığından ötürü uygulamada genellikle bir doğru olarak kabul edilmektedir. Bu doğrunun düşey eksenini kestiği nokta c ve yatay ile yaptığı açı ϕ ile gösterilirse kayma dayanımı ifade eden bağıntı (doğrunun denklemi) şeklinde yazılabilir. Burada c ve ϕ kayma dayanımı parametreleri olarak nitelendirilen iki katsayıdır, σ ise göçme yüzeyine etkileyen normal gerilme olmaktadır.

4. bölümde, heyelan malzemesinin geri analiz kullanılarak, kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri ortaya konmuştu. Mohr-Coulomb modelde zemin; elastisite modülü, poisson oranı, elastik parametreleri ile içsel sürtünme açısı, kohezyon ve dilatasyon açısı plastik parametreleriyle ifade edilir.

Analiz edilen programda, kayma dayanımı parametrelerinin haricinde, elastisite modülü ve poisson oranı parametreleri de istenmekte olup, poisson oranı 0.3 olarak alınmış, elastisite modülü ($300\,000\text{ kN/m}^2$) için ise herhangi bir laboratuvar ve arazi deney verisi olmadığından aşağıdaki literatür verisinden yararlanılmıştır.

Type of soil	Modulus of elasticity, E_s (MN/m ²)	Poisson's ratio, μ_s
Loose sand	10–25	0.20–0.40
Medium dense sand	15–30	0.25–0.40
Dense sand	35–55	0.30–0.45
Silty sand	10–20	0.20–0.40
Sand and gravel	70–170	0.15–0.35
Soft clay	4–20	
Medium clay	20–40	0.20–0.50
Stiff clay	40–100	

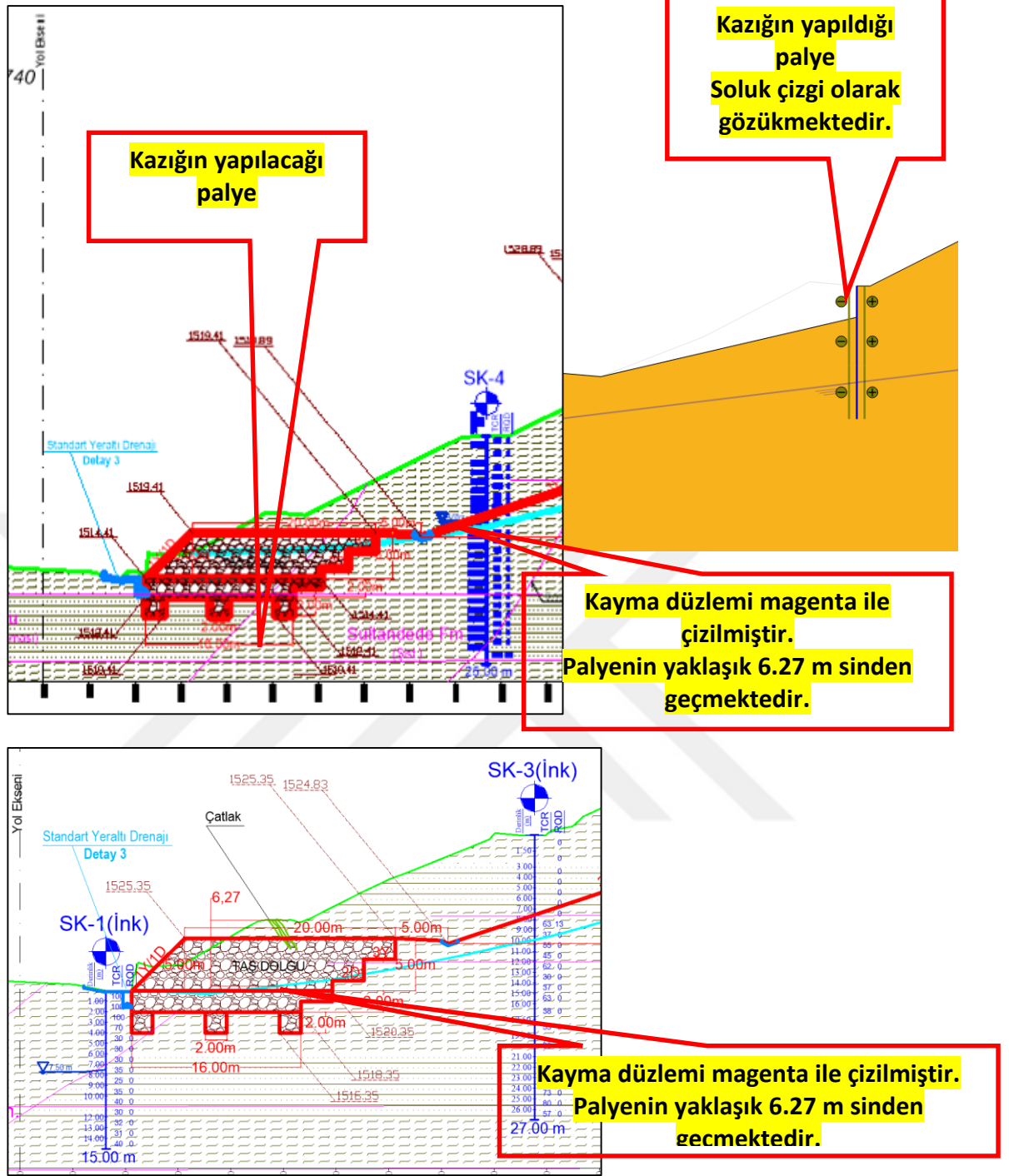
Tahmin edilen E değeri
RQD = %0 İÇİN ÇOK SIKI
KUM-ÇAKIL GİBİ
DÜŞÜNÜLMÜŞTÜR.

Şekil 4.30. Malzemeye göre elastisite modülü

Parametre	Sembol	Metakumtaşı – Metakiltaşı – Şist
Malzeme Modeli	-	Mohr Coulomb
Malzeme Davranışı	Tip	Drenajlı
Kuru BHA	γ_{dry} (kN/m ³)	21
Doygun BHA	γ_{sat} (kN/m ³)	21
Ort. TCR	%	*
Ort. Rqd	%	12
Elastisite modülü	E (kN/m ²)	300 000 (*)
Poisson Oranı	ν	0.25
Kohezyon	c (kPa)	1 (*)
Sürtünme Açısı	ϕ (°)	27 (*)
Dilantansi Açısı	Ψ (°)	$\phi - 30 = 0$

Tablo 4. 1. Analizlerde kullanılan zemin - kaya parametreleri

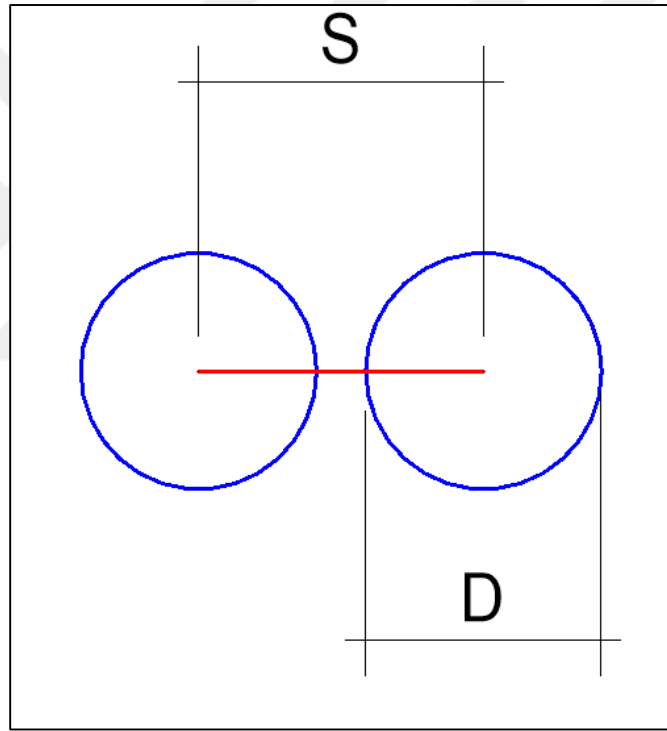
Fore kazığın boyunun seçimi yapılırken yukarıdaki enkesitlere bakıldığında kayma dairesi, kazığın yapılacağı palye ekseninin 6.27 m sinden geçmektedir. Buna göre kazık ucunun kayma dairesinin altında kalması istenmiş olup kazık boyu tüm analizlerde 10 m olarak seçilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.31. Kazık boyunun belirlendiği jeolojik enkesitler

Buna göre, farklı rijitlik parametreleri elde etmek üzere;

- 1.20 m çapında kazıklar 1.45 m aralıklı (S/D=1.21) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.
- 1.20 m çapında kazıklar 1.60 m aralıklı (S/D=1.33) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.
- m çapında kazıklar 1.21 m aralıklı (S/D=1.21) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.
- m çapında kazıklar 1.33 m aralıklı (S/D=1.33) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.
- 0.80 m çapında kazıklar 0.97 m aralıklı (S/D=1.21) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.
- 0.80 m çapında kazıklar 1.06 m aralıklı (S/D=1.33) durum için N, V, M ve Ux değerleri belirlenmiştir.



Temsili olması açısından bir birim metre derinlik için D= 1.20 m, 1.45 m aralıklı BA kazı için rijitlik parametreleri aşağıda hesaplanmıştır.

Kazık alanı (A_p);

$$A_p = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * (1.20)^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2 \text{ olup,}$$

$$\text{Etkili alan } (A_p') = 1.13 * \frac{1}{1.45} = 0.780 \text{ m}^2/\text{m} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Kazık (dairesel kesitte) atalet momenti (I_p);

$$I_p = \frac{\pi * D^4}{64} = \frac{\pi * (1.20)^4}{64} = 0.102 \text{ m}^4 \text{ olup,}$$

Etkili atalet momenti (I_p') = $0.102 * \frac{1}{1.45} = 0.0702 \text{ m}^4/\text{m}$ olarak hesaplanır.

TS 500'e göre, C30/37 betonarme kazık için elastisite modülü, $E = 320 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ olarak alınabilir.

Buna göre;

Normal rijitlik, $EA' = 320 \times 10^5 \times 0.780 = 24\,959\,412 \text{ kN/m}$

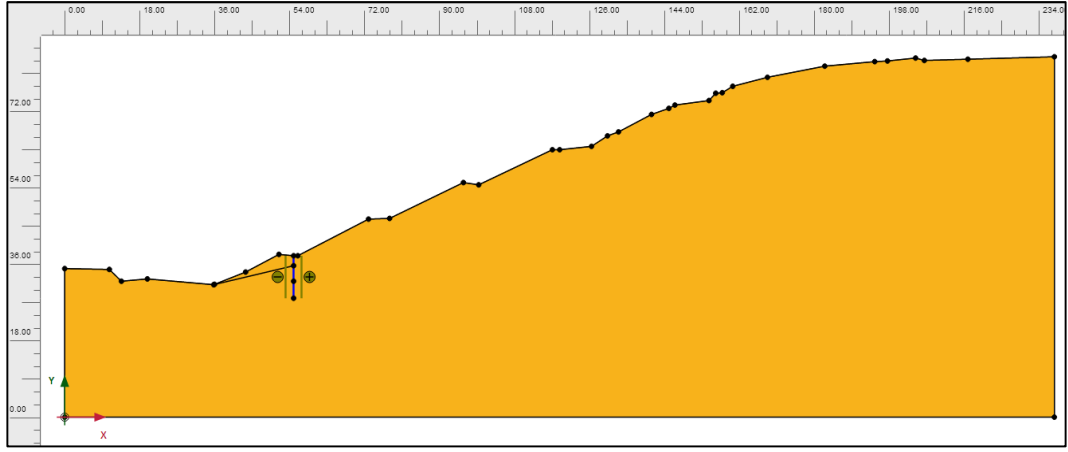
Eğilme rijitliği, $EI' = 320 \times 10^5 \times 0.0702 = 2\,246\,347 \text{ kNm}^2/\text{m}$

Analizlerde kullanılan betonarme kazık için parametreler aşağıda özetlenmiştir.

Parametre	Sembol	Ø120/145 kazık
Malzeme Modeli	-	Elastik
Normal Rijitlik	EA' (kN/m)	24 959 412
Eğilme Rijitliği	EI' (kNm ² /m)	2 246 347
Ağırlık	w' (kN/m/m)	5
Poisson Oranı	ν (-)	0.15

Tablo 4.2. Kazık için analizlerde kullanılan rijitlik parametreleri

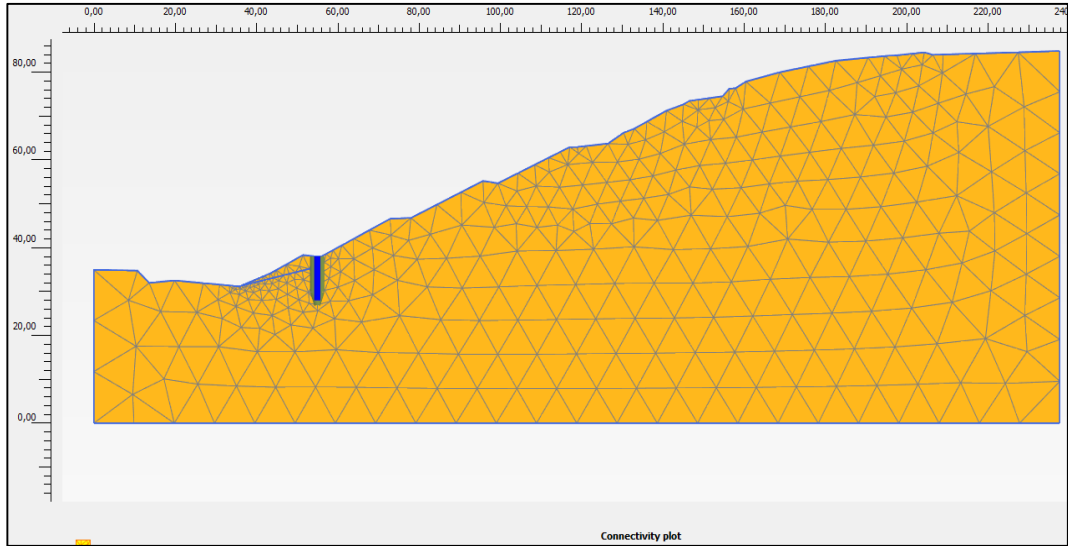
Yukarıdaki hesap 120/145 için detaylandırılarak verilmiş olup, diğer boyutlar için hesaplamalar yapılarak tabloda sunulmuştur (Tablo 4.2). Yapılan analizlerde, fore kazıkta oluşacak yer değiştirme (yatay) ve tesir kuvvetleri (eksenel, kesme ve moment) hesaplanmıştır(Şekil 37-65).



Analizlerde tasarım durumu için bu alanın kayacağı heyelan edeceği varsayılarak, konsol (kazı durumu) için enkesit analiz edilmiştir.



Şekil 4.32. Kazıklı tasarım için modelin kurulması (Plaxis 2D)



Şekil 4.33. Kazıklı tasarım için sonlu elemanlar ağının kurulması (Plaxis 2D)

Soil - Mohr-Coulomb - Metakumtaşı - Metakilitaşı - Şist

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Metakumtaşı - Metakilitaşı - Şist
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 248, 178, 27
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	20,00
γ_{sat}	kN/m ³	20,00
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		☐
e_{init}		0,5000
e_{min}		0,000
e_{max}		999,0

Next OK Cancel

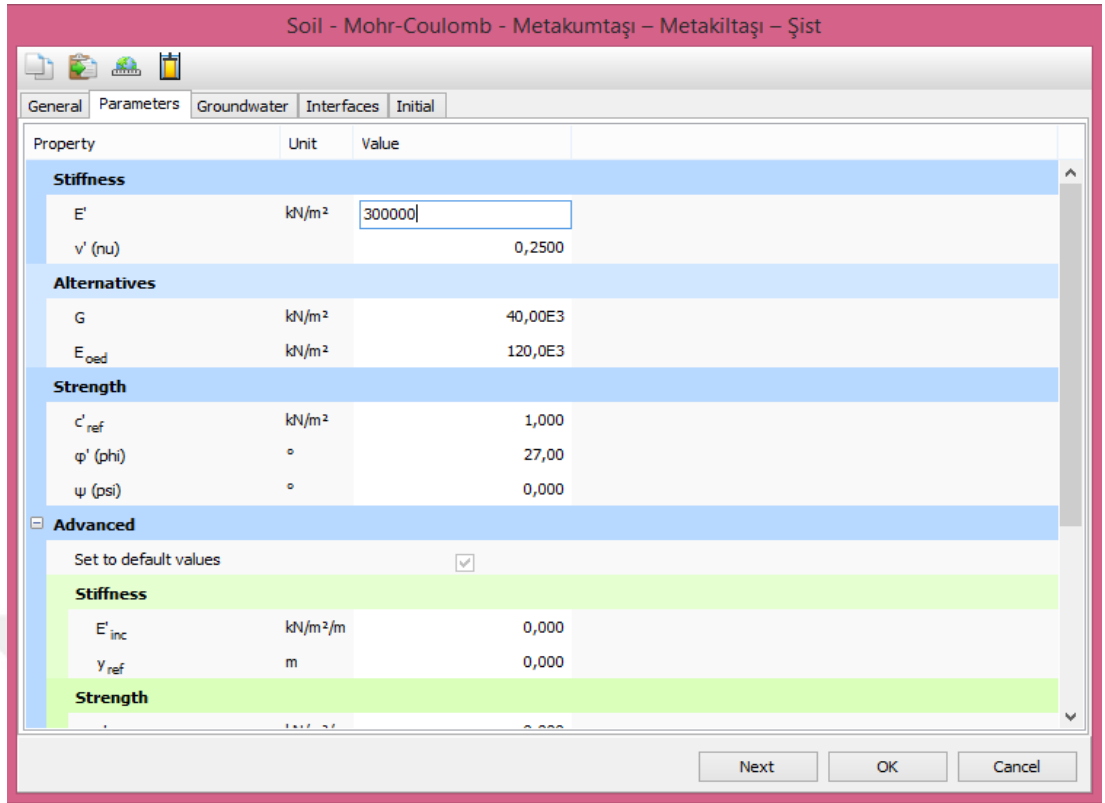
Plate - kazık120/145

General Parameters Groundwater Interfaces Initial

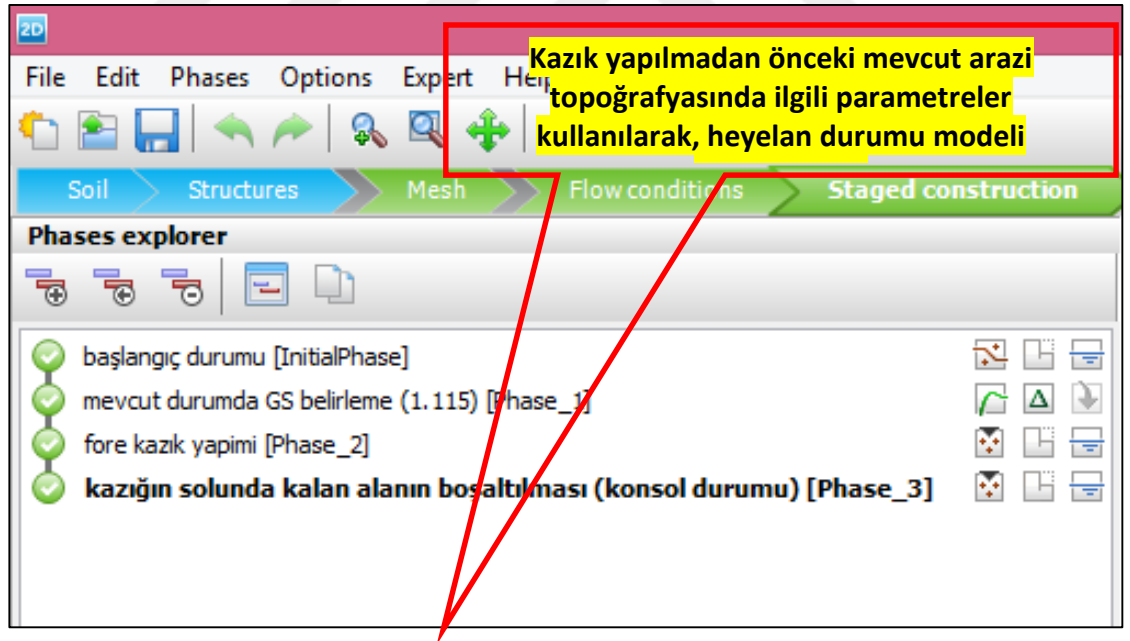
Property	Unit	Value
Material set		
Identification		kazık120/145
Comments		
Colour		RGB 0, 0, 255
Material type		Elastic
Properties		
Isotropic		☒
End bearing		☐
EA_1	kN/m	24,96E6
EA_2	kN/m	24,96E6
EI	kN m ² /m	2,246E6
d	m	1,039
w	kN/m/m	5,000
ν (nu)		0,1500
Rayleigh α		0,000
Rayleigh β		0,000

OK Cancel

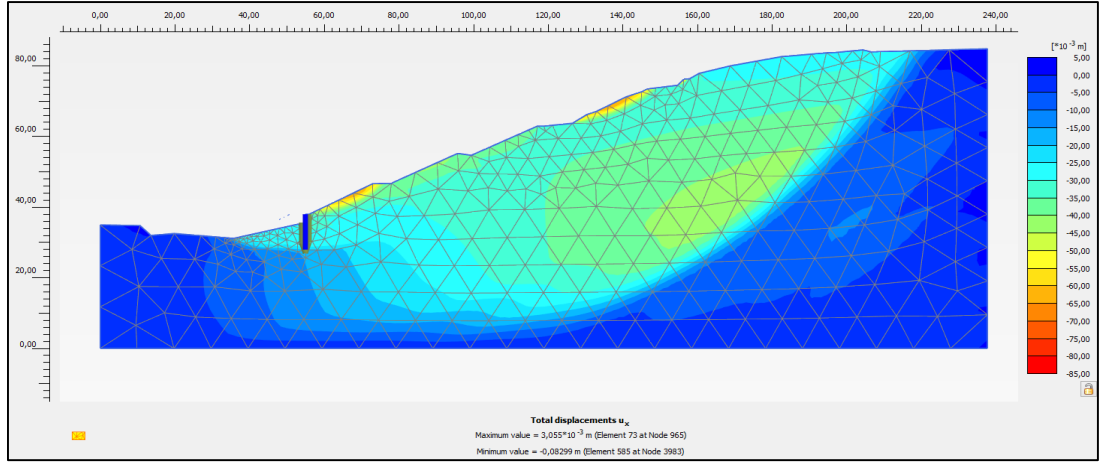
Şekil 4.34. Kazık rijitlik parametrelerinin pograma tanımlanması (Plaxis 2D)



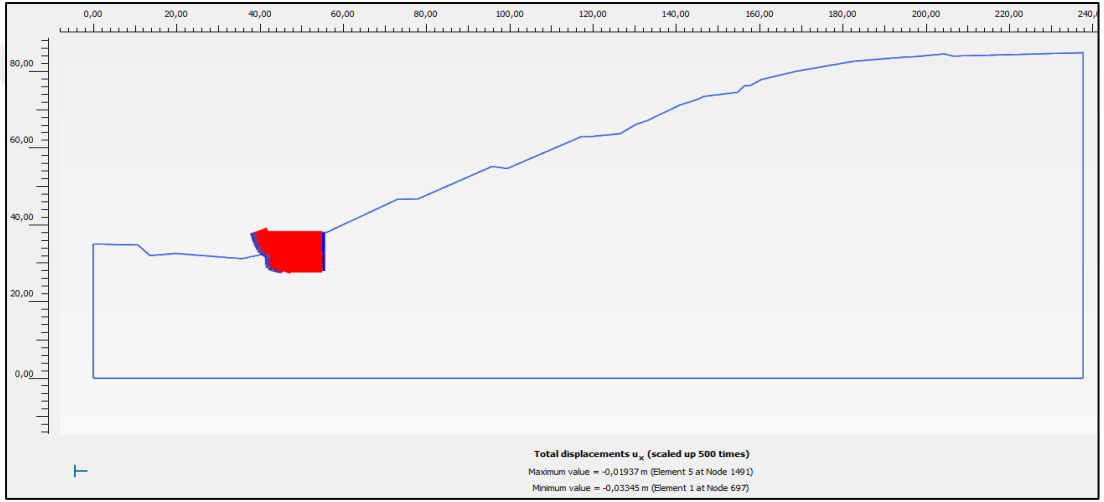
Şekil 4.35. Heyelan malzemesine ait parametrelerin pograma tanımlanması (Plaxis 2D)



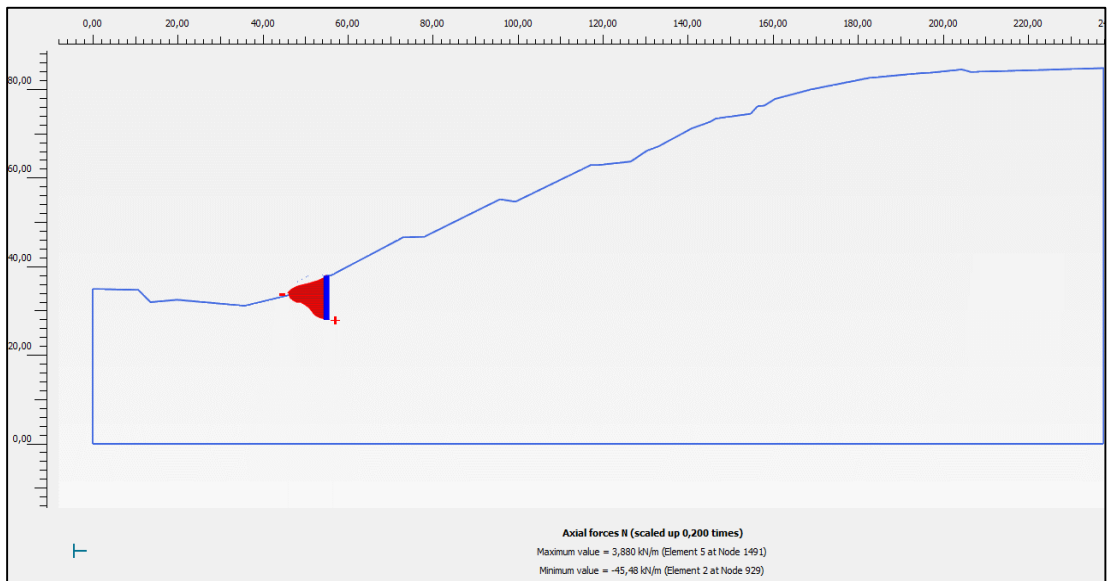
Şekil 4.36. Analizde takip edilen hesap aşamalarının gösterilmesi



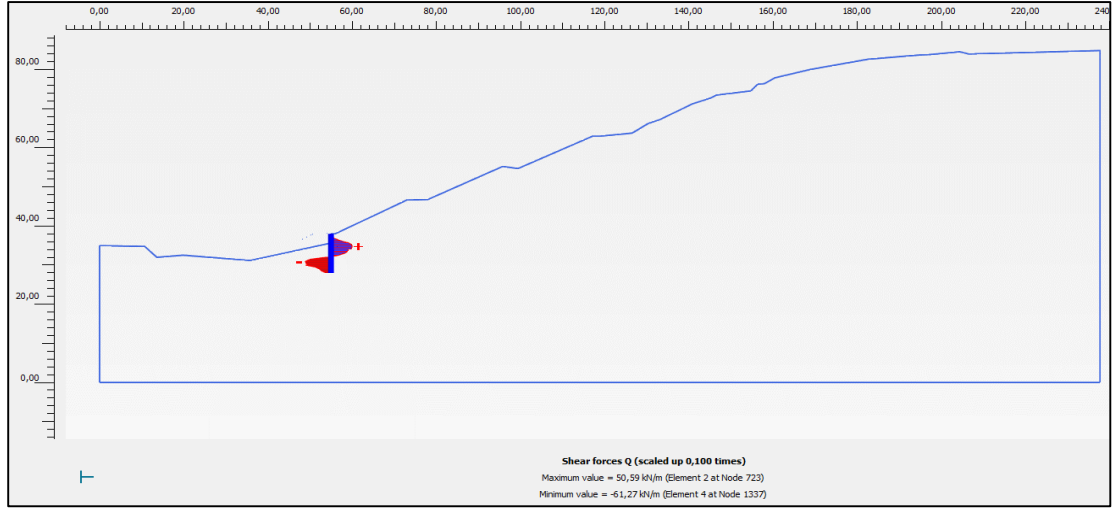
Şekil 4.37.D=1.20 m, S=1.45 m için sonlu elemanlar ağının kurulması (Plaxis 2D)



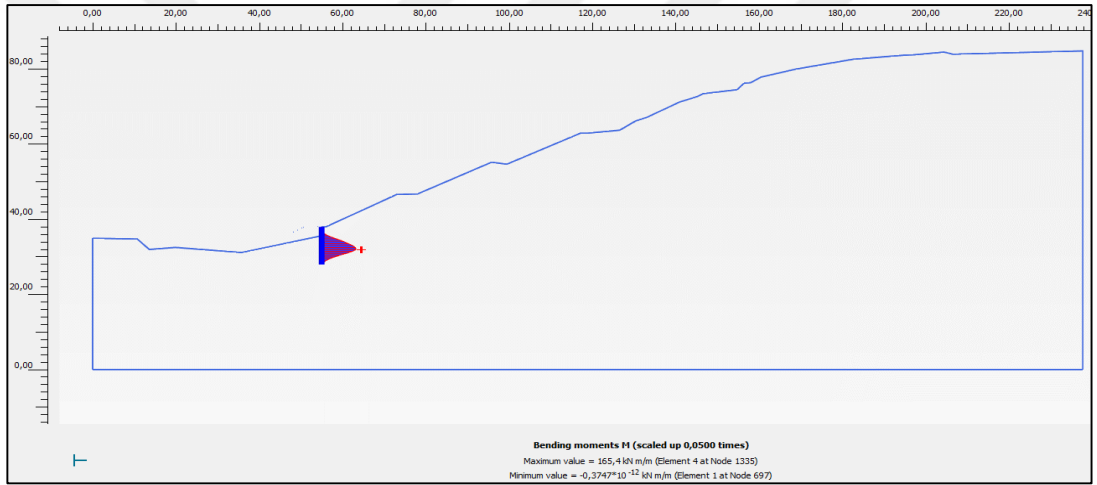
Şekil 4.38 D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme (Plaxis 2D)



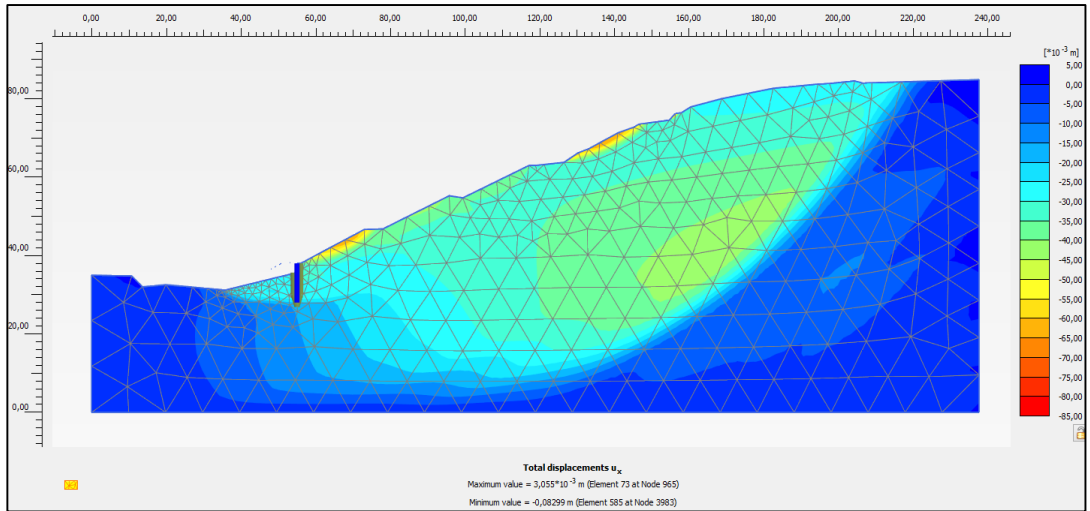
Şekil 4.39. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana gelen eksenel kuvvet (Plaxis 2D)



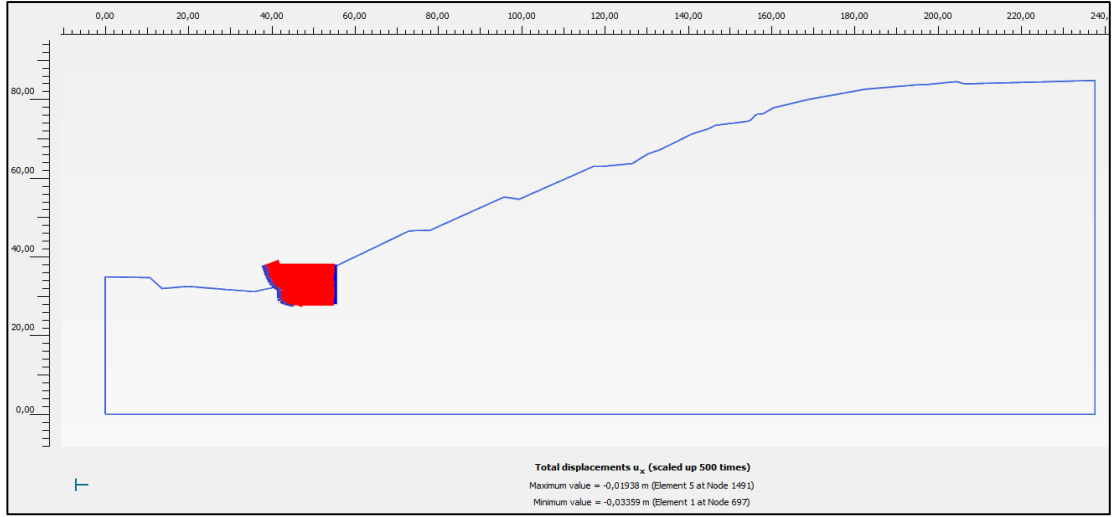
Şekil 4.40. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana kesme kuvveti (Plaxis 2D)



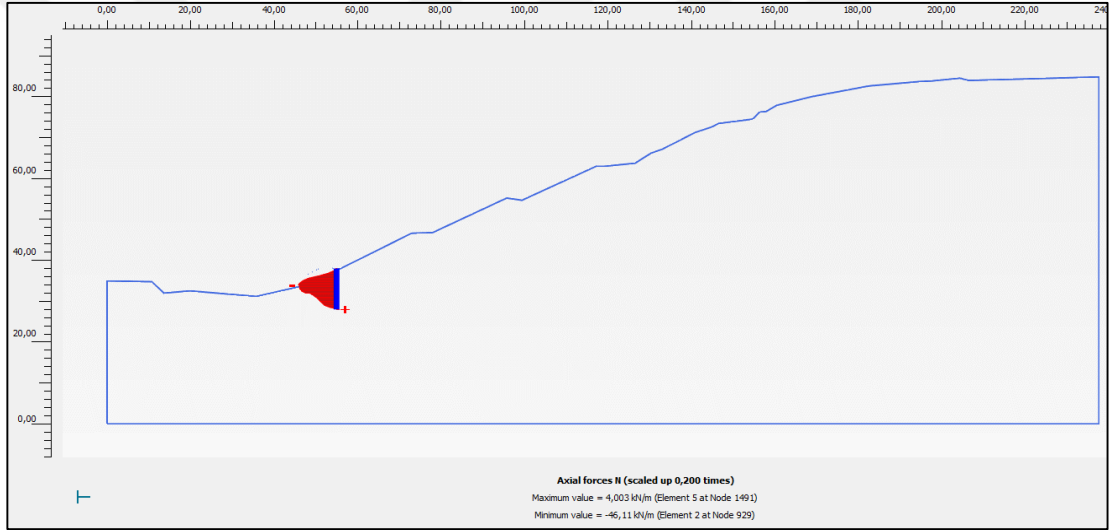
Şekil 4.41. D=1.20 m, S=1.45 m için kazıkta meydana moment (Plaxis 2D)



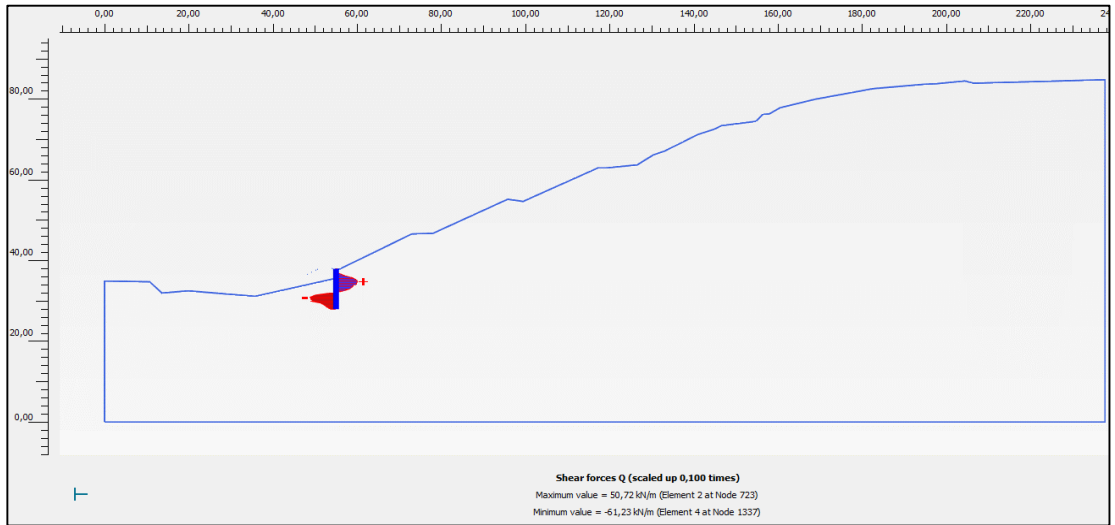
Şekil 4.42. D=1.20 m, S=1.60 m için sonlu elemanlar ağının kurulması (Plaxis 2D)



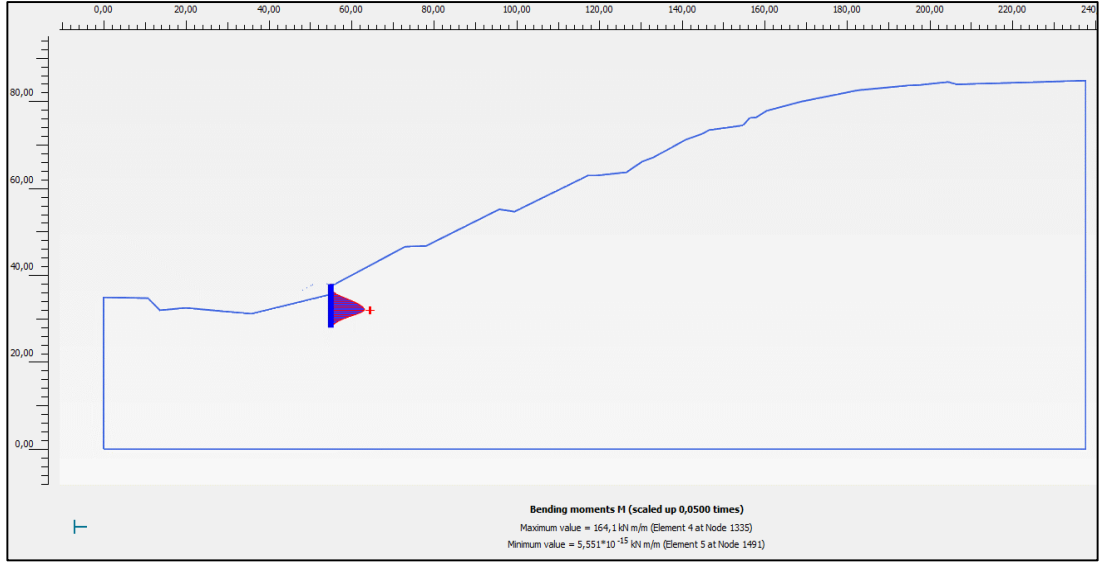
Şekil 4.43. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme (Plaxis 2D)



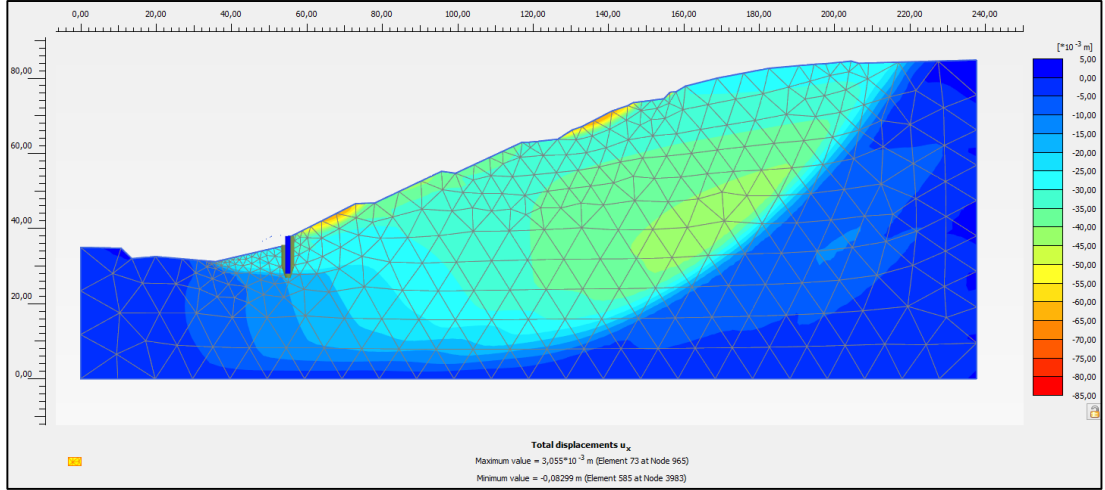
Şekil 4.44. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana gelen eksenel kuvvet (Plaxis 2D)



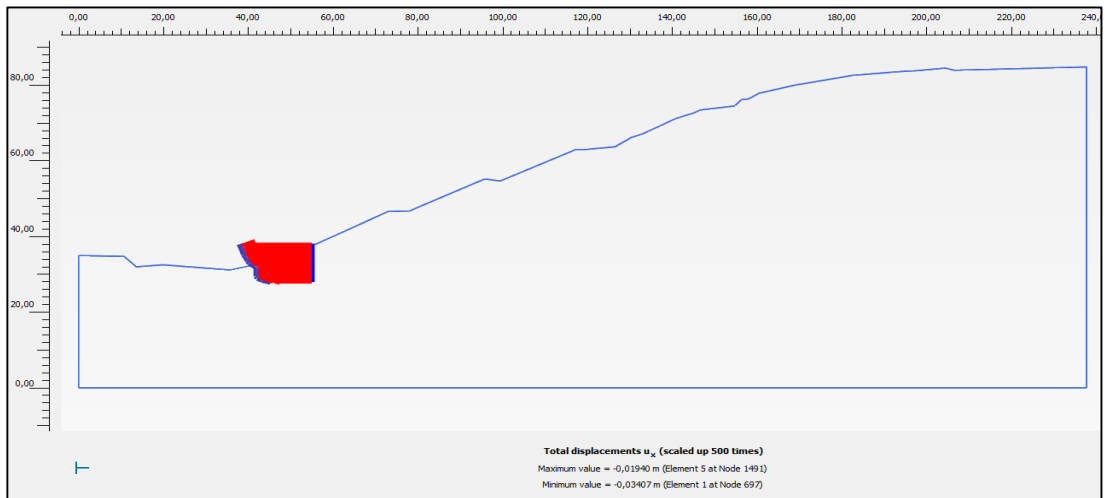
Şekil 4.45. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana gelen kesme kuvveti (Plaxis 2D)



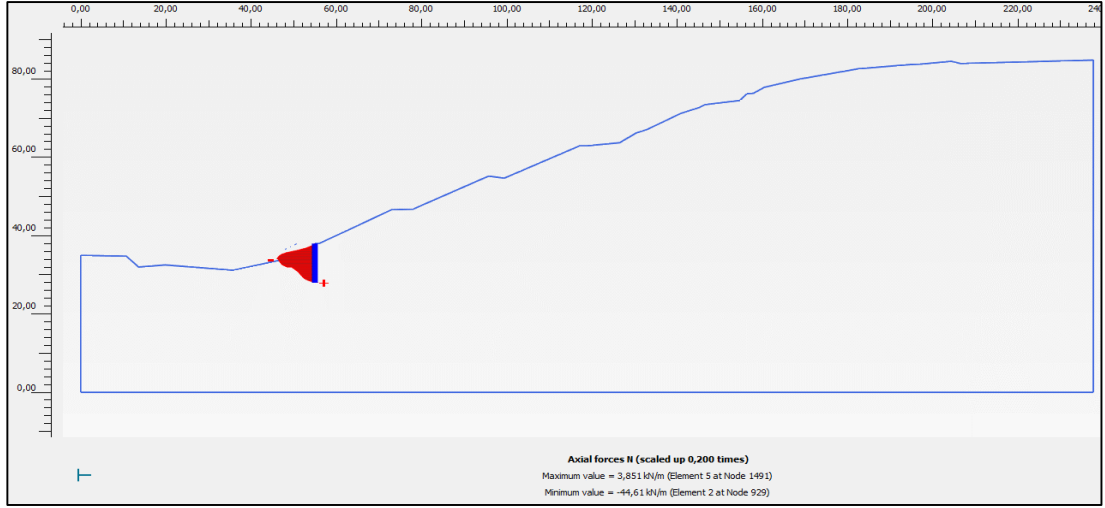
Şekil 4.46. D=1.20 m, S=1.60 m için kazıkta meydana moment (Plaxis 2D)



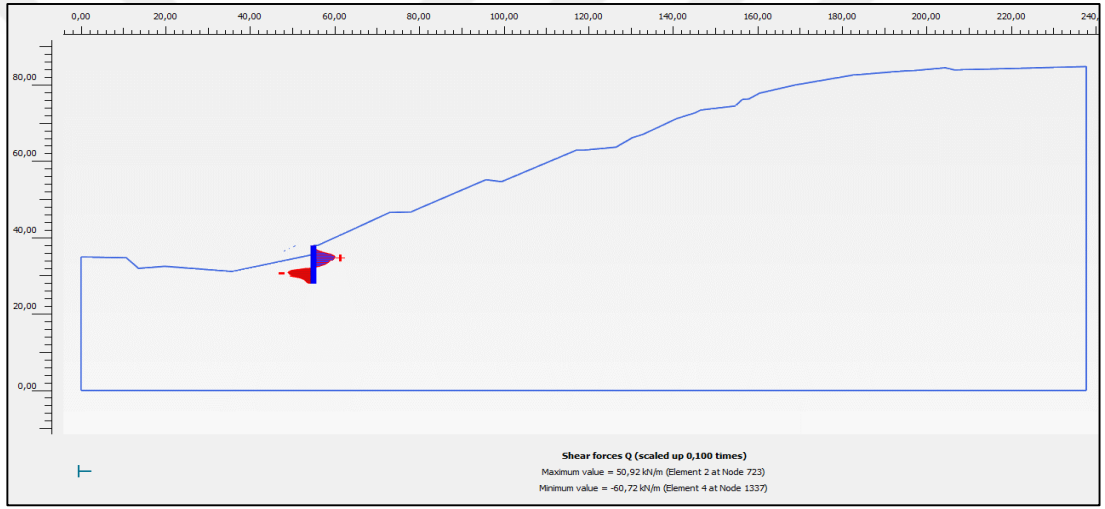
Şekil 4.47. D=1.00 m, S=1.21 m için sonlu elemanlar ağının kurulması (Plaxis 2D)



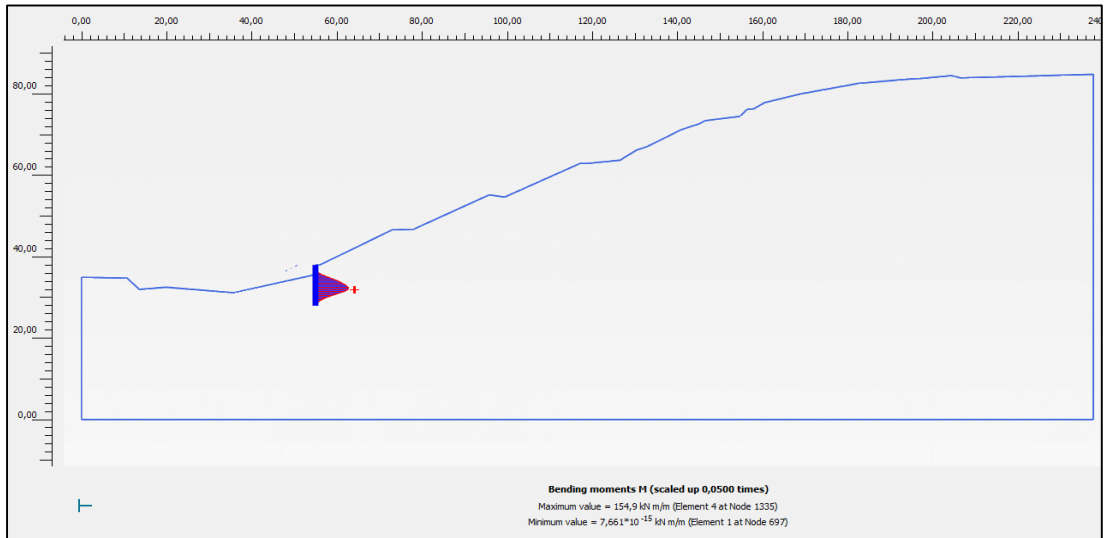
Şekil 4.48. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme (Plaxis 2D)



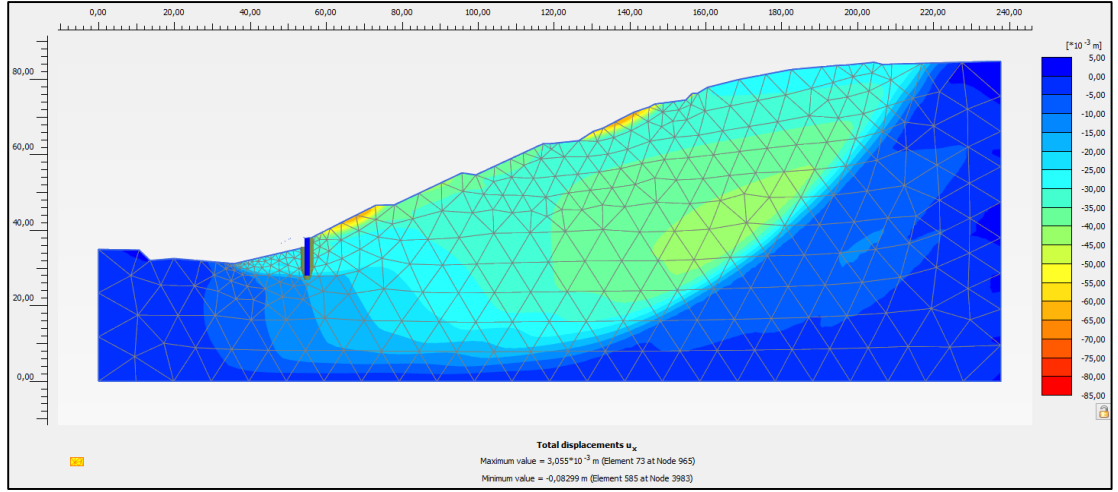
Şekil 4.49. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana gelen aksel kuvvet



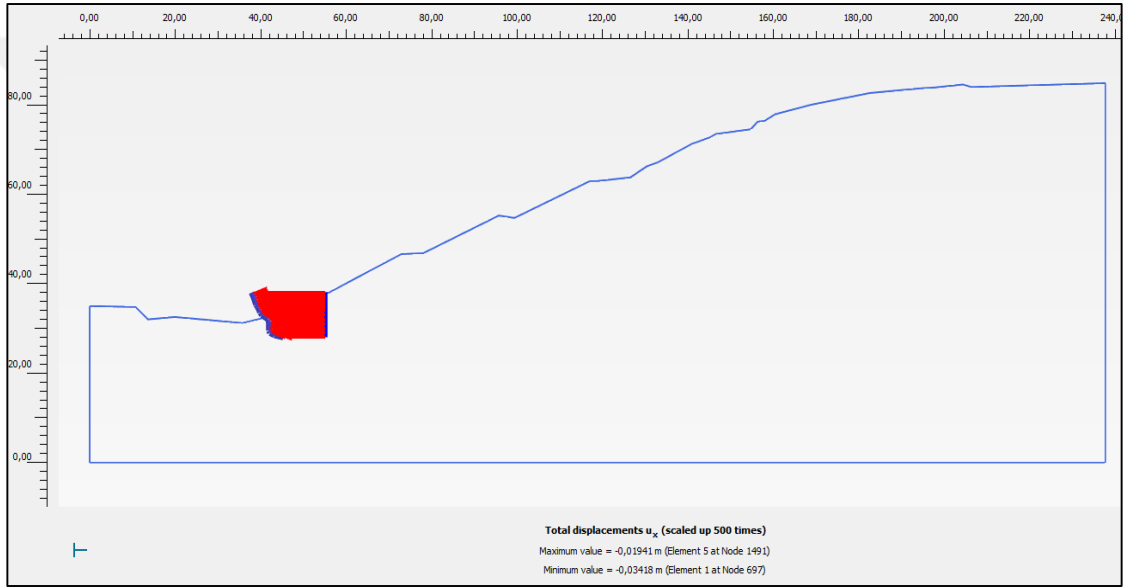
Şekil 4.50. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana gelen kesme kuvveti



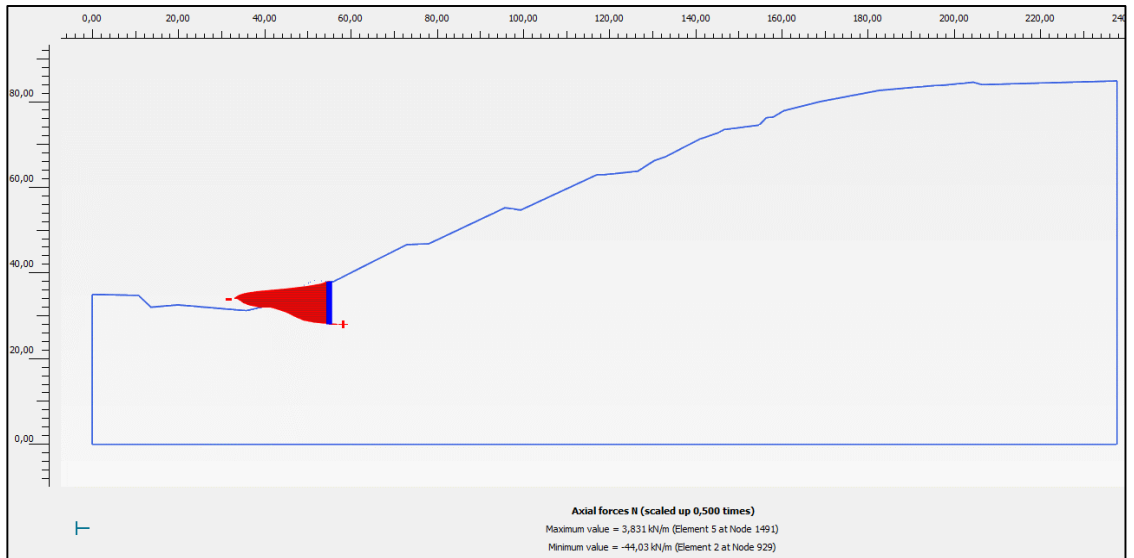
Şekil 4.51. D=1.00 m, S=1.21 m için kazıkta meydana gelen moment



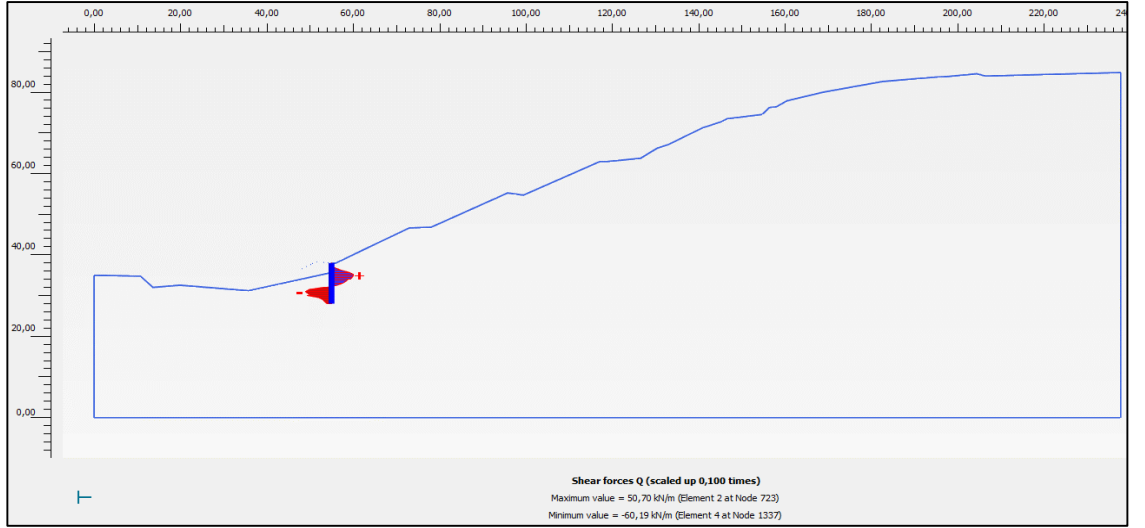
Şekil 4.52. D=1.00 m, S=1.33 m için sonlu elemanlar ağının kurulması



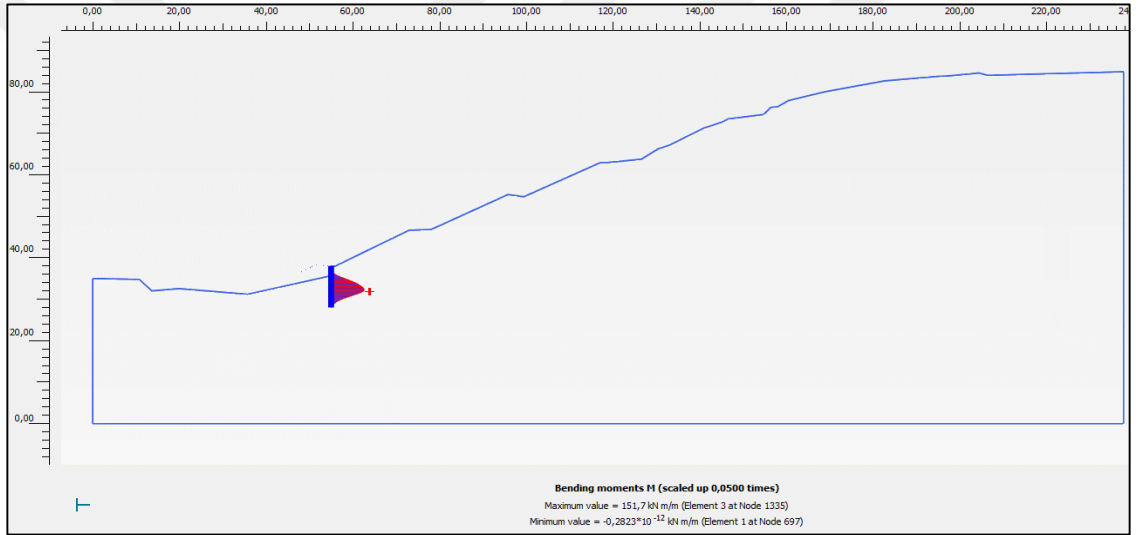
Şekil 4.53. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme



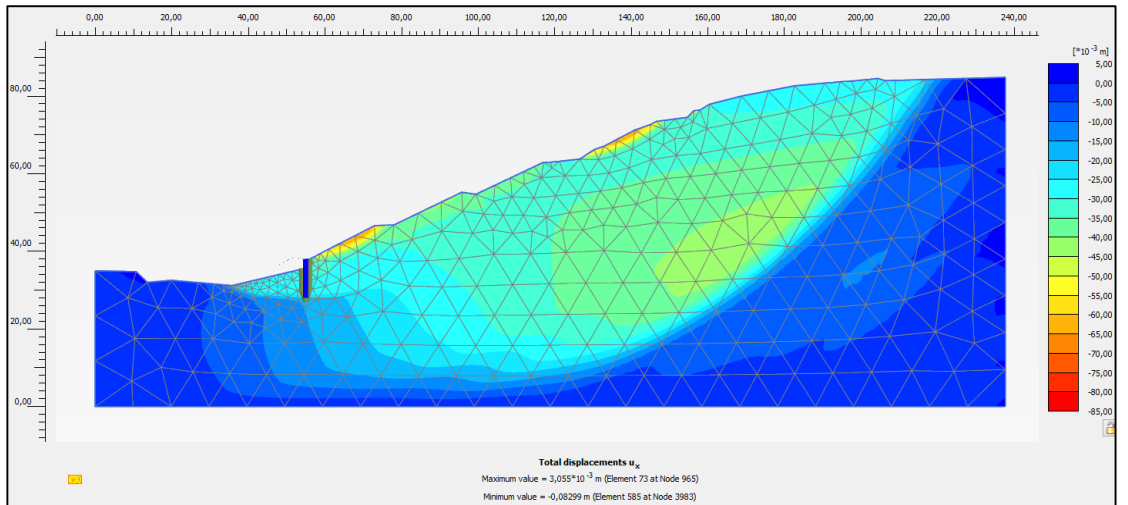
Şekil 4.54. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana gelen eksenel kuvvet



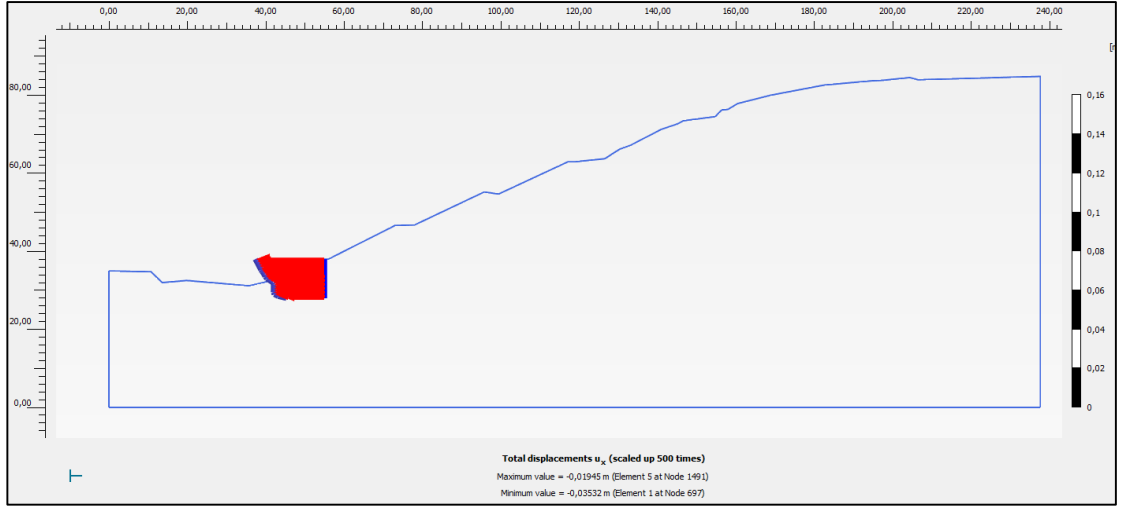
Şekil 4.55. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana kesme kuvveti



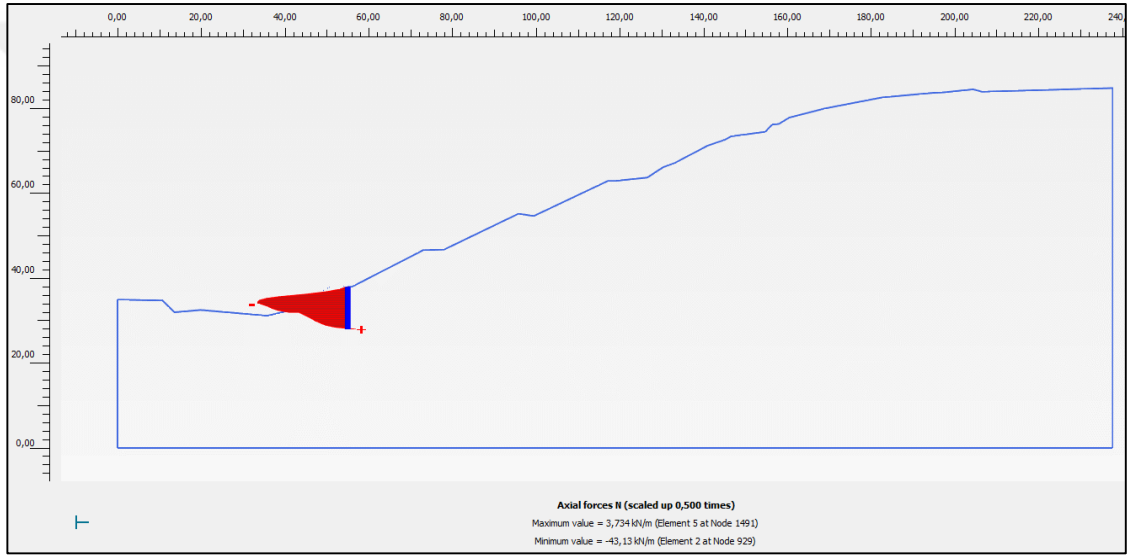
Şekil 4.56. D=1.00 m, S=1.33 m için kazıkta meydana moment



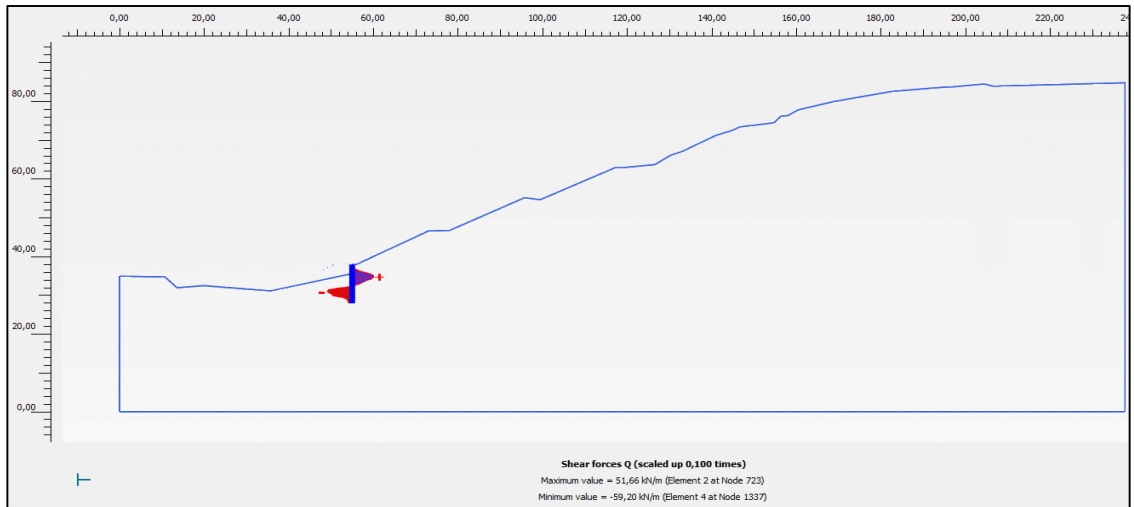
Şekil 4.57. D=0.80 m, S=0.97 m için sonlu elemanlar ağının kurulması



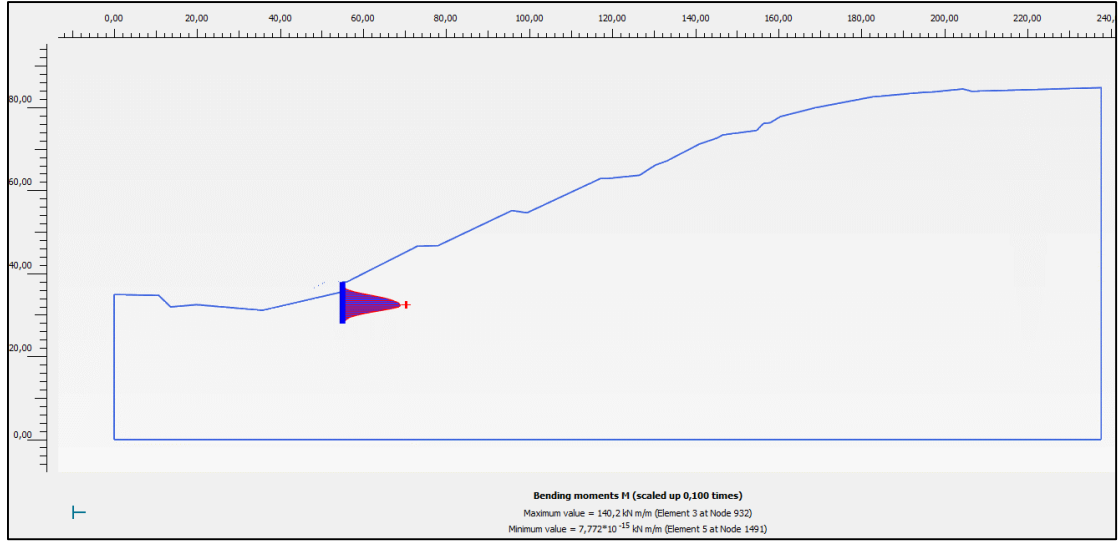
Şekil 4.58. $D=0.80$ m, $S=0.97$ m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme



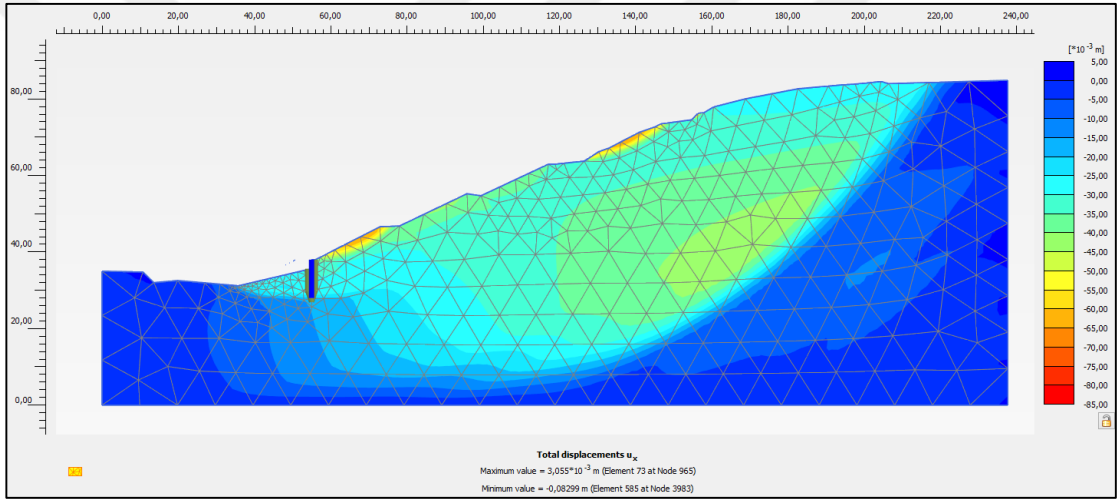
Şekil 4.59. $D=0.80$ m, $S=0.97$ m için kazıkta meydana gelen aksel kuvvet



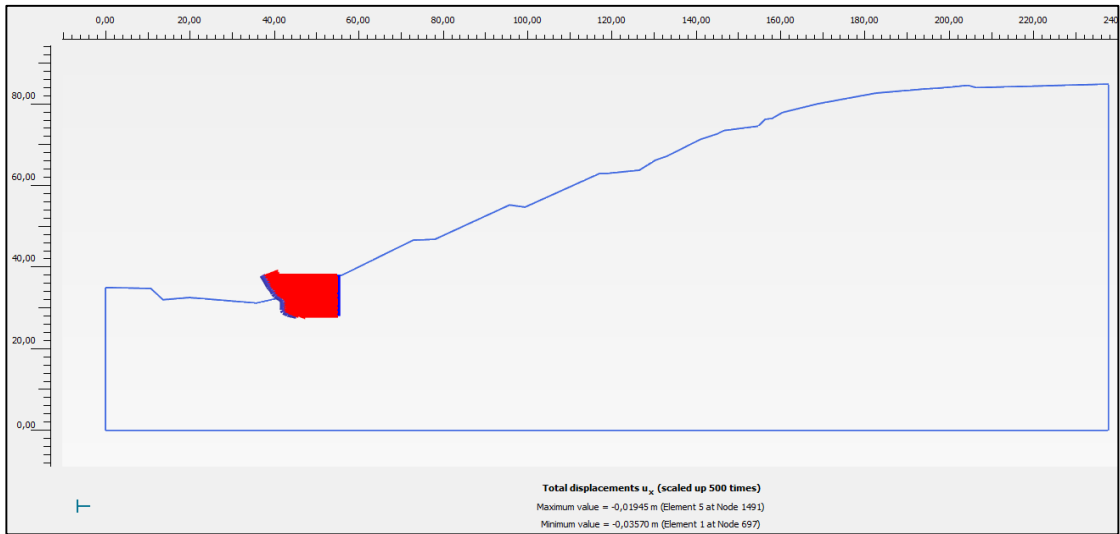
Şekil 4.60. $D=0.80$ m, $S=0.97$ m için kazıkta meydana gelen kesme kuvveti



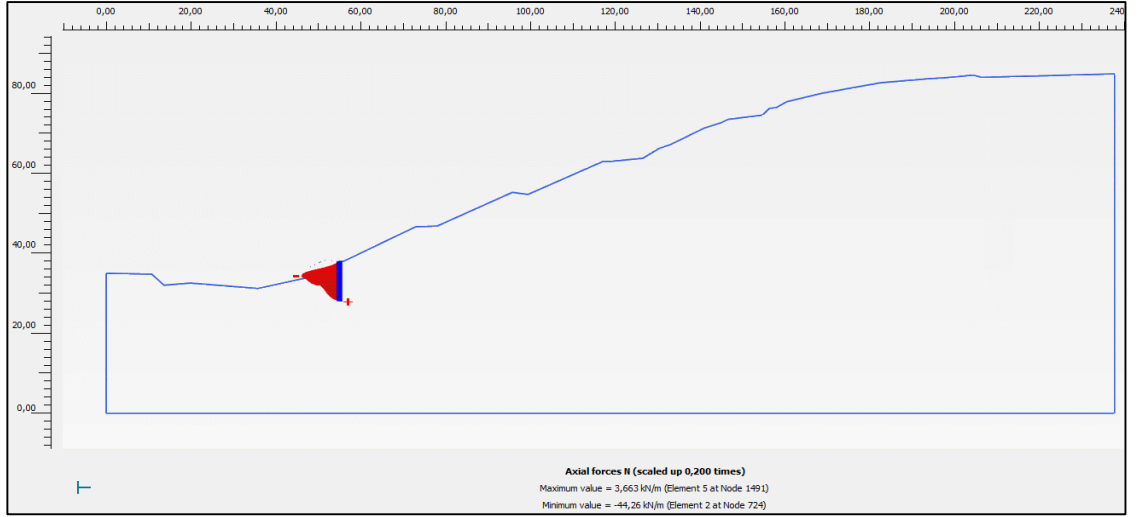
Şekil 4.61. D=0.800 m, S=0.97 m için kazıkta meydana moment



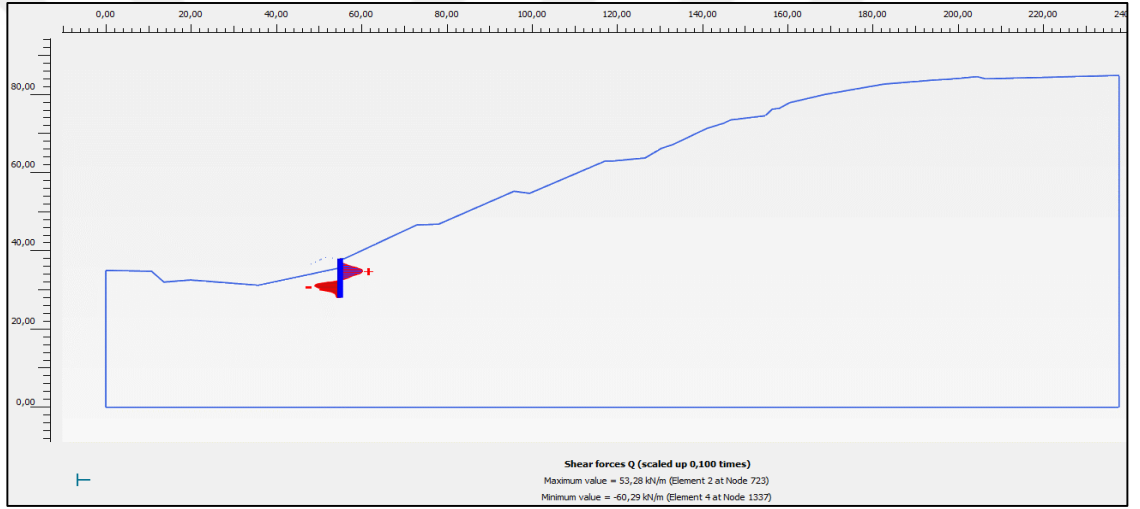
Şekil 4.62. D=0.80 m, S=1.06 m için sonlu elemanlar ağının kurulması



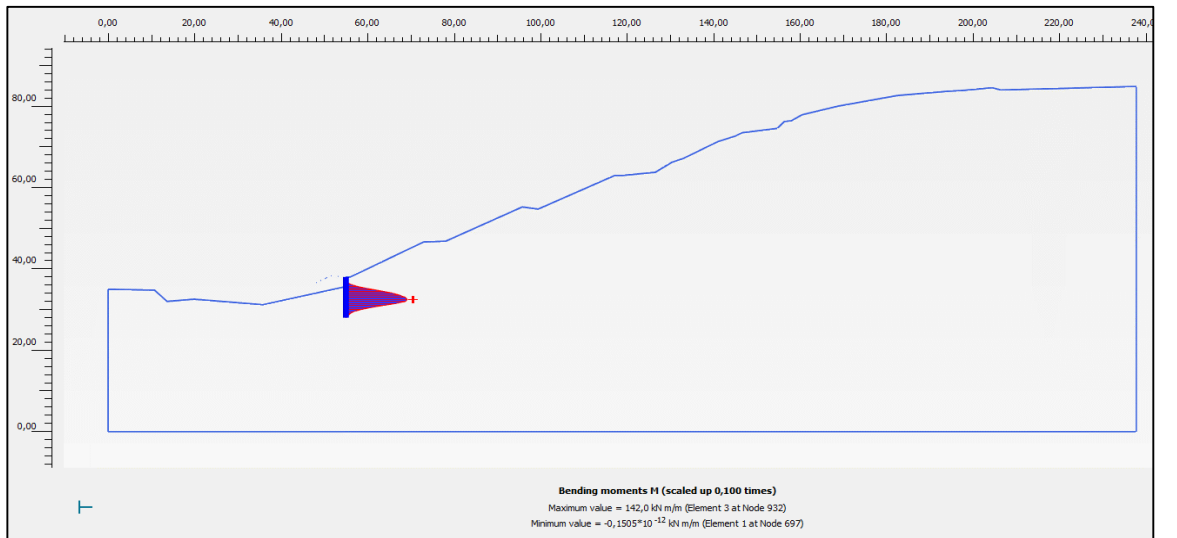
Şekil 4.63. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana gelen yatay yer değiştirme



Şekil 4.64. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana gelen aksel kuvvet



Şekil 4.65. D=0.80 m, S=1.06 m için kazıkta meydana gelen kesme kuvveti



Şekil 4.66. D=0.800 m, S=1.06 m için kazıkta meydana gelen moment

Parametre	Sembol	D = 120 cm, S = 145 cm		D = 120 cm, S = 160 cm		D = 100 cm, S = 121 cm		D = 100 cm, S = 133 cm		D = 80 cm, S = 97 cm		D = 80 cm, S = 106 cm	
		S/D		S/D		S/D		S/D		S/D		S/D	
		1,21	1,33	1,21	1,33	1,21	1,33	1,21	1,33	1,21	1,33	1,21	1,33
		D =	S =	D =	S =	D =	S =	D =	S =	D =	S =	D =	S =
BA kazık için Malzeme Modeli	-												
Normal Rijitlik	EA' (kN/m)	24.959.412		22.619.467		20.770.861		18.896.798		16.582.427		15.174.485	
Eğilme Rijitliği	EI' (kNm ² /m)	2.246.347		2.035.752		1.298.179		1.181.050		663.297		606.979	
Eksenel (N)	(kN/m)	45,48		46,11		44,61		44,03		43,13		44,26	
Kesme (V)	(kN/m)	61,27		61,23		60,72		60,19		59,2		60,29	
Moment (V)	(kNm/m)	165,4		164,1		154,9		151,7		140,2		142	
Toplam yatay yerdeğiştirme (U _y)	(cm)	3,345		3,359		3,407		3,418		3,532		3,570	
Konsoldaki yatay yerdeğiştirme (U _s)	yaklaşık olarak (cm)	0,5		0,5		0,5		0,5		0,5		0,5	
Yatay yer değiştirme limiti (Konsol boyu / 200)	AASTO gereği (300 cm/200)	1,5		1,5		1,5		1,5		1,5		1,5	
Birim metre için 10 m kazığın beton hacmi	(m ³)	7,80		7,07		6,49		5,91		5,18		4,74	
Ağırlık	w' (kN/m/m)												
Poisson Oranı	ν (-)												

Tablo 4.3. Analiz sonuçlarının özeti

S=KAZIK ARALIĞI D=KAZIK ÇAPI		S/D		S/D		S/D	
		1,21		1,21		1,21	
		S =	1,45	S =	1,21	S =	0,97
		D =	1,2	D =	1	D =	0,8
Parametre	Sembol	S = 145 cm, D = 120 cm		S = 121 cm, D = 100 cm		S = 97 cm, D = 80 cm	
BA kazık için Malzeme Modeli	-	Elastik					
Normal Rijitlik	EA' (kN/m)	24.959.412		20.770.861		16.582.427	
Eğilme Rijitliği	EI' (kNm ² /m)	2.246.347		1.298.179		663.297	
Eksenel (N)	(kN/m)	45,48		44,61		43,13	
Kesme (V)	(kN/m)	61,27		60,72		59,2	
Moment (V)	(kNm/m)	165,4		154,9		140,2	
Toplam yatay yerdeğiştirme (U _x)	(cm)	3,345		3,407		3,532	
Konsoldaki yatay yerdeğiştirme (U _x)	yaklaşık olarak (cm)	0,5		0,5		0,5	
Yatay yer değıştirme limiti (Konsol boyu / 200)	AASTO gereğı (300 cm/200)	1,5 aşmıyor ✓		1,5 aşmıyor ✓		1,5 aşmıyor ✓	
Birim metre için 10 m kazığın beton hacmi	(m ³)	7,80		6,49		5,18	
Ağırlık	w' (kN/m/m)	5					
Poisson Oranı	υ (-)	0.15					

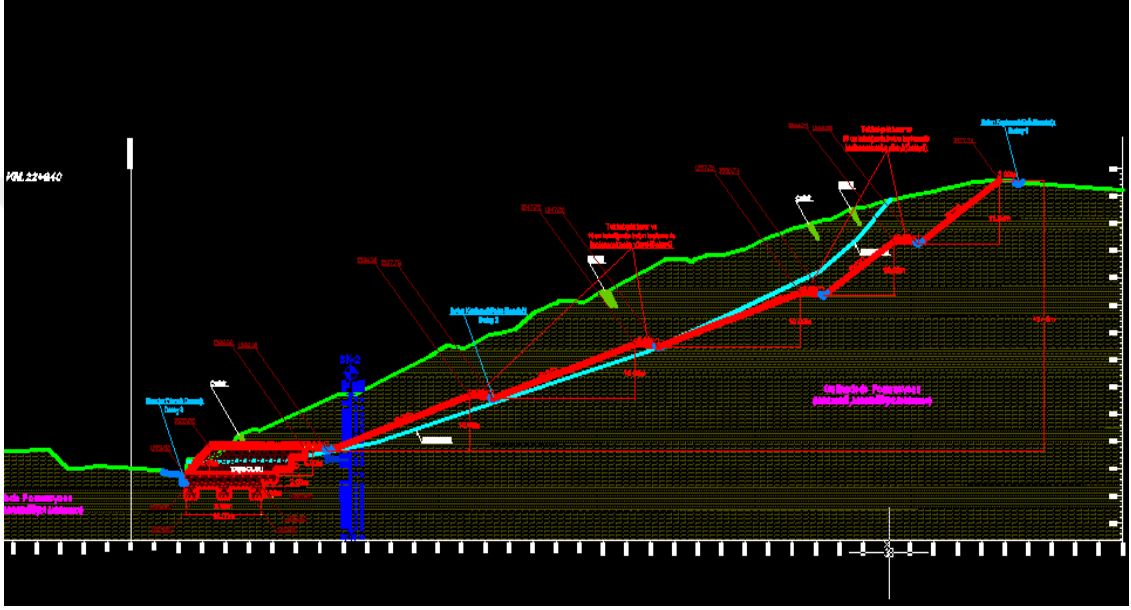
Tablo 4.4. S/D=1,21 göre analiz sonuçları

S=KAZIK ARALIĞI D=KAZIK ÇAPI		S/D		S/D		S/D	
		1,33		1,33		1,33	
		S =	1,6	S =	1,33	S =	1,06
		D =	1,2	D =	1	D =	0,8
Parametre	Sembol	S = 160 cm, D = 120 cm		S = 133 cm, D= 100 cm		S = 106 cm, D = 80 cm	
BA kazık için Malzeme Modeli	-	Elastik					
Normal Rijitlik	EA' (kN/m)	53.616.515		44.457.306		35.298.935	
Eğilme Rijitliği	EI' (kNm ² /m)	8.578.642		4.915.033		2.478.868	
Eksenel (N)	(kN/m)	46,11		44,03		44,26	
Kesme (V)	(kN/m)	61,23		60,19		60,29	
Moment (V)	(kNm/m)	164,1		151,7		142	
Toplam yatay yerdeğiştirme (U _x)	(cm)	3,359		3,418		3,570	
Konsoldaki yatay yerdeğiştirme (U _x)	yaklaşık olarak (cm)	0,5		0,5		0,5	
Yatay yer değıştirme limiti (Konsol boyu / 200)	AASTO gereğı (300 cm/200)	1,5 aşmıyor ✓		1,5 aşmıyor ✓		1,5 aşmıyor ✓	
Birim metre için 10 m kazığın beton hacmi	(m ³)	16,76		13,89		11,03	
Ağırlık	w' (kN/m/m)	5					
Poisson Oranı	ν (-)	0,15					

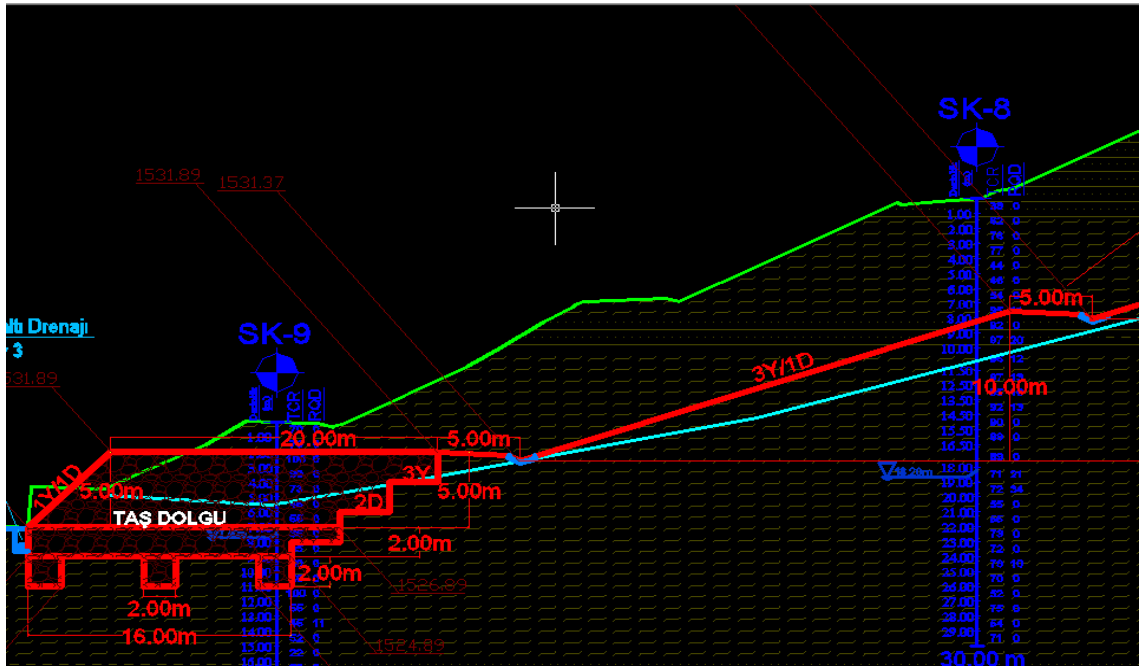
Tablo 4.5. S/D=1,33 göre analiz sonuçları

4.2.5. Toprak İşleri

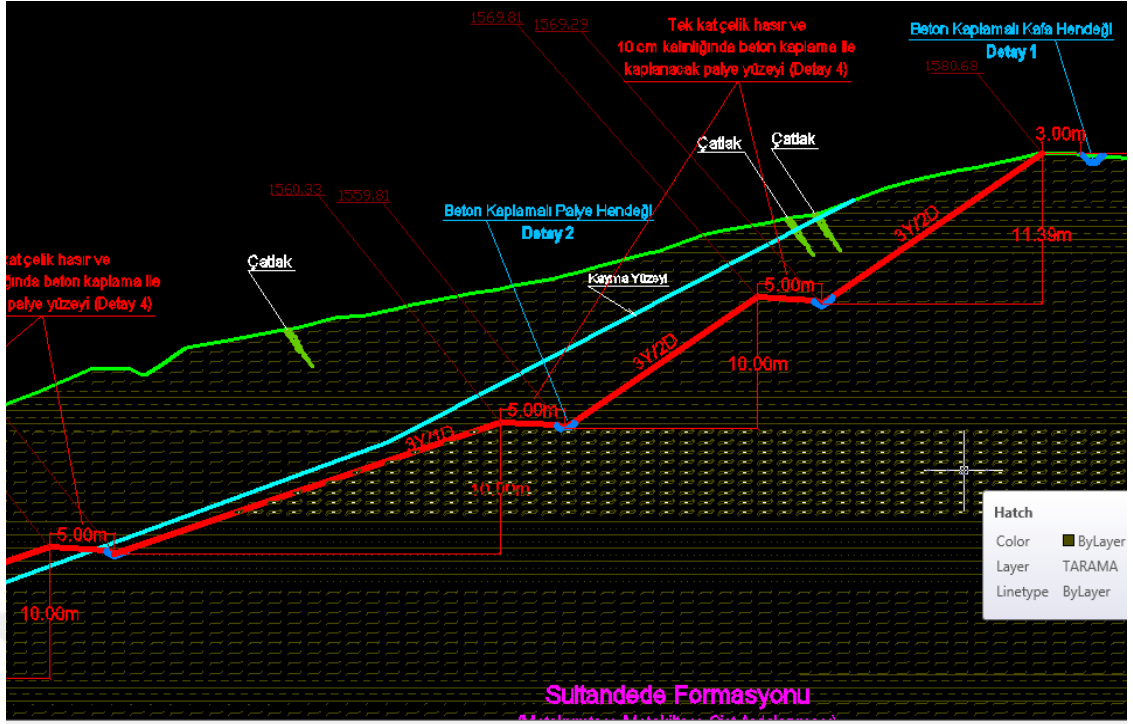
İlk durumda yaşanan problem sonrası yapılan tasarım tip kesiti (Şekil 4.67) incelendiğinde en üstteki iki şevin 3Y/2D, devamındaki 3 şevin ise 3Y/1D şev oranı ile 10.00 metre yüksekliğinde ve 5.00 metre genişliğinde palyelendirilerek arazinin yeniden şevlendirilmesi planlanmıştır(Şekil 4.68., Şekil 4.69.). Heyelan sahası kazı çalışmaları ve zemin hareketi ile parçalanmış hendek kaplamalar görülmektedir(Şekil 4.70., Şekil 4.71., Şekil 4.72., Şekil 4.73., Şekil 4.74., Şekil 4.75., Şekil 4.76.).



Şekil 4.67. KM 22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü- 1



Şekil 4.68. KM 22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü-2



Şekil 4.69. KM 22+740 enkesiti, mevcut durum, kayma yüzeyi, şev dizaynı görünümü-3



Şekil 4.70. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-1



Şekil 4.71. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-2



Şekil 4.72. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-3



Şekil 4.73. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-5



Şekil 4.74. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-6



Şekil 4.75 Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-7



Şekil 4.76. Heyelan sahası kazı çalışmaları görünümü-8



Şekil 4.77. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-1



Şekil 4.78. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-2



Şekil 4.79. Heyelan sahası kazı ve istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-3



Şekil 4.80. Heyelan sahası istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-1



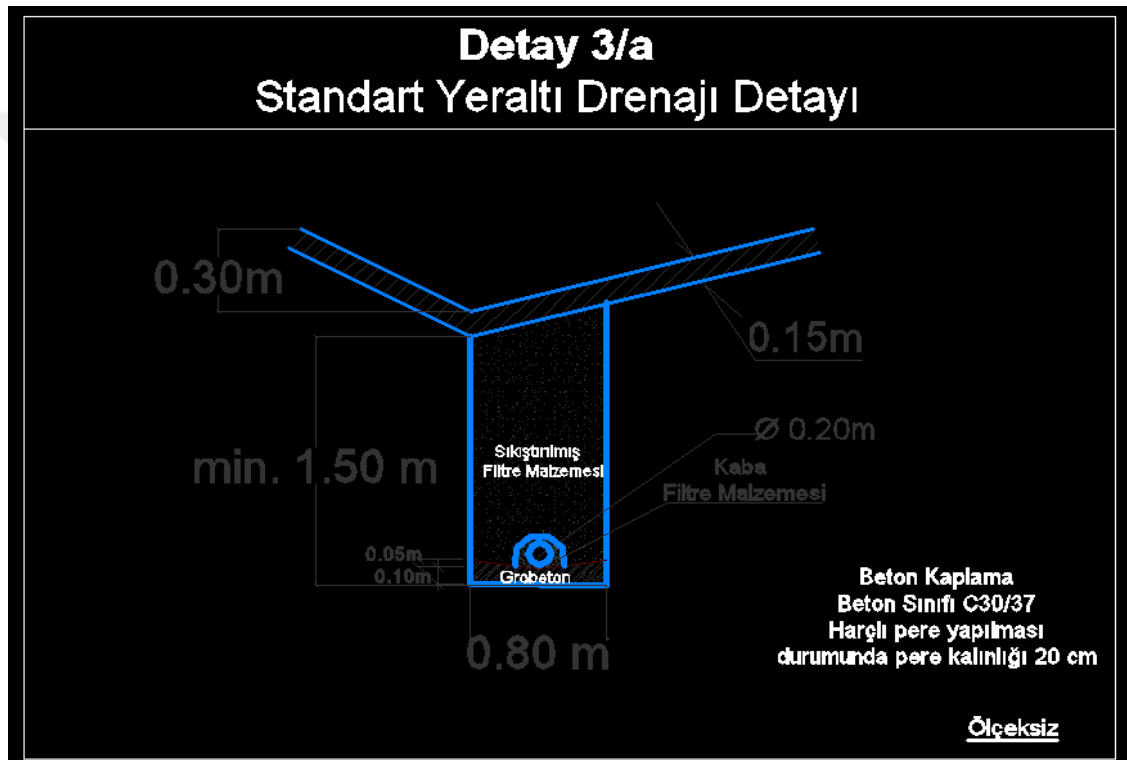
Şekil 4.81. Heyelan sahası istifli taş dolgu çalışmaları görünümü-2

4.2.6. Sanat Yapıları

Yarma tabanında oluşacak yüzey sularının ve şevlerin üst kotlarından gelecek yüzey ve yeraltı sularının hızlı bir şekilde tahliye edilmesi için aşağıda belirtilen drenaj önlemleri uygulanmalıdır.

4.2.6.1. Standart Yeraltı Drenajı

Palyelerden ve yol platformundan akarak yarma tabanında birikecek suların etkin ve hızlı bir biçimde drene edilmesi için standart yeraltı drenajı imalatının yapılması uygun olacaktır (Şekil 4.84., Şekil 4.85., Şekil 4.86.).



Şekil 4.84. Standart yeraltı drenaj detayı görünümü



Şekil 4.85. Standart yeraltı drenaj uygulama görünümü-1

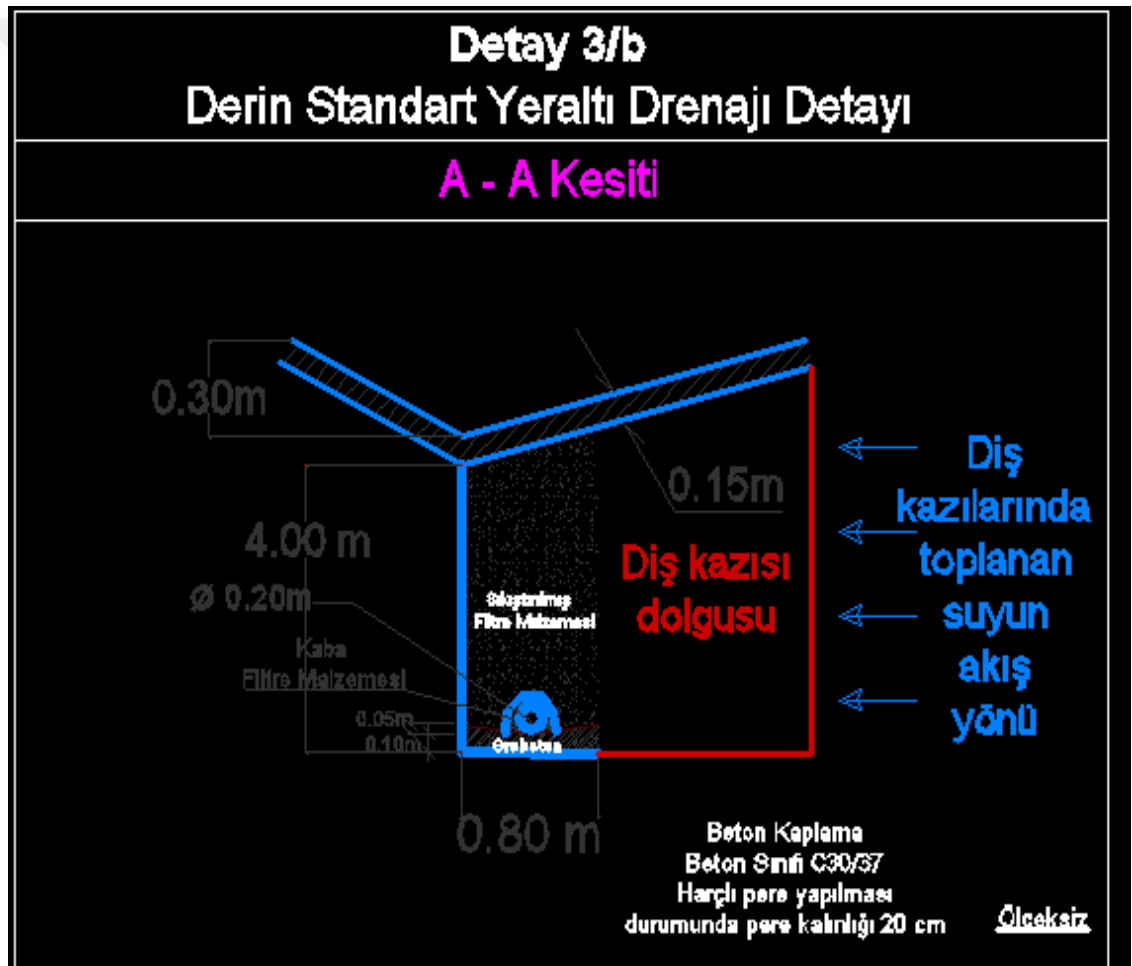


Şekil 4.86. Standart yeraltı drenaj uygulama görünümü-2

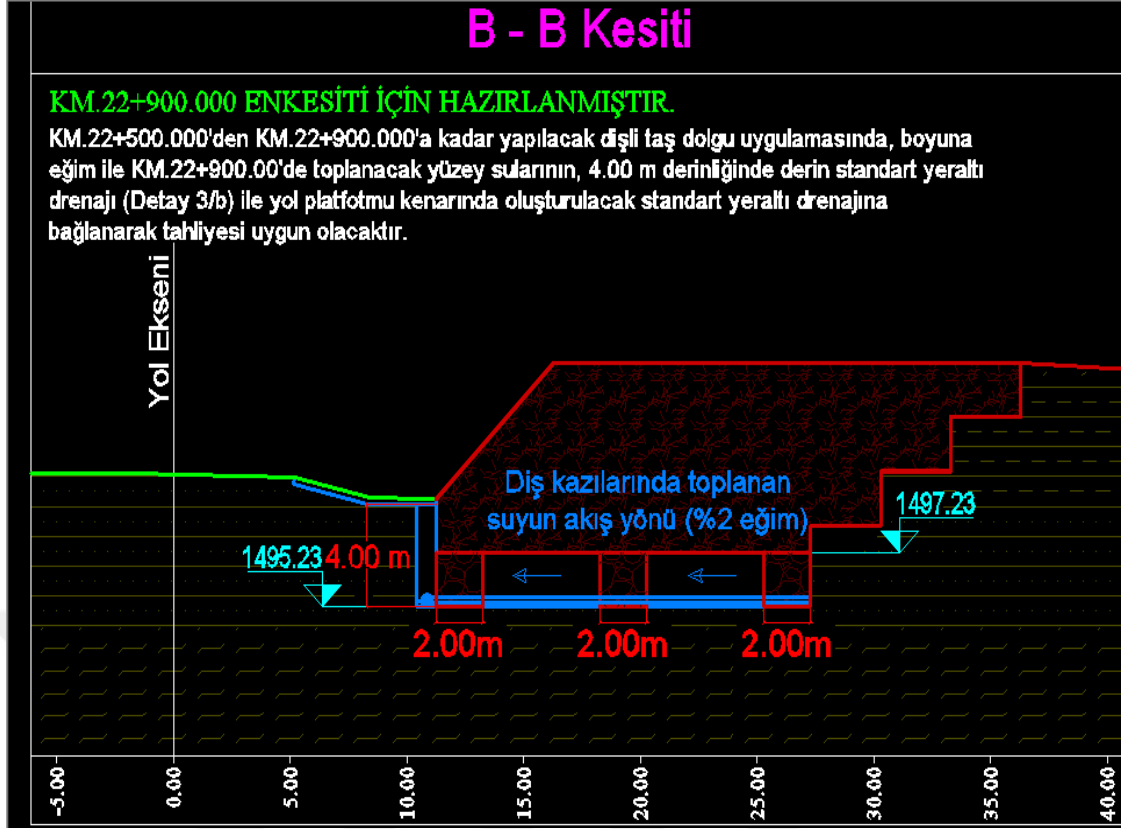
4.2.6.2. Derin Standart Yeraltı Drenajı

KM 22+500' den KM.22+900' a kadar yapılacak dişli taş dolgu uygulamasında, boyuna eğim ile KM 22+900' de toplanacak yüzey sularının 4.00 m derinliğinde derin standart yeraltı drenajı (Detay 3/b A-A kesiti) ile yol platformu kenarında oluşturulacak standart yeraltı drenajına bağlanarak tahliyesi uygun olacaktır(Şekil 4.87).

B – B kesitinde gösterildiği üzere; dış kazılarında toplanan yüzey sularının derin standart drenaj kanalına % 2 eğim ile yol platformu tarafında yaklaşık 1495.23 m kotunda akışı önerilmiştir. KM.22+900' de derin standart yeraltı drenajında toplanacak yüzey sularının topoğrafyaya bağlı kalınarak yaklaşık % 10 eğim ile 1488.76 m kotunda dereye akışı sağlanmalıdır (Şekil 4.88).



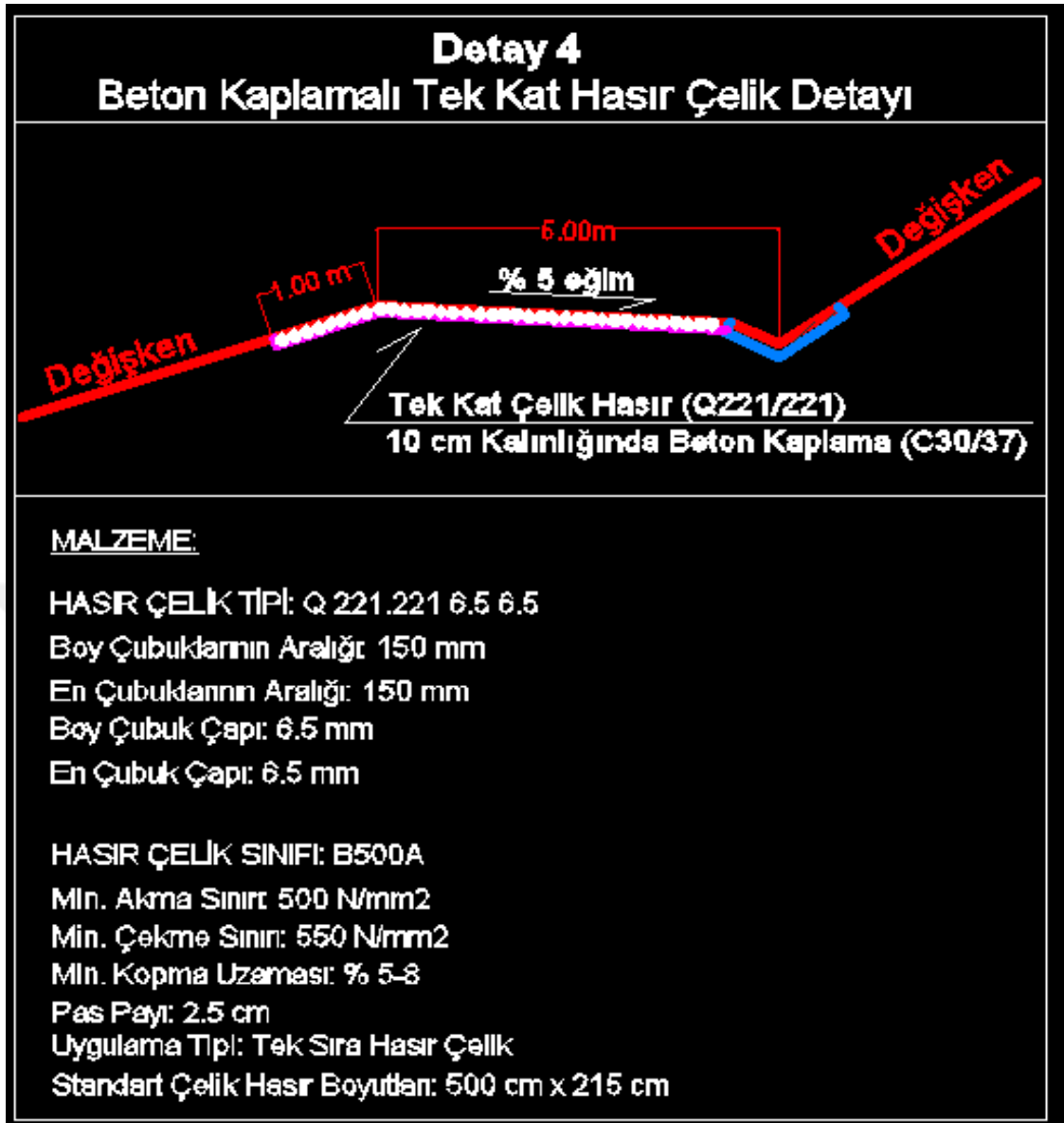
Şekil 4.87. Derin standart yeraltı drenaj detayı görünümü A-A Kesiti



Şekil 4.88. Derin standart yeraltı drenaj detayı görünümü B-B Kesiti

4.2.6.3. Tek Kat Çelik Hasır ve Beton İle Kaplanacak Palye Hendeği

Yarmaya ait palyelerin tabanlarında birikecek yüzey sularının uzaklaştırılması için bu drenaj imalatının yapılması önerilmiştir. Serbest şevlendirme ile oluşturulacak tüm palyeler ve aşağı yöndeki şevlerin 1.00 m' lik kısımları tek kat çelik hasır (Q221/221) ve 10 cm kalınlığında beton (C30/37) ile kaplanmalıdır (Şekil 4.89., Şekil 4.90., Şekil 91., Şekil 92., Şekil 4.93., Şekil 4.94., Şekil 4.95., Şekil 4.96.).



Şekil 4.89. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı



Şekil 4.90. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-1



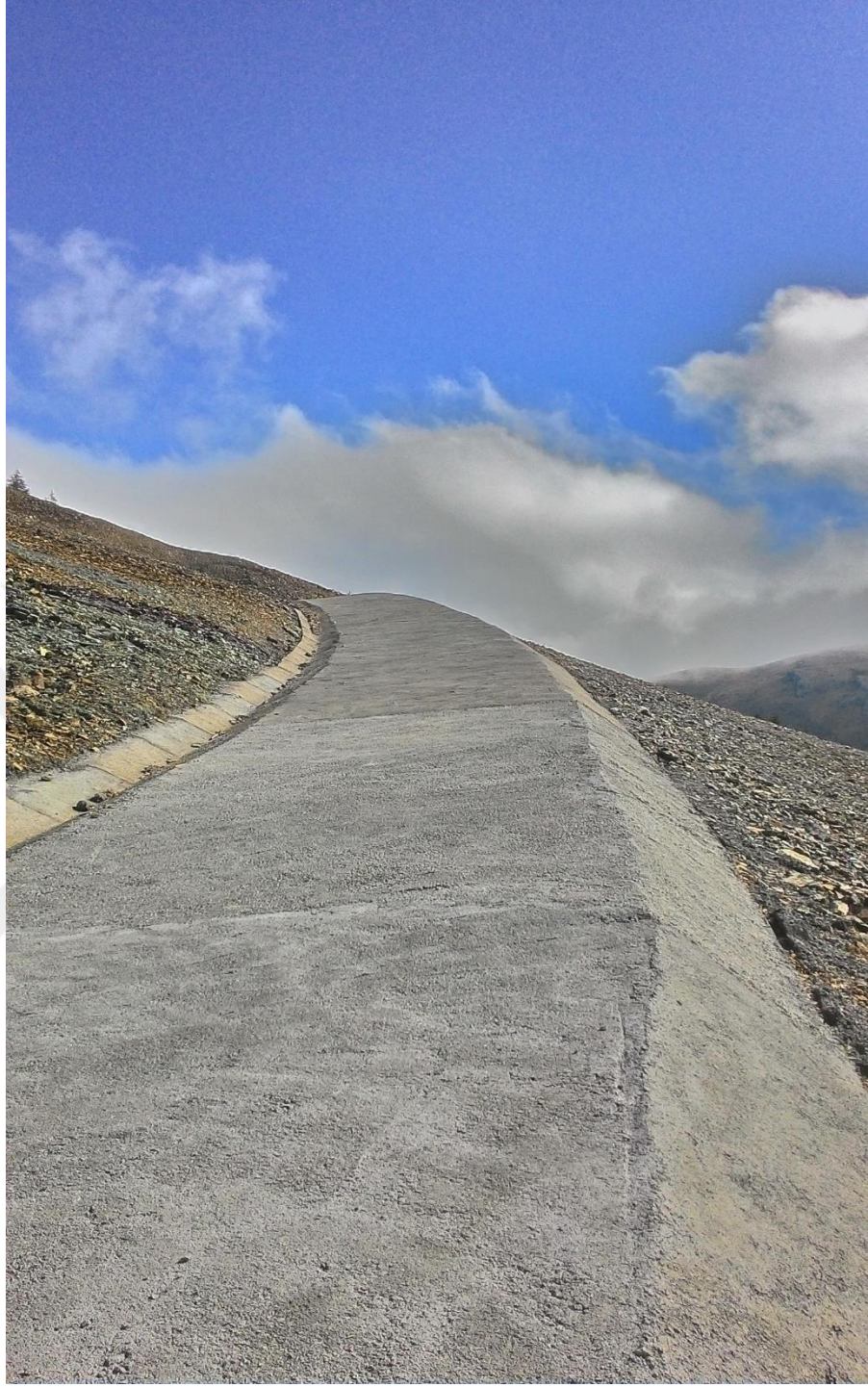
Şekil 4.91. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-2



Şekil 4.92. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-3



Şekil 4.93. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-4



Şekil 4.94. Beton kaplamalı tek kat hasır çelik detayı uygulama görünümü-5



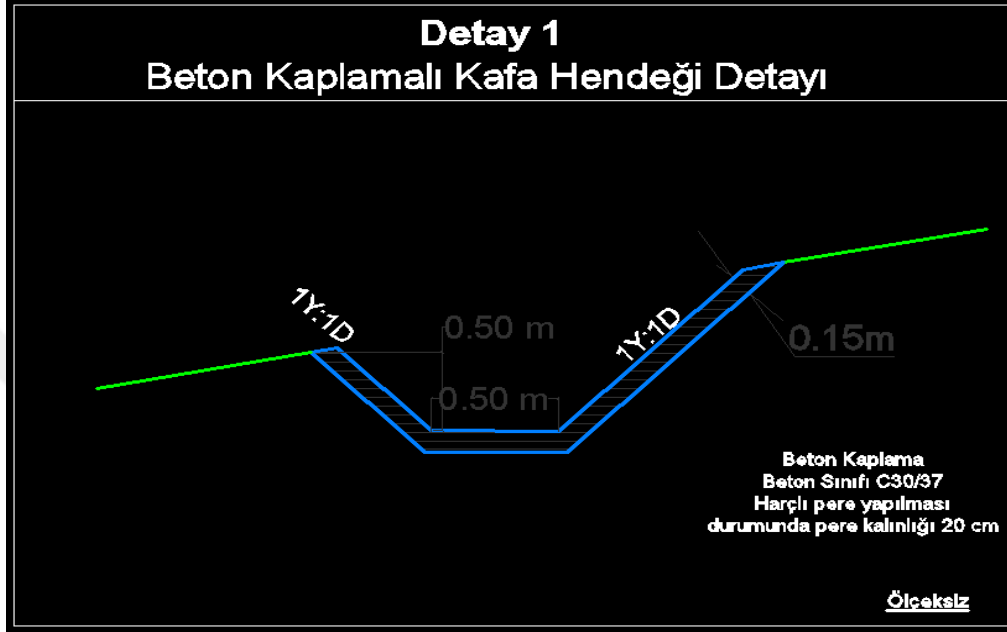
Şekil 4.95. Beton kaplamalı palye hendeği uygulama görünümü-1



Şekil 4.96. Beton kaplamalı palye hendeği uygulama görünümü-2

4.2.6.4. Beton Kaplamalı Kafa Hendeği

Topoğrafik durumda dikkate alınarak yarmanın üst kotlarından gelebilecek yüzey sularının yarma şevini doygun hale getirmesini önlemek amacı ile şev bitiminden itibaren 3.00 m mesafede Beton Kaplamalı Kafa Hendeği imalatının yapılması ile şevin duraylılığına büyük katkı sağlanmış olacaktır (Şekil 4.97., Şekil 4.98., Şekil 4.99.).



Şekil 4.97. Beton kaplamalı kafa hendeği detay görünümü-1



Şekil 4.98. Beton kaplamalı kafa hendeği uygulama görünümü-2



Şekil 4.99. Beton kaplamalı kafa hendeği uygulama görünümü-3

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Akşehir-Yalvaç yol yapım çalışmaları sırasında meydana gelen heyelanın gerçekleşme nedenleri ve heyelanı önlemek için farklı stabilite yöntemleri incelenmiştir.

Heyelan kütlelerinin oluşum mekanizmasını ortaya koymak ve oluşturulacak geoteknik tasarımın belirlenmesine yönelik olarak 9 adet sondaj kuyusu açılmış numuneler üzerinde gerekli laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca SK-1, SK-3, SK-5 ve SK-7 no'lu sondaj kuyularında; zeminin yanal hareketlerini, deformasyonlarını ve bunların derinliklerini saptamak amacıyla inklinometre deneyleri yapılmıştır.

Arazi sondaj inklinometre laboratuvar çalışmaları sonrasında elde edilen veriler birlikte değerlendirilmiş ve bu veriler jeolojik tip enkesitler üzerine işlenerek bölgede geçerli olduğu düşünülen heyelan modeli ortaya çıkarılmıştır.

İnklinometre deneyleri sonrasında kayma düzleminin, yaklaşık olarak SK-3 no'lu sondaj kuyusunda 10.00 metre, SK-5 no'lu sondaj kuyusunda 15.00 metre, SK-7 no'lu sondaj kuyusunda 11.00 metre seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan arazi incelemelerinde ilk yol çalışmalarında heyelan oluşan bölgede tekrar kabarma ve çökmeler olduğu gözlemlenmiştir. Buradan hareketle uygulanan zemin şevlendirilmesi ve heyelan topuk kısmında oluşturulan istifli taş dolgu imalatlarına alternatif bir geoteknik çözüm olarak Tek Sıra Fore Kazıklı Sistem tasarlanmış ve öneri olarak sunulmuştur.

Tek Sıra Fore Kazıklı Sistem tasarlanırken kazık boyları kayma düzlemi seviyesinden (6.27 metre) daha derinde olacak şekilde 10 metre, kazık çapları ($D=1.20$ m , $D=1.00$ m, $D=0.80$ m) ve kazık aralıkları ($S=1.45$ m, $S=1.60$ m, $S=1.21$, $S=1.33$ m, $S=0.97$ m, $S=1.06$ m) değişken belirlenmiş olup 6 farklı analiz yapılarak kazık çapı ve kazık aralıklarının değişimlerinin oluşturduğu toplam yatay yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.

- S/D 1.33 çap 1.2 m için moment 164,1 kNm/m ve kesme kuvveti 61,23 kN/m, çap 1m için moment 151,70 kNm/m kesme kuvveti 60,19 kN/m, çap 0.80 m için moment 142,00 kNm/m kesme kuvveti 60,29 kN/m elde edilmiştir. Çap azaldığında momentinde azaldığı görülmektedir.

- S/D 1.33 çap 1.2 m için normal rijitlik 24.959.912 kN/m eğilme rijitliği 2.246.347 kNm²/m, çap 1.0 m için normal rijitlik 20.770.861 kN/m eğilme rijitliği 1.298.179 kNm²/m, çap 0.80 m için normal rijitlik 16.582.427 kN/m eğilme rijitliği 663.297 kNm²/m elde edilmiştir. Çap azaldığında normal rijitlik ve eğilme rijitliğinin azaldığı sonuç olarak yatay yer değiştirmenin arttığı görülmektedir.
- S/D 1.21 çap 1.2 m için toplam yatay yer değiştirme 3.359 cm, çap 1.0 m için toplam yatay yer değiştirme 3.418 cm, çap 0.80 m için toplam yatay yer değiştirme 3.570 cm elde edilmiştir. Aynı rijitlikte çap azaldığında yatay yer değiştirmenin arttığı görülmektedir.
- Kazık çapı sabit D=1.20 m, kazık aralığı değişken S=1.45 m ve S=1.60 m olarak belirlenen değerlerin analizleri sonucunda kazık aralığı S=1.45 m için yatay yer değiştirme 3.345 cm iken kazık aralığı S=1.60 m için yatay yer değiştirme 3.359 cm olarak elde edilmiştir. Buradan kazık boyu ve çapı sabitken kazık aralığı arttıkça yatay yer değiştirmenin arttığı görülmüştür.
- Kazık aralığının (S), kazık çapına (D) oranı aynı olan, S/D=1.21 kazık çapı D=1.20 m ve kazık aralığı S=1.45 m yatay yer değiştirme 3.345 cm elde edilmiştir. S/D=1.21 kazık çapı D=1.00 m ve kazık aralığı S=1.21 m yatay yer değiştirme 3.407 cm elde edilmiştir. Sonuç olarak kazık çapı azaldığında kazık aralığının kazık çapına oranı (S/D) aynı olsa dahi yatay yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir.
- Kazık aralığının (S), kazık çapına (D) oranı farklı olan, S/D=1.33 kazık çapı D=1.00 m ve kazık aralığı S=1.33 m ile S/D=1.21 kazık çapı D=0.80 m ve kazık aralığı S=0.97 m olan kazık grupları analiz edildiğinde ise rijitliğin azalmasıyla birlikte yatay yer değiştirmenin arttığı gözlemlenmiştir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde fore kazık sistemlerinde kazık çapları azaltılırsa veya kazık aralıkları arttırılırsa yatay yer değiştirmenin artacağı anlaşılmıştır. Bu şekilde bir çalışma yapmayı planlayan araştırmacıların kazık aralıklarındaki farklılığın yatay yer değiştirme üzerindeki değişimini daha detaylı görebilmeleri için yapacakları çalışmada kazık aralıklarını S=1.00 m, S=2.00 m , S=3.00 m değerleri alması önerilmiştir.

Zemin problemlerinde ve şev stabilizasyonunun sağlaması gerektiği durumlarda geoteknik çözüm olarak fore kazıklı sistemler tercih edildiğinde modelleme yapılırken

kazık boyunun kayma düzlemini yada inşaa temel seviyesini geçecek şekilde belirlenmeli, kazık çapı ve aralığı mevcut zemin (kum, çakıl, kil, silt, kaya vb.) dikkate alınarak tasarlanmalı oluşan deformasyonlara göre kazık çapı ve aralığı seçilmelidir. Zemin yer değiştirme özelliğine sahip malzeme (kum vb.) içeriyorsa kazık çapları ortalama bir değer alınmalı ve kazık aralığı minimum seçilmeli eğer daha akışkan bir zeminde geoteknik çözüm yapılacakca tasarlanan kazıklar bitişik nizam yapılmalıdır. Kazık aralığı ve çapı seçilirken zeminin içerdığı su miktarı, yer altı, yer üstü suları ve bölgesel hava koşullarıda (bölgeye düşen yıllık yağış miktarı vb.) dikkate alınmalıdır. Zemin problemlerinde fore kazıklı sisteme ek olarak drenaj tasarımıda yapılarak zeminde yük oluşturan yer altı, yer üstü sularının ve yağışların heyelan bölgesinden drene edilmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Chow, Y.K. Analysis of Piles Used for Slope Stabilization, 1996
- Cruden, D.M. ve Varnes, D.J. , 1996. Landslide Types and Processes. Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247. In Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds.), 36-75.
- Demir G., 2004, Heyelanlar ve Rize Yöresine Ait Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 156064
- Erguvanlı, K., Mühendislik Jeolojisi, 5. Baskı, Seç Yayın, İstanbul, 1994
- Ersoy, İ. M., İstanbul çökellerinde yapılan iksalı derin kazıların incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2016
- Hassiotis, S., Chameau, J. L., and Gunaratne, M. , Design Method for Stabilization of Slopes With Piles, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 1997
- Ito, V.D. Journal of Statistical Physics, 1981
- Kgm, Araştırma ve Geliştirme Daire Başkanlığı, Heyelan Tanımlama ve Veri Oluşturma Kılavuzu, Ankara, 2015
- Kgm, Tadb, Araştırma Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi, Ankara, 2005
- Kourkoulis R., Gelagoti F., Anastasopoulos I., Gazetas G., “Hybrid method for analysis and design of slope stabilizing piles”, 2010
- Kumbasar V. , Kip F. , Zemin Mekaniği Problemleri, 1977
- Limit Araştırma A.Ş., Akşehir Yalvaç Yolu Km22+465-22+860 Heyelanı Geoteknik Proje Raporu, 2014
- Önalp A, Yamaç Dengesinde Etkenlerin İncelenmesi, Doçentlik Tezi, K.T.Ü., Trabzon, 1975
- Önalp, A., İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 2 , 1. Baskı, K.T.Ü. Yayın No:3, Trabzon, 1983
- Plaxis 2D, Geotechnical Engineering Software
- Rogers, D.J., Recent Developments in Landslide Mitigation Techniques, Geolith Consultants, Pleasant Hill, California, 1997
- Slope, Stability Analysis Software
- Şen, S. C., Erdemli (Mersin) İlçesinde Yağışlara Bağlı Olarak Gelişen Heyelanların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Mersin, 2009
- Şirin, A., Tirebolu-Torul Devlet Yolu Uluköy-Torul Arası Kaya Şevlerinin Stabilitesi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 1995
- T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, KGM, Karayolları Teknik Şartnamesi, Ankara, 2013
- TS 8853, Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1973

- Ulusay R., Aydan Ö., Kılıç R., (2007). Geotechnical assessment of the 2005 Kuzulu landslide (Turkey). Engineering Geology, 89 pp 112-128.
- Varnes, D. J., 1978. Slope Movement Types And Processes. In Landslides: Analysis And Control. Edited by R. L. Schuster And R. J. Krizek. Transportation Research Board, National Academy Of Science, Washington. Special Report 176, Chapter 2, 11-33.
- Varnes, D.J. Landslides and Engineering Practice, NAS-NRC Publ. , 1978
- Varnes, D.J. Slope Movement Types and Procuses, Transporatation Research Board, Special Report 176, NAS-NRC Publ. , 1978
- Vekli, M., Taş Kolon ile Şev İyileştirmesinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. , Trabzon, 2009
- WP/WLI, (International Geotechnical Societies Unesco Working Party on World Landslide İnvntory) 1990. A suggested method for reporting a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 41, 5-12.
- WP/WLI (International Geotechnical Societies Unesco Working Party On World Landslide Inventory), 1993. A Suggested Method For Describing The Activity Of A Landslide. Bullettin International Association For Engineering Geology, 53-57.
- WP/WLI, 1995. A suggested method for describing the rate of movement of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No. 52, 75-78.

ÖZ GEÇMİŞ

Çağlar BALTAOĞLU, Sakarya Atatürk Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Fakültesi ve Anadolu Üniversitesi İşletme Fakültesi'nden 2012 yılında mezun oldu.2014 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına başlamış ve tez süreci ile son aşamasına gelmiştir. 20.02.2024

İletişim Bilgileri

ORCID ID :0009-0009-2184-1224

Yayınlar:

1. Baltaoğlu, Ç., Demir, G., Serdar, A. H.,(2024). Landslide investigation and stability applications: the case of Akşehir-Yalvac road. İstanbul:16th International Istanbul Scientific Research Congress on Life, Engineering, Architecture and Mathematical Sciences.