



**ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİNDE GERİ HESAP YÖNTEMİ İLE BİR
VAKA ANALİZİ**

Büşra TARAKÇIOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Büşra TARAKÇIOĞLU

09/02/2022

ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİNDE GERİ HESAP YÖNTEMİ İLE BİR VAKA ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Büşra TARAKÇIOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2022

ÖZET

Karayolu ulaşımı için hazırlanan güzergâh projelerinde güzergahın geçeceği hattın zemin durumu büyük önem taşımaktadır. Yol boyunca yarma ve dolgular yapılacağından bu şevlerin hareketleri sonrası oluşabilecek deformasyonlar, can ve mal kayıpları yaşamamak için dikkate alınmalıdır. Günümüzde özellikle ülkemizde artış gösteren yol projelerinde güzergâh boyunca yapılan yarma işleri ile ilgili olarak bazı şevlerde stabilite sorunları yaşanmaktadır. Bu sorunların sebepleri arasında yol güzergahının heyelan bölgesi olması, öngörülen heyelan tacının daha geride kalması, meydana gelen yağışlar, ilgili firmanın yapım sırasında drenaj öncesi kazıya başlaması gibi birçok neden gösterilebilir. Şevlerde meydana gelen hareketlilikler canlıların yaşamını tehlikeye atabileceği gibi, hareketlilik sonrası tasarlanan iyileştirme projeleri, kamulaştırma gibi maddi sıkıntılara da yol açabilir. Şevlerde meydana gelen hareketliliklere göre şev düzenlemeleri ve gerekiyorsa ilave önlem çalışmaları yapılır. Bu çalışmaya konu olan otoyol projesinin 7 palyeden oluşan yüksek yarmalı kesimi incelenmiştir. Yapımı sırasında ilgili kilometrelerdeki şevlerde farklı zamanlarda hareketlilikler meydana gelmiştir. Yarma şevlerinde gözlemlenen hareketlerin nedeni olarak eski heyelan kütlelerinin tacının öngörülen noktadan geride olması ve yarma kazısı esnasında bu kısımda kalan gevşek malzemelerin hareket etmesi olarak belirlenmiş ve taş dolgu yapılmasına karar verilmiştir. Bu çalışmada şeve uygulanan istifsiz taş dolgu sonrası meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. Limit denge analiz yöntemleri kullanılarak Slide programında geri hesap yöntemi ile kayma yüzeyi parametreleri elde edilmiştir. Analiz sonrası elde edilen parametreler değerlendirilerek kazıklı çözüm önerisi getirilmiştir.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Şev stabilitesi, geri analiz yöntemi, heyelan
Sayfa Adedi : 69
Danışman : Prof. Dr. Seyhan FIRAT

A CASE STUDY WITH BACK ANALYSIS METHOD IN SLOPE STABILITY
(M. Sc. Thesis)

Büşra TARAKÇIOĞLU

GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2022

ABSTRACT

In the route projects prepared, the ground condition of the line that the route will pass through is of great importance. The movements of these slopes should be taken into consideration in order not to experience loss of life and property. Today, there are stability problems on some slopes, especially in road projects that are increasing in our country. Some of the reasons for these problems are the landslide areas where the road routes pass, the predicted landslide being left behind, the rainfalls and the excavation of the relevant company before the drainage can be shown. Movements on slopes may endanger the lives of living things, as well as improvement projects designed after mobility may cause financial difficulties such as expropriation. The high-section part of the highway project, which is the subject of this study, has been examined. During the construction of the slopes of the relevant kilometres, movements occurred at different times. The reason for the movements observed in the cut slopes was determined that the crown of the old landslide mass was further behind than the predicted point and the loose materials left in this section during the cut excavation were moving and it was decided to make a stone fill. In this study, the deformations that occurred after the unstacked stone filling applied to the slope were investigated. By using limit equilibrium analysis methods, slip surface parameters were obtained by back calculation method in Slide program. After the analysis pile solution proposal was made.

Science Code : 91105
Key Words : Slope stability, back analysis, landslide
Page Number : 69
Supervisor : Prof. Dr. Seyhan FIRAT

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Seyhan FIRAT' a sonsuz teşekkür ederim.

Yardım ve destekleri için bütün arkadaşlarıma, Kamu Özel Sektör Ortaklığı Bölge Müdürlüğü çalışanlarına ve özellikle iş yoğunluğu arasında her soruma cevap veren Yüksel Proje A.Ş mühendislerinden değerli Miraç KARADEMİR' e tezime sağladıkları katkılar için teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan emeklerini asla esirgemeyen her türlü fedakarlığı gösteren annem Cennet BODUROĞLU, babam Eyüp BODUROĞLU, kardeşlerim Gökhan ve Emir BODUROĞLU' na tüm kalbimle teşekkür ederim.

Tez hazırlama sürecim boyunca her zaman yanımda olan moral ve motivasyon veren değerli eşim Av. Sercan TARAKÇIOĞLU' na, değerli annem ve babam Nilgün-Sefa TARAKÇIOĞLU' na sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. ŞEV STABİLİTESİ	7
3.1. Şev Hareketleri.....	8
3.1.1. Düşme	9
3.1.2. Devrilme.....	10
3.1.3. Kayma	11
3.1.4. Limit denge analiz yöntemleri	12
3.1.5. İsveç dilim yöntemi (Fellenius 1936)	13
3.1.6. Bishop yöntemi	14
3.1.7. Basitleştirilmiş Janbu yöntemi	15
3.1.8. Spencer yöntemi.....	16
3.1.9. Morgenstern-price yöntemi (M-P)	18
4. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ	21
4.1. Drenaj.....	21
4.2. Payanda Dolgusu ve Kazı	22

	Sayfa
4.3. Güçlendirme Kazıkları	22
4.4. Enjeksiyon Yöntemleri.....	22
4.5. Bitkilendirme.....	22
5. VAKA ANALİZİ	25
5.1. İnceleme Alanı Yeri	26
5.2. İnceleme Alanı Jeolojisi.....	26
5.3. Depremsellik	27
5.4. İnceleme Alanında Yapılmış Araştırma Çalışmaları	27
5.5. Şevlerde Gözlemlenen Hareketliliklerin Değerlendirilmesi	32
5.6. Limit Denge Analizleri	34
5.6.1. Deprem katsayılarının hesaplanması	38
6. SONUÇLAR.....	45
KAYNAKLAR	47
EKLER.....	51
EK-1. Sondaj logları	52
EK 2. Karot fotoğrafları.....	56
EK 3. İnklinometre grafikleri.....	62
EK 4. Zaman-kayma miktarı grafikleri.....	68
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Varnes 1978 Şev göçmeleri için mühendislik sınıflandırması	9
Çizelge 5.1. Laboratuvar deney sonuçları.....	28
Çizelge 5.2. Deneylerin özet tablosu	29
Çizelge 5.3. Sondaj bilgileri.....	29

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Yol enkesiti üzerinde şev gösterimi.....	8
Şekil 3.2. Düşme durumu.....	10
Şekil 3.3. İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler ile kuvvet poligonu	14
Şekil 3.4. Bishop yönteminde bir dilime etkiyen kuvvetler.....	15
Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Janbu yöntemi'nin Şev analizi.....	16
Şekil 3.6. Spencer yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetlerin konumları.....	17
Şekil 3.7. Spencer yöntemi şev stabilite analizi.....	17
Şekil 3.8. Morgenstern-Price yöntemi şev stabilite analizi	18
Şekil 5.1. Sondaj lokasyonlarının görüldüğü anayol kesiti.....	30
Şekil 5.2. İnklinometre 3,4 ve 5 ölçüm grafiği	31
Şekil 5.3. İnklinometre 3,4 ve 5 ölçüm grafiği	32
Şekil 5.4. Slide programında kayma yüzeyinin belirlenmesi	34
Şekil 5.5. Geri hesap yönteminin modele uygulanması.....	35
Şekil 5.6. Blok Search metodunda güvenlik katsayısı.....	35
Şekil 5.7. Path Search metodunda güvenlik katsayısı.....	36
Şekil 5.8 Auto Refine metodunda güvenlik katsayısı.....	36
Şekil 5.9. Simulated Annealing metodunda güvenlik katsayısı.....	37
Şekil 5.10. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden alınan veriler	38
Şekil 5.11. Deprem durumundaki güvenlik katsayısının bulunması	40
Şekil 5.12. 3. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı	41
Şekil 5.13. 4. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı	41
Şekil 5.14. 1. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı	42
Şekil 5.15. 5. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı	42
Şekil 5.16. Depremi olmadığı durumdaki güvenlik katsayısı.....	43

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. New Mexico, Chaco Kanyonu'ndaki tek blok devrilmesi.....	11
Resim 3.2. Örnek şev kayması.....	12
Resim 4.1. Bitki kök yayılımı	23
Resim 5.1. Yarma Şevlerindeki taş dolgularda gözlemlenen deformasyonlar	28
Resim 5.2. Sondaj lokasyonları	30
Resim 5.3. İnceleme alanı görüntüsü.....	33

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
c'	Efektif kohezyon
c	Kohezyon
c'	Efektif kohezyon değeri
c_{ult}	Toplam kohezyon
F_1	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
F_{PGA}	PGA için yerel zemin etki katsayısı
GS	Güvenlik sayısı
H	Şev yüksekliği
i	Zemin yüzeyinin yatayla yaptığı şev açısı
kh	Yatay eşdeğer deprem katsayısı
k_{max}	Potansiyel yenilme kütleindeki maksimum deprem katsayısı
k_v	Düşey eşdeğer deprem katsayısı
S_1	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
T	Mutlak sıcaklık
w	Su içeriği
α	Şev Yüksekliği azalım katsayısı
α	Duvar-zemin ara kesitinin düşeyle yaptığı açı
β	İvme tepki spektrumu şekil katsayısı
β	Şev eğim açısı
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı
γ_k	Zeminin kuru birim hacim ağırlığı
γ_s	Dane birim hacim ağırlığı
δ	Zeminle duvar arasındaki sürtünme açısı
λ	Düzeltilme katsayısı
ν	Poisson oranı
σ'	Efektif gerilme
σ	Normal gerilme

Simgeler	Açıklamalar
σ	Toplam gerilme
τ	Kayma gerilmesi
τ_f	Kayma dayanımı
φ'	Efektif kayma mukavemet açısı
φ	Kayma mukavemet açısı
φ	Zeminin içsel sürtünme açısı
Φ	Öngörülen içsel sürtünme açısı
Φ_d	Hesaplanan içsel sürtünme açısı
χ	Bishop efektif düzeltme katsayısı
φ	Zeminin içsel sürtünme açısı
Φ	Öngörülen içsel sürtünme açısı
Φ_d	Hesaplanan içsel sürtünme açısı
χ	Bishop efektif düzeltme katsayısı

1. GİRİŞ

İnsanoğlu yerleşik hayat düzenine geçtiğinden beri birçok teknolojik yeniliğe imza atmıştır. Özellikle sanayi devriminden sonra buharlı motorlardan içten yanmalı motorlara geçiş aşamasıyla köklü bir yenilik gerçekleşmiştir. Bu yeniliğin akabinde şehirleşme oranları artmış ve köyden kente göç olgusu bir sorun olarak ortaya çıkmıştır. Söz konusu durum karşısında da artık ulaşım, hiç olmadığı kadar önemli hale gelmiştir.

Günümüze kadar ulaşım alanında birçok çözüm arayışı içerisine girilmiştir. Bu arayışlar çoğunlukla karayolu başlığı altında toplanmış ve şehirleşmenin getirdiği artan nüfusun aktarılmasında yine genellikle bu başlık altında söz konusu arayışlar sürmüştür. Öyle ki iş bu akademik çalışmamın hazırlandığı günlerde dahi ortaya çıkan Covid-19 pandemisi sebebiyle karayollarında oluşan seyahat kısıtlamaları, üretimden ticarete her alanda sorun yaratmıştır. Bu sebepler dolayısıyla her türlü yerleşim alanları arasına inşa edilecek karayollarında oluşacak her doğal afet artık geçmişe nazaran insanoğlu için daha büyük bir tehlike yaratmaktadır.

Doğal afetler, dünya genelinde insan hayatı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Doğa olayları, meydana geldiği yerlerde çok sayıda insanın hayatını kaybetmesine ve yaralanmasıyla birlikte aynı zamanda ciddi ekonomik zararlara yol açmaktadır. Doğa olaylarının insan yaşamı ve toplum üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması ve/veya önüne geçilebilmesi için doğa olaylarının iyi bir şekilde tanınması önem taşımaktadır (Dölek, 2021). Dünyanın en sık rastlanan afetleri arasında olan heyelanların envanter gelişimi son yıllarda önemli ilerleme göstermiştir. 1929-2018 yılları arasında yapılan araştırma çalışmaları sonrası elde edilen veri tabanına göre 90 yıllık dönem boyunca gerçekleşen 357 heyelan olayı sonucu 1291 kişinin hayatını kaybettiği görülmektedir (Fidan ve Görüm, 2020). Hem doğal hem de yapay şevlerin stabilitesinin sağlanmasının geoteknik mühendisliğinde temel bir konu olmaya devam ettiği kabul edilmektedir. Heyelanların önlenmesi veya düzeltilmesi için evrensel olarak kabul edilmiş bir yöntem yoktur. Her şev kayması benzersizdir ve benzersiz doğal özellikler temelinde değerlendirilmelidir (Arman, Fırat, Vural ve Gündüz, 2009). Ülkemizin sosyoekonomik yapısından dolayı meydana gelen heyelanlardaki kaybımız çok daha büyük olmaktadır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarında elde edilen veriler arazinin belirli noktalarını temsil ediyorken, geri hesap yöntemi ile

modellenen bir şev kayması ilgili bölgenin özelliklerini daha çok temsil eden zemin parametrelerini bulmamızı sağlar (Akçakal, Durgunoğlu, Şenol, ve Öztoprak, 2010).

Zemin özelliklerini bilerek inşa edilecek yapı ile zemin etkileşimi sonrası meydana gelebilecek durumları önceden tahmin edebilmek için analiz yapmak ve analiz sonrası iyileştirme önlemleri seçilirken stabilite sorunlarının asıl nedenlerini ortaya çıkarabilmek, göçme koşullarını belirleyebilmek gerekmektedir. Günümüzde özellikle ülkemizde artış gösteren otoyol projelerinde güzergâh boyunca yapılan yarma işleri ile ilgili bazı şevlerde problemler yaşanmaktadır. Bu problemlerin sebepleri arasında yol güzergahının heyelan bölgesi olması, öngörülen heyelan tacının daha geride kalması, meydana gelen yağışlar, yapım sırasında drenaj öncesi kazıya başlanması gibi birçok neden gösterilebilir. Kazı öncesi drenaj yapılması çok önemlidir. Drenaj, şev stabilitesini iki önemli yolla iyileştirir bunlardan biri zemin içindeki boşluk basınçlarını azaltır, böylece efektif gerilmeyi ve kesme mukavemetini artırır diğeri de çatlaklardaki su basınçlarının itici güçlerini azaltır, böylece denge için gerekli olan kesme gerilmesini azaltır (Duncan, Wright ve Brandon, 2014).

Bu çalışmada bir otoyol projesinin 7 palyeden oluşan yüksek yarmalı şevlerinin daha önceden yapılan istifsiz taş dolgu kaplama yüzeylerinde gözlemlenen çatlaklar ve deformasyonlar incelenerek geri hesap yöntemi ile analizi yapılmıştır. Zemin özellikleri, inklinometre okumaları ve arazi gözlemleri incelenerek kritik kesit belirlenmiştir. Slide programı kullanılarak kritik kesit üzerinden model oluşturulmuştur. Zemin özellikleri programa girilerek geri hesap yöntemi ile kayma yüzeyi parametreleri elde edilmiştir. Söz konusu bölgenin deprem bölgesi olması sebebiyle deprem durumundaki güvenlik katsayıları bulunmuştur. Deprem durumu için her bir palyede lokal kayma yüzeyleri ve toptan göçme durumu için analizler yapılmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Şev stabilite problemleri ile ilgili tarih boyunca birçok araştırma ve çalışma yapılmıştır. Özellikle 20. Yüzyılda Amerika, Avrupa ve İskandinavya ülkelerinde yol, demiryolu, liman uygulamaları sırasında meydana gelen kaymalarla birlikte şev stabilitesi ile ilgili yapılan çalışmalarda artış olmuştur. Yapılan çalışmalarda ilk amaç stabilite problemine neden olan etkenler olmakla birlikte devamında kalıcı olarak sorunu çözmek için yapılabilecek çözüm alternatifleri olmuştur.

Şev stabilitesi konusuna araştırmaları ile yön veren bilim adamlarından, Taylor 1937 yılında yayınladığı “Stability of Earth Slopes” isimli kitabında şev stabilitesinin tanımlarını, Skempton 1948 yılında “The $\phi = 0$ Analysis for Stability and its Theoretical Basis” isimli çalışmasında şev stabilitesi analizlerinde içsel sürtünme açısının nasıl kullanıldığını açıklamıştır. Daha sonra Terzaghi 1950 yılında “Mechanism of Landslides” isimli çalışmasında şev stabilitesi ile ilgili problemleri araştırmıştır. Janbu 1954 yılında günümüzde de ismi ile anılan şev stabilitesi analiz yöntemini, Bishop 1955 yılında yapmış olduğu çalışma ile dairesel kayma yüzeylerinde şev stabilitesindeki yöntemini açıklamıştır.

(Karademir, Kuruoğlu ve Akman, 2009) , Bursa Çevreyolu üzerinde meydana gelen şev hareketini limit denge ve sonlu elemanlar yöntemini kullanan bilgisayar programlarını kullanarak analiz etmişlerdir. İlgili şev hareketini tetikleyen unsurları tespit ettikten sonra analizlerini yaparak 2 alternatif üzerinden değerlendirme yapmışlardır. Geçirimli ve geçirimsiz zemin türüne sahip zeminde yağışların ve yeraltı suyunun etkisiyle geçirimsiz yüzey üzerinde hidrostatik basınç oluşturduğunu ve genel dengenin bozulduğunu tespit etmişlerdir. Analizler sonrasında 2 alternatifi değerlendirmişlerdir. 1.Alternatif olarak heyelanın topuk kısmının nitelikli kaya dolgu ile yer değiştirilmesi ve kaya dolgunun gerisine yeraltı suyu için drenaj yapılmasını değerlendirmişlerdir. Ancak bu alternatif aktif heyelan kütlesi içerisinde gerçekleştirilmesi gereken geçici kazılardan dolayı riskli görülmüş ve kabul görmemiş. 2. Alternatif olarak uzun dönemde servis yolunda tehdit oluşturmaması için heyelanı tamamen durdurabilecek betonarme fore kazıklarla dayanma yapısı yapılması değerlendirilmiş. Limit denge ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kazıklarla ilgili tasarımlar oluşturulmuş fakat kazık yapılacak bölgenin ön kısmında bulunan pasif heyelan malzemesinin direnç göstermemesi nedeniyle dayanma yapısının önüne istifsiz taş dolgu

yapılması öngörülmüştür. Statik ve deprem durumu için analizler yapılarak kazıklı dayanma yapısı alternatifini uygun görmüşlerdir.

(Kibria, Qureshi and Rana, 2010) , heyelanlar için geri analiz yöntemini incelemişlerdir. Vaka geçmişlerini kullanarak kırılma yüzeyi, gözenek suyu basınçları, kesme dayanımı gibi faktörlerden bazılarının heyelanların geriye dönük analizinde etkisini araştırmışlardır. Geri analiz yöntemi yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlara değinmişlerdir ve kullanılan parametrelerin, varsayımların seçiminde deneyim ve muhakeme yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

(Ye, Xie, Zhao ve Zhao, 2014), çift sıralı kazıkların mekanizmasını incelemişlerdir. Çift sıra kazıklar için uygun tasarımı önermeyi hedeflemişlerdir. Ön sıradaki ve arka sıradaki kazıkları ayrı ayrı belirli varsayımlar kullanarak değerlendirmişlerdir. Kazık sıraları arasındaki zemini dikkate almışlardır ve ihmal edilemez olduğu sonucuna varmışlardır. Tek sıralı ve çift sıralı kazıkların kesme kuvvetlerini ve eğilme momentlerini karşılaştırmışlardır. Çift sıralı kazıkların heyelan durumuna karşı daha etkili olduğunu belirtmişlerdir.

(Fırat ve Canik, 2014), yol şevinde meydana gelen bir kayma üzerine çalışma yapmışlardır. Şev stabilitesine depremin etkisini ve harekete neden olan faktörleri araştırmışlardır. Statik ve dinamik yükler altında olan şevin farklı kalınlık, boy ve adetlerdeki kazıklarla davranışlarını değerlendirmişlerdir. Kazıksız yapılan şevin deprem etkisinde tamamen yıkıldığını gözlemlemişlerdir. Kazık başlıklarının sabitlenip sabitlenmemesi durumuna göre deprem etkisinde şev davranışlarını, deplasmanları karşılaştırmışlardır.

(Mısır, 2018), kayma yüzeylerinin güvenlik sayılarını eğimli bir arazi üzerinde inşaat aşamalarını dikkate alarak iki farklı bilgisayar programıyla analiz edip karşılaştırmıştır. Stabilitate problemini çözmek için PLAXIS ve GEO5 programlarını kullanmıştır. Geo5 programında elde ettiği güvenlik sayılarını Bishop, Janbu, Spencer gibi yöntemler için ayrı ayrı değerlendirip, Plaxis 2D programında da Mohr- Coulomb malzeme modeli kullanarak analiz yapmıştır. Analiz sonuçlarını karşılaştırmak adına parametreleri birbirleri ile uyumlu ve aşamaları da birebir aynı olacak şekilde programlarda modellemiştir. Aşamaları karşılaştırdığında sonuçların uyumlu olduğunu görmüştür.

(Eren ve Aksoy, 2020), yeraltı suyunun uzun süre boyunca şev stabilitesine etkisini zamana bağlı olarak sayısal analiz programları ile incelemişlerdir. Model olarak farklı yeraltı su seviyeleri için açık bir işletmenin boyut parametrelerini kullanarak şevlerde oluşan deformasyonları ve güvenlik faktörlerini değerlendirmişlerdir. Analizlerinde Mohr-Coulomb yenilme kriteri ile Van Ganuchen akış modelini kullanmışlardır. Sonuçları incelediklerinde işletmenin bulunduğu jeolojik birimin geçirimsizliklerinin güvenlik faktörüne önemli bir etkisinin olduğunu görmüşlerdir.

(Kahyaoğlu, İmançlı, Özden ve Kayalar, 2017), Zemin-yığın ve yığın-yığın etkileşimini dikkate alarak, kayan zemin kütleleri ile pasif kazıklar arasındaki yük aktarım mekanizmasını araştırmışlardır. Kazıkların etkisi hem saha gözlemleriyle hem de 3D sayısal analizlere dayalı olarak araştırılmış ölçülen ve tahmin edilen kazık yer değiştirmelerini karşılaştırmışlardır. Analizleri için Türkiye Söke'deki bir heyelanı incelemişlerdir. Yaptıkları analizler sonrası kayan kütlenin geometrisinin, kayan zeminin derinliğinin, zeminin deformasyon modülünün, zemin ve yığınlar arasındaki göreceli hareketin ve bitişik kazıkların göreceli hareketinin birleşik bir etkiye sahip olduğunu değerlendirmişlerdir.

3. ŞEV STABİLİTESİ

Şevlerin kendi ağırlıkları veya ek yükler altında kayma ya da göçme hareketine karşı gösterdikleri performansa şev stabilitesi denir. Tabiat olaylarının etkisi veya insan müdahalesi ile şev hareketleri meydana gelebilir. Yapılan teknik kazılar, yapılaşmanın artması sonucu oluşan yükler, doğanın dengesini bozan her türlü etken şevlerde stabilite problemlerine neden olabilir. Şev hareketlerinin sebepleri, analizleri ve iyileştirme önerileri geoteknik mühendisliğinin önemli konularındandır.

Şev duraysızlığını ;

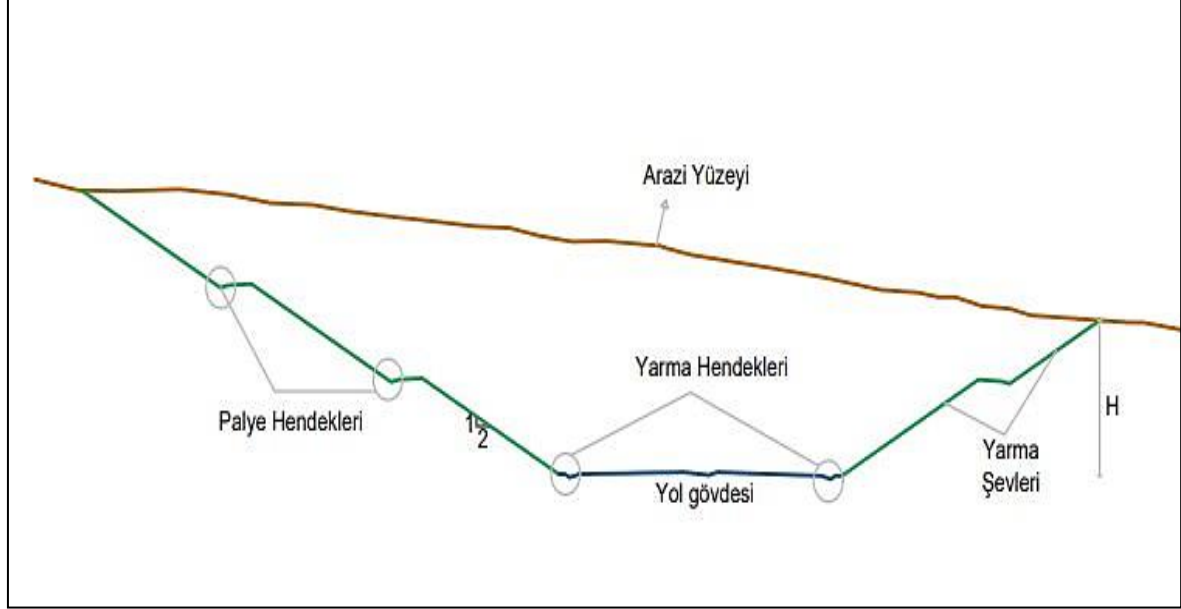
- Şevin geometrisi,
- Yeraltı suyu koşulları,
- Depremler ve volkanik değişimler,
- Bitki örtüsünün bozulması,
- Zemine etki eden mekanik ve fiziksel etkenler,
- İklim değişiklikleri gibi faktörler meydana getirebilir. Bu faktörlerin doğru değerlendirilmesi sonrası yapılan stabilite analizleri güvenli sonuçlar verir.

Şevlerin stabilitesini tanımlamak için kullanılan büyüklük Güvenlik Katsayısı “GK” ‘dır. Güvenlik Katsayısı $G_k \geq 1$ olmalıdır. (Hoek,2000)

Şevlerin stabilitesini koruyabilmesi için gerekli şev açıları analizlerle belirlenir. Bir şevin yatayda ve düşeydeki oranını göstermek için 2/1,3/2 gibi tariflerde bulunulur. Şev oranı 3/2 olan bir şevde 3 yatay 2 düşeyi ifade eder.

Yol gövdesinde ve şevlerinde stabilite problemleri yaşamamak için güzergâh projelerinde yolun plan ve profili tasarlandıktan sonra yarma veya dolguların arazi ile birleştiği noktalardan belirli uzaklıkta, Karayolları Teknik Şartnamesinde belirlenen mesafelere göre kafa ve topuk hendekleri yapılır. Burada amaç suların şeve gelmeden toplanması ve güvenli şekilde tahliye edilmesidir. Yapım esnasında drenaj önlemleri (kafa, topuk ve palye hendekleri) alınmadan şevler yapılmaya başlandığında yağışların etkisiyle birlikte şevlerde stabilite problemleri ve deformasyonlar oluşabilmektedir. Dolayısıyla suyun ortamdan

uzaklaştırılması, yapım güvenliği açısından önemlidir. Şevlerde meydana gelen hareketliliklere göre şev düzenlemeleri ve gerekiyorsa ilave önlem çalışmaları yapılır. Şev düzenlemeleri için birçok alternatif vardır ancak bunlar arasında tasarım için hem güvenli hem maliyeti daha uygun olan tercih edilir.



Şekil 3.1. Yol enkesiti üzerinde şev gösterimi

3.1. Şev Hareketleri

Bir şevde toprak kütlelerinin aşağı ve dışarı doğru bir hareketle yer değiştirme olayına kayma denir. Bu kayma hareketi yavaş veya hızlı olabildiği gibi önceden belirtisi de görünmeyebilir. Genellikle şevlerdeki kaymalar mevcut şevin dibinde yeni bir yarmaya veya kazıya girilmesi ile meydana gelmektedir. Diğer taraftan zeminin zamanla çözülmesi, kılcal çatlakların meydana gelmesi, boşluk suyu basınçlarının aniden artması gibi çeşitli faktörler de şev kayma sebeplerindendir (Balkır ve Balkır, 1975).

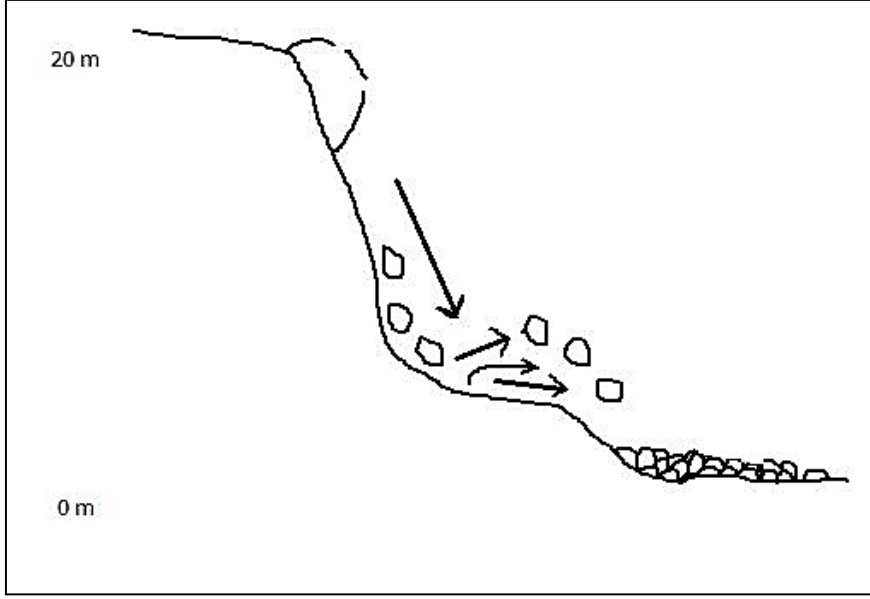
Şevlerin göçme hareketleri Varnes tarafından düşme, devrilme, kayma, akma ve yayılma olarak ayrılmıştır. Ayrıca göçmenin meydana geldiği malzeme tipini vurgulamak amacıyla göçme tiplerinin önlerine ana kaya için kaya, baskın olan iri taneli zeminler için moloz ve baskın olarak ince taneli zeminler için toprak terimleri eklenmektedir (Varnes, 1958).

Çizelge 3.1. Varnes 1978 Şev göçmeleri için mühendislik sınıflandırması

DURAYSIZLIK TÜRÜ			MALZEMENİN TÜRÜ		
			TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
			İnce Taneli	İri Taneli	
DÜŞME			Zemin düşmesi	Moloz Düşmesi	Kaya Düşmesi
DEVİRİLME			Zemin devrilmesi	Moloz Devrilmesi	Kaya Devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (Dairesel)	Sınırlı Sayıda Birim	Zeminde dairesel kayma	Molozda Dairesel Kayma	Kayada dairesel kayma
	ÖTELENMELİ	Çok Sayıda Birim	Blok türü ötelenme zemin kayması	Blok türü ötelenme moloz kayması	Blok türü ötelenme kaya ötelenmesi
YANAL KAYMA			Zemin Yayılması	Moloz Yayılması	Kaya Yayılması
AKMA			Zemin Akması	Moloz Akması	Kaya Akması
KARMAŞIK KAYMALAR			Yukarıda belirtilen duraysızlık türlerinden ikisinin ya da birkaçının birleşmesiyle oluşan duraysızlıklar		

3.1.1. Düşme

Düşme, bir şevden aşağıya hızla inen, yol boyunca yuvarlanan ve havada savrulan zemin veya kaya parçalarından oluşan şev yenilmeleridir (Coduto, 2006). Düşme olarak meydana gelen şev yenilmelerinin sebepleri olarak çeşitli hava olayları, depremler, blokların hidrostatik basınç etkisi ile ayrılması, don etkisi gösterilebilir.



Şekil 3.2. Düşme durumu

3.1.2. Devrilme

Devrilme, bir zemin ya da kaya kütesinin mevcut eğiminin tersi yönünde öne doğru yer değiştirmesidir. Sadece dik yamaçlarda bu yenilme şekli ile karşılaşılır (Coduto, 2006). Devrilme, çökme hareketi değil bir bükülme davranışdır. Oluşum durumlarına göre devrilmeler bükülme devrilmesi, blok devrilmesi, blok-bükülme devrilmesi ve ikincil devrilmeler olarak dört grupta değerlendirilmektedir (Lana, Periarra and Lopes, 2013).



Resim 3.1. New Mexico, Chaco Kanyonu'ndaki tek blok devrilmesi (Hungur, 2013)

3.1.3. Kayma

Kayma, bir kayma yüzeyi üzerinden şevin aşağı yönde hareket etmesidir. Eğrisel yüzeyli kayma türleri şev kayması, topuk heyelanı ve taban kayması olmak üzere 3 şekilde gerçekleşir (Vardar, Demiroğlu, Koçak, ve Şans, 2012).



Resim 3.2. Örnek şev kayması

Şev stabilitesi analiz yöntemleri

Belirli bir potansiyel kayma yüzeyinde dengeyi sağlamak için gerekli kayma gerilmelerinin mevcut kayma gerilmesine ulaşması veya aşması durumunda şev stabilitesini kaybeder (Kayabalı, 2013). Uygun kesme dayanımı özellikleri, boşluk suyu basınçları, şev geometrisi ve diğer zemin ve şev özellikleri belirlendikten sonra, kaymaya karşı koyan kuvvetlerin şevin kaymasına neden olacak kuvvetlerden büyük olduğunu temin etmek üzere şev duraylılık hesaplamalarının yapılması gerekir (Duncan, Wright and Brandon, 2014). Şev stabilite problemleri sahada yapılan tetkiklerin laboratuvar koşullarında değerlendirildikten sonra elde edilen verilere göre yapılan matematiksel hesaplarla analiz edilir. Analiz sonrası gerekli iyileştirme çalışmaları ile stabilite problemleri çözülmüş olur.

3.1.4. Limit denge analiz yöntemleri

Sonlu elemanlar yöntemlerinde en çok kullanılan yöntem limit denge analiz yöntemidir. Bu analiz yöntemleri, meydana gelebilecek sayısız göçme yüzeylerinin güvenlik faktörlerinin tamamının hesaplanarak en küçük güvenlik faktörlü göçme yüzeyinin bulunması temeline dayanır (Isakov and Moryachkov, 2014). Duraysızlık modeline göre kayan kütle önce

dilimlere bölünerek dilimlerin ayrı ayrı sonra da tüm dilimler değerlendirilerek kayan kütlelerin dengesi belirlenir.

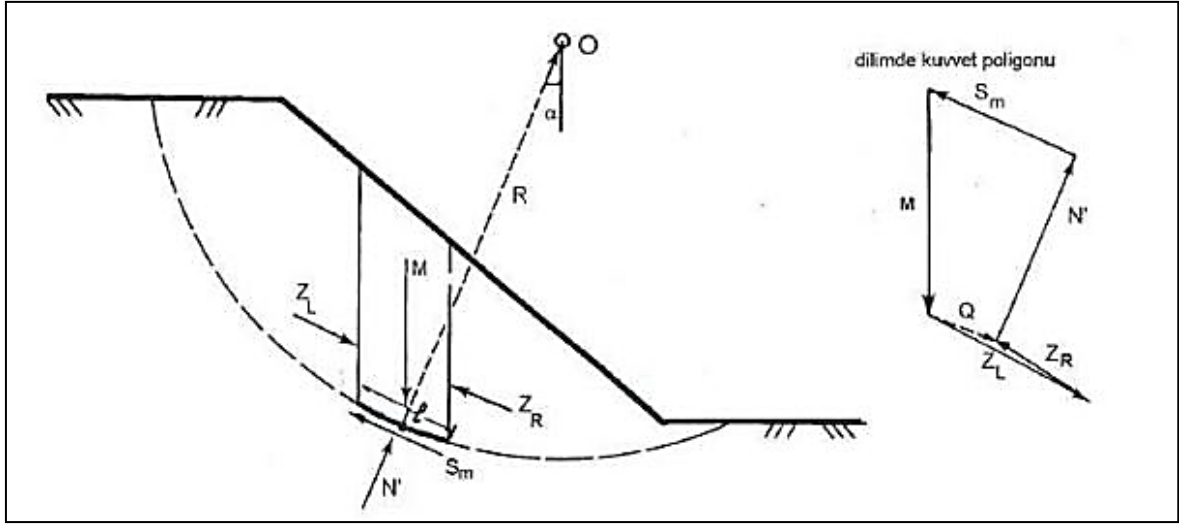
İsveç’de 1916 yılında Petterson bir sorunu çözebilmek için dairesel kayma yüzeyi tanımlayarak, kayan kütleleri dilimlere bölmüştür. Böylece limit denge analiz yöntemlerinin temelini atmıştır. Daha sonra Fellenius günümüzde yaygın olarak kullanılan İsveç Dilim Yöntemini bulmuştur Janbu ve Bishop 1950’lerde dilimler arasındaki kayma ve gerilme kuvvetlerini belirleyerek limit denge analiz yöntemlerini geliştirmiştir. 1960’larda bilgisayar programlarının gelişimiyle Spencer ve Morgenstern yöntemleri geliştirilmiştir. 1980’lerde teknolojinin de gelişmesiyle birlikte bilgisayar programları üzerinde bu yöntemler kullanılarak hesaplamaya geçilmiştir.

Limit denge analiz yöntemleri;

- Fellenius (1936)
- Bishop (1955)
- Modifiye Bishop (1955)
- Morgestern ve Price (1965)
- Spencer (1967) Bell (1968)
- Janbu (1973)
- Sarma (1976)

3.1.5. İsveç dilim yöntemi (Fellenius 1936)

Fellenius tarafından geliştirilen yöntemde yenilme ölçütü olarak Mohr-Coulomb kullanılır ve kayan kütle dilimlere bölünür. Bu yöntem moment dengesi olarak kayma merkezinin etrafında kaymaya karşı ve kaydırıcı kuvvetlerin dengesini dikkate alır ve dairesel kayma yüzeyleri için uygulanır. Dilimler arası etkiyen kuvvetlerden düşey olanı ihmal edilir. Moment eşitliğine göre güvenlik katsayısı belirlenir.



Şekil 3.3. İsveç dilim yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetler ile kuvvet poligonu (Önalp ve Arel, 2004)

$$F = GS = \sum (c'l + (M \cos \alpha - uwl) \tan \phi') / \sum W \sin \alpha \quad (3.1)$$

$$F = GS = (\text{Karşı Koyan Kuvvetler}) / (\text{Döndüren Kuvvetler}) \quad (3.2)$$

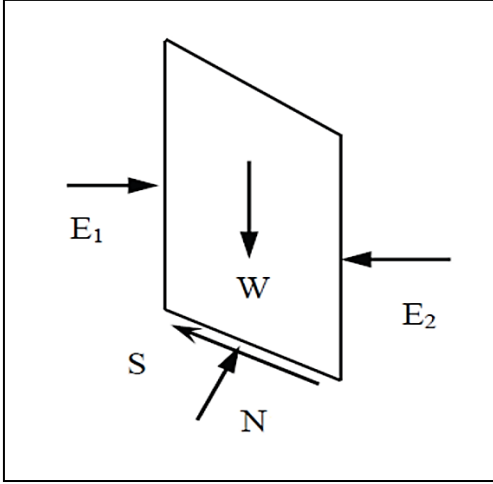
Eğimi düşük ve su basınçlarının yüksek olduğu şevlerde olması gerekenden %50-60 kadar daha az çıkar. Eğer su basınçları yüksekse bu yöntem kullanılmamalıdır (Whitman and Bailey, 1967).

3.1.6. Bishop yöntemi

1955 yılında Bishop tarafından geliştirilen analiz yöntemidir. 2 Tür Bishop yöntemi bulunmaktadır. Bunlar Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi ve Karmaşık Bishop Yöntemidir. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi moment dengesini esas alır. Karmaşık Bishop yöntemi momentle birlikte kuvvetlerin dengesini de değerlendirir.

Aşağıda Basitleştirilmiş Bishop yöntemi verilmiştir.

- Dilim vektörü dilim tabanının tam ortasına etki eder.
- Dairesel kayma yüzeylerinde moment ve kuvvet denge koşullarını sağlamaktadır.



Şekil 3.5. Basitleştirilmiş Janbu yöntemi'nin Şev analizi

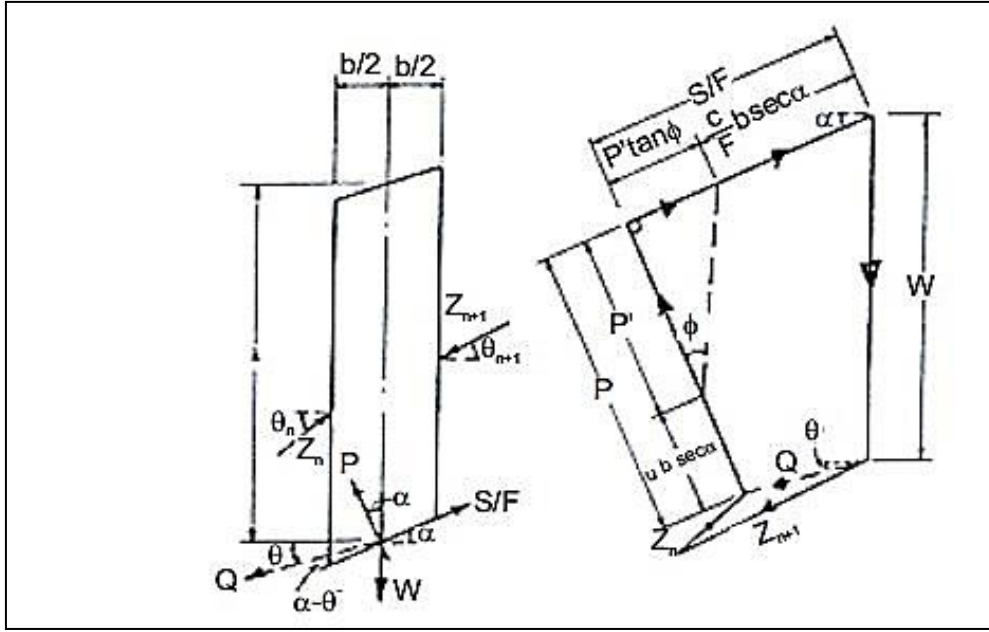
$$GS = \frac{\sum cl + (N - ul)\tan\phi}{\sum W\tan\alpha + \sum \Delta E} \sec\alpha \quad (3.4)$$

Denklemde bulunan $\Delta E = E_2 - E_1$ Net dilimlerin arasında bulunan normal kuvvetlerdir (Rahman ve Mamun, 2016).

3.1.8. Spencer yöntemi

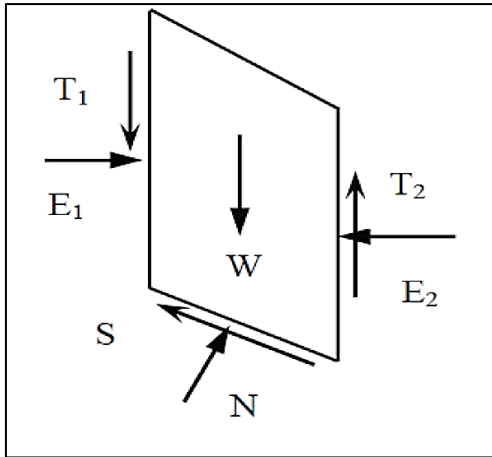
Spencer (1967) tarafından moment ve kuvvet dengelerinin birlikte alınması koşulu ile oluşturulmuş bir yöntemdir. Dairesel ve daireysel olmayan kayma yüzeyleri için bu yöntem kullanılır. Yöntemde dilimler arası kuvvetin dilimler arasında $\emptyset$ gibi bir açıyla etkidikleri kabul edilir.

$$\tan\emptyset = \frac{XL}{EL} = \frac{XR}{ER} \quad (3.5)$$



Şekil 3.6. Spencer yönteminde dilimlere etkiyen kuvvetlerin konumları (Spencer, 1967)

Normal kuvvetin belirlenmesi için dilimlerarası kuvvetlere dik yönlü kuvvetler toplanır, ayrıca yatay yöndeki dilimlerarası kuvvet hesaplanır. Spencer (1967); dilimlerarası kuvvet bileşkelerinin (Z) paralel ve bu kuvvetlerin θ gibi sabit bir açıyla etkidikleri kabul edildiği takdirde, dilimler arasında etkiyen iki kuvvetin bileşkesinin (Q) de θ gibi bir açıyla eğimli olacağını belirtmiştir (Ulusay, 2008).

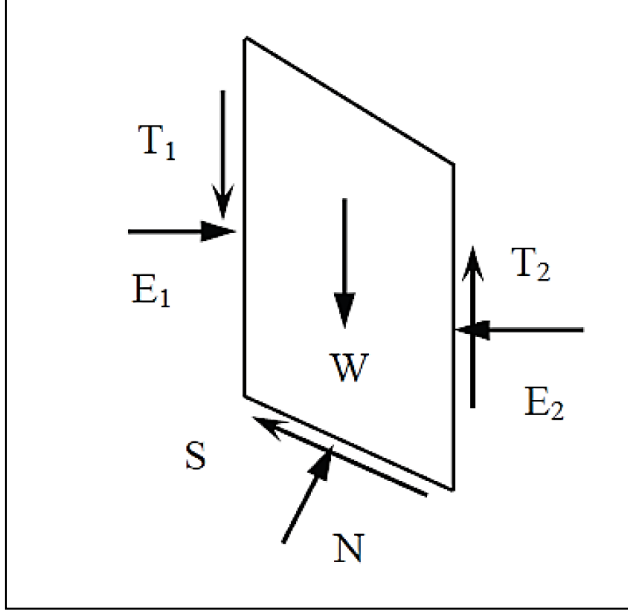


Şekil 3.7. Spencer yöntemi şev stabilite analizi

$$T = E \tan \theta \quad (3.6)$$

3.1.9. Morgenstern-price yöntemi (M-P)

Morgenstern- price yöntemi hem kuvveti hem de moment dengelerini karşılayarak kesitler arası kuvvet fonksiyonunu varsayar.



Şekil 3.8. Morgenstern-Price yöntemi şev stabilite analizi

$$T = f(x) \cdot \lambda \cdot E \quad (3.7)$$

$f(x)$: Kayma yüzeyi boyunca sürekli değişen dilimler arası kuvvet fonksiyonu

λ : Varsayılan fonksiyondaki ölçek faktörü

Morgenstern-Price yöntemi her iki dilim arası kuvveti dikkate alır. Bir kesit arası kuvvet fonksiyonu varsayar. $(f(x))$ Yöntem; yarım sinüs, trapezoidal veya kullanıcı tanımlı herhangi bir kuvvet fonksiyonunun varsayılmasını önerir. Normal kuvvet ve dilimler arası kuvvet ilişkileri Janbu yöntemi ile aynıdır. Belirli bir kuvvet fonksiyonu için, dilimler arası kuvvetler, F_f denklemlerde F_m 'ye eşit olana kadar tekrarlama işlemi ile hesaplanır (Rahman ve Mamun, 2016).

Kayma yüzeyi belli olan bir şevin yenilme durumundaki koşulları belirleme ve şev için uygun bir modelin ortaya çıkarılması işlemine “Geri Analiz Yöntemi” denir. Bu yöntem uygulanırken bilinen parametreler girilir. Bilinmeyenler için uygun bir aralık seçilerek değer

verilir ve göçmenin meydana geldiği anda güvenlik katsayısının 1.0'e eşit olması durumunda bilinmeyen parametrenin değeri bulunur (Duncan ve Wright 2005). Geri hesap yöntemi, göçmenin meydana geldiği şevlerde iyileştirme yöntemlerinin güvenilir ve ekonomik bir şekilde yapılmasına katkı sağlamaktadır (Popescu ve Sasahara, 2009). Birbirinden farklı özellikte şev tabakalarının olduğu yenilmeler için de kayma yüzeyi parametrelerinin bulunabilmesi için geri hesap yöntemi uygulanabilir. Geri hesap yöntemi sonrası elde edilen parametrelere göre güçlendirme çalışmaları tasarlanabilir.

Analizlerde limit denge analiz yöntemlerini baz alan "Slide" Programı kullanılmıştır. Slide programı dairesel ve dairesel olmayan göçme yüzeylerinde, güvenlik katsayısı hesabı yapabilmekte ve şevin stabilite durumunu değerlendirebilmektedir. Ayrıca harici yükleme, yeraltı suyu ve destek yapıları gibi çeşitli unsurları modellemeye imkân veren 2 boyutlu bir programdır. Proje ayarlarında tercih edilen hesap yöntemi seçilerek güvenlik katsayısı hesabı yapılabilir (Ün ve Yıldız, 2021). Slide programı kullanılarak geri hesap yöntemi uygulanmıştır. Elde edilen parametreler değerlendirilerek güçlendirme yapılmıştır.

4. İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Bir şevin stabilitesini kaybetmesine neden olan faktörler belirlenmelidir. Şevin yenilme durumu zayıf bir temel üzerindeki fazla kalın dolgudan, aşırı eğimli bir şevden, yeraltı suyunun yükselmesinden, sızma yollarının tıkanmasından, topukta aşınmadan, zeminin şişmesi gibi zamanla dayanımını kaybetmesiyle meydana gelebilir. Geri analiz yöntemi ile elde edilen kesme dayanımı parametresi şevin iyileştirme sonrası emniyet katsayısı değerlendirmesinde oldukça güvenilirdir (Duncan, Wright ve Brandon, 2014).

Şevlerde iyileştirme yöntemi belirlenirken birçok faktör etkilidir. Örneğin yapımı devam eden bir yol projesi ya da kapanmış bir yolun açılması için zamandan kazanmak gerekiyorsa, şev stabilitesinin meydana gelecek daha büyük bir hareketi önlemesi için uygulanması gerekiyorsa maliyet durumuna göre uygun ve etkili iyileştirme yönteminin seçilmesi önemlidir.

Stabilite iyileştirme yöntemleri olarak drenaj, kazılar ve payanda dolguları, istinat yapıları, kazıklar ve delgili şaftlar, enjeksiyon yöntemleri ve bitkilendirme, kayan kütlenin kazılıp yerine başka malzemenin eklenmesi gibi yöntemler sayılabilir.

4.1. Drenaj

Drenaj yöntemi şev iyileştirme yöntemleri arasında en sık kullanılan yöntemdir. Maliyet ve uygulama kolaylığı açısından tercih edilir. Yeraltı suyunun yükselmesi, boşluk suyu basınçlarının değişmesi nedeniyle meydana gelen hareketlilikler için bu yöntem uygundur. Yarma ve dolgu şevlerinde yapım önceliği olarak önce drenajın yapılması gereklidir. Yüzey drenajı olarak özellikle yollarda dolguda ise topuk hendeği, yarmada ise kafa hendeği olmak üzere hendekler tasarlanır. Bu hendekler suyun şeve gelmeden uzaklaştırılmasını sağlar.

Yatay ve düşey drenler yeraltı suyunun drene edilmesi için etkilidir. Geçirgenliğin yüksek olduğu durumlarda yatay drenler şev içerisinde eğimli bir şekilde yerleştirilir ve suyun borulardan geçerek tahliye edilmesine yarar. Düşey drenler geçirgenliğin değişken olduğu katmanlı durumlarda etkilidir. Katmanları keserek yerleştirilir. Topukta yatay drenle bağlantısı yapılarak suların tahliyesi sağlanır. Düşey kolonlar yerleştirildikten sonra borular

malzeme ile doldurulduğu için kolon çevresinde zeminin sıkıştırılmasını ve yanal gerilmeyi artırarak avantaj sağlar (Duncan, Wright ve Brandon, 2014).

4.2. Payanda Dolgusu ve Kazı

Bir şevin eğimi, yüksekliği değiştirilerek duraylılığı artırılabilir. Eğimin ve yüksekliğin azaltılması kesme gerilmesini azaltır dolayısıyla güvenlik katsayısını artırmış olur. Şevin tepe kısmında yapılacak herhangi bir kazı şev için faydalı bir durumdur. Şev üzerinden gelen yük azaltılmış olur. Payanda dolguları şev tabanına destekler biçimde eklenir. Şeve ağırlık sağladığı için kesme gerilmelerini azaltır.

4.3. Güçlendirme Kazıkları

Şev güçlendirmede kayan kütleyle geçerek daha derinde olan sağlam zemine sabitlenen kazıklar da kullanılabilir. Herbir kazık arasındaki mesafe arada kalan zeminin kaymasına izin vermeyecek aralıktadır. Bu durum şevin kaymasına karşı etkin bir önlem olur. Şevi stabilize etmek için gerekli kuvvet belirli büyüklükteki bir dış kuvvetin hesaba dahil edilebildiği herhangi bir şev stabilite analizi kullanılarak hesaplanabilir. Gerekli kuvvetin büyüklüğü, istenen emniyet katsayısı elde edilene kadar kuvvetin büyüklüğünü değiştirmek koşuluyla tekrarlı denemelerle elde edilir. Yeni kuvveti kullanan her analizde kritik kayma yüzeyinin yeri bulunur. Bu kritik kayma yüzeyi, stabilize edici kuvvet kullanılmadığı zamanki kritik yüzey ile aynı olmasa da ona çok yakın olur (Duncan, Wright ve Brandon, 2014).

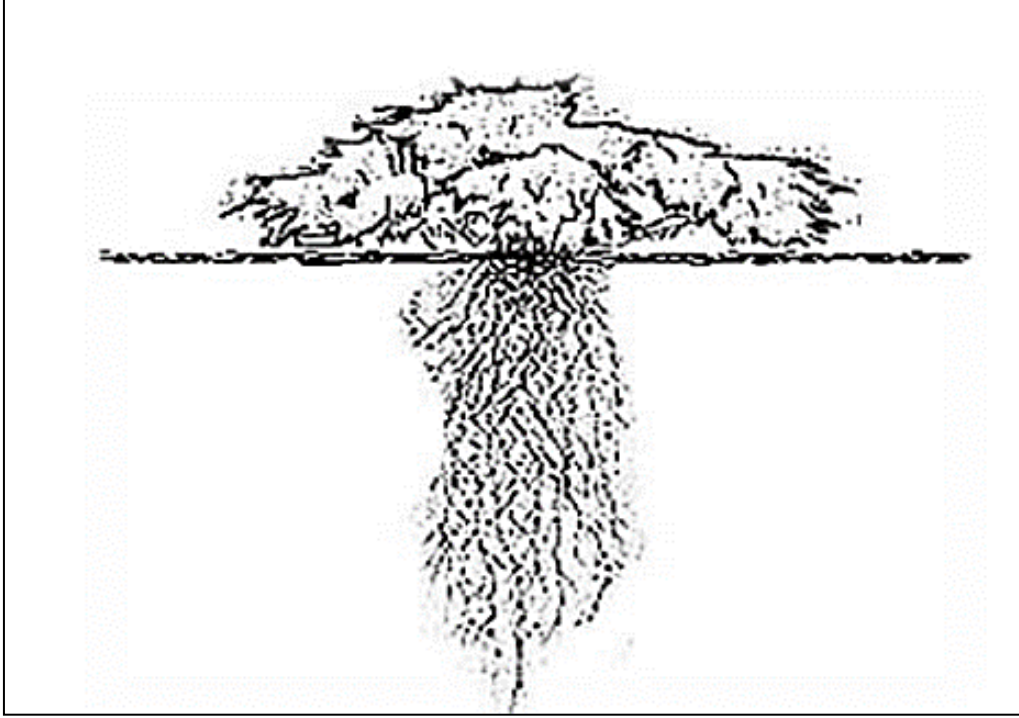
4.4. Enjeksiyon Yöntemleri

Şev içerisine yerleştirilen sondajlarla zemine kireç, çimento gibi dayanımını artıracak malzemeler enjekte edilir. Düşük maliyetlidir. Enjekte edilen malzeme zemin ile etkileşime girerek iyileştirilmiş olur.

4.5. Bitkilendirme

Şevlerde uygulanan bitkilendirme çalışmaları erozyona ve kaymaya karşı korur. Bitkilerin kökleri zemine tutunduğu için kayma ya karşı stabilitesini artırmış olur. Kökleri ile suyu çektiği için şeve ek fayda sağlar. Bitkilendirme sisteminin yapısal sistemlere karşı tercih

edilmesinin en önemli sebepleri; doğal olmaları, estetik görünmesi, ekonomik olmaları sayılabilir (Arkun, Ergen ve akır, 2014).



Resim 4.1. Bitki kök yayılımı (Arkun, Ergen ve akır, 2014)

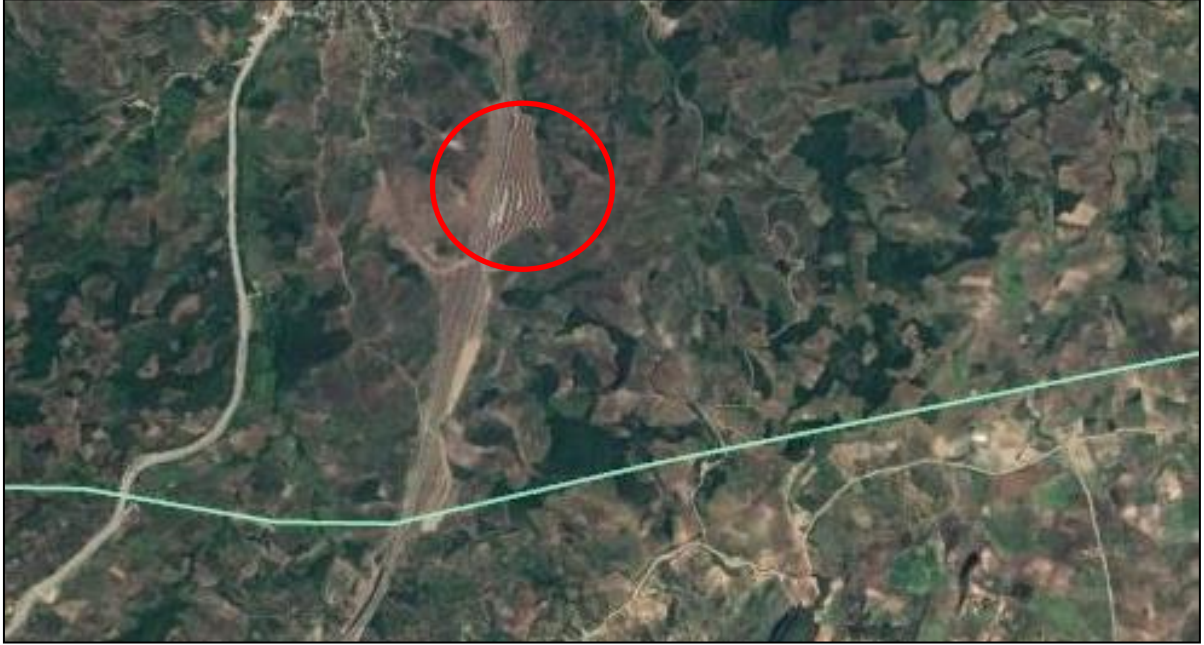
5. VAKA ANALİZİ

Bir otoyol projesinde yarma şevlerinde yol yapım çalışmaları tamamlanmadan önce hareketlilikler meydana gelmiştir. Yol güzergahına ait inceleme alanı uydu görüntüsü şekil 20' de gösterilmektedir. İlgili kilometrelerde meydana gelen yüzeysel deformasyonlar neticesinde daha önceden yapılan istifsiz taş dolgu yüzeylerinde çatlaklar gözlemlenmiştir. Otoyolun uzun süre kalıcı olarak hizmet verebilmesi için söz konusu çatlaklar ve deformasyonlar incelenerek analizler yapılmış ve güçlendirmeye ihtiyaç duyulmuştur.

Otoyolun sol tarafında yaklaşık 200 metrelik kısmında 7 palyeli yüksek yarmalı şevler bulunmaktadır. Heyelan bölgesi olması sebebiyle ve yağışların da etkisiyle zaman zaman bazı şevlerde hareketlilikler oluşmuştur. İlk saha çalışmaları sırasında gözlemlenen hareketlilikler ve inklinometreden okunan değerler incelenerek gerekli analizler yapılmış, güvenlik katsayılarının yeterli çıkması sebebiyle şev eğimlerinin artırılması ve taş dolgu yapılması çözüm olarak getirilmiştir. İlgili yarmalarda harçlı taş pere kaplanmadan önceki süreç incelendiğinde, yol yapım çalışmaları tamamlanmadan önce de şev hareketliliklerinin meydana geldiği bilinmektedir. Bu şev hareketlilikleri incelendiğinde stabilite analizleri yapılarak güvenlik katsayısının yeterli olması sebebiyle ($G. S=1.8$) güçlendirme çalışmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Şev hareketlerinin sebebi olarak yarma kazısı sırasında kalmış bulunan gevşek heyelan malzemesinin yağışların etkisiyle olduğu değerlendirilmiştir. Çözüm olarak 5., 6. ve 7. Yarma şev eğimleri azaltılarak 2 yatay 1 düşey şev eğiminden 2.5 yatay 1 düşey olarak düzenleme yapılmıştır. Düzenlenen şevlerde kum tabakasına gelen suları drene etmek için barbakanlar kullanılmış bu barbakanlardaki suların palye hendeklerine şeve zarar vermeden drene olması için de harçlı taşpere ile kaplaması yapılmıştır. Taş pere uygulaması sonrası hareketlilikler devam etmiş, taş pere yüzeyinde çatlaklar gözlemlenmiştir. Taş dolgudan önce yapılan sıyırma kazısı lineer yapılmadığından çukur noktalar oluşmuştur. Dolayısıyla çukur noktalarda birikecek suların tahliyesinin mümkün olmayacağı anlaşılmıştır. Biriken bu suların kil zeminlerin kontağında zayıf bir zon oluşturması muhtemel görülmüştür. Kalıcı çözüm için güçlendirme çalışmaları yapılmıştır. Güvenlik katsayısı 1 kabul edilerek zemin parametreleri ele alınmış ve geri hesap yöntemi kullanılarak Slide programında modelleme yapılmıştır. Göçme durumundaki parametreler bulunarak iyileştirme projesi hazırlanmıştır.

5.1. İnceleme Alanı Yeri

Uydu görüntüsü Harita 5.1 'de verilmiştir.

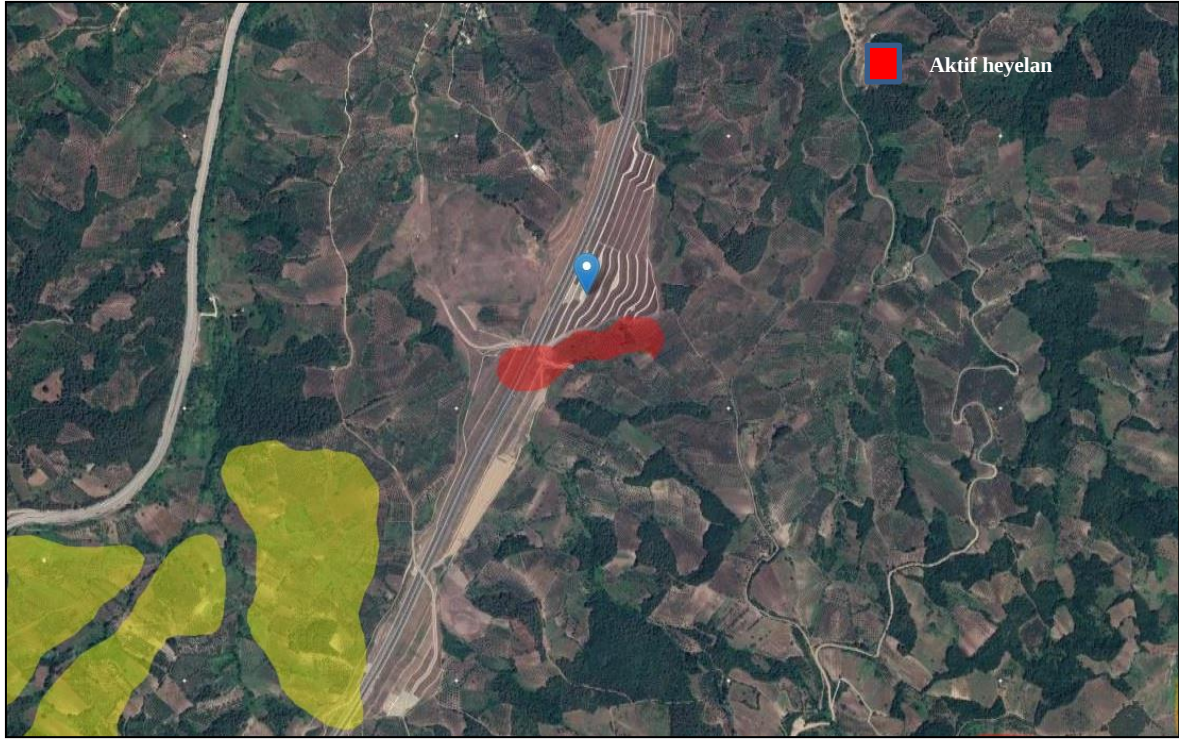


Harita 5.1. İnceleme alanı uydu görüntüsü (Google Earth, 2017)

5.2. İnceleme Alanı Jeolojisi

İnceleme alanı jeolojisi Dürdane Formasyonudur. Genel olarak kırmızımsı kahve – yeşilimsi gri renkli, üst seviyelerde genelde orta derecede – çok ayrılmış, yer yer tamamen ayrılmış, zayıf–çok zayıf dayanımlı, çok çatlaklı-kırıklı-parçalanmış, alt kısımlarda ise; orta derecede–çok ayrılmış yer yer az ayrılmış, zayıf–çok zayıf dayanımlı, kırıklı özellik gösteren Kıltaşı yer yer de Kumtaşından oluşmaktadır. Yeraltı suyu sondajlarda çıkmamıştır.

İnceleme alanı heyelan envanteri şekil 5.2’de görüleceği üzere aktif heyelan bölgesidir.



Harita 5.2. Heyelan envanteri haritası (MTA Yerbilimleri Portalı, 2022)

5.3. Depremsellik

İnceleme alanı olan bölge Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı tarafından yayınlanan Türkiye Deprem Tehlike Haritası ve parametre değerlerine göre en büyük yer ivmesi katsayı $PGA=0,410g$ olarak bulunmuştur (AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, 2018).

5.4. İnceleme Alanında Yapılmış Araştırma Çalışmaları

İnceleme alanında meydana gelen stabilite hareketleri ile ilgili olarak zemin koşulları, inklinometre değerleri ve laboratuvar deneyleri incelenmiştir.

Proje alanında incelenen lokasyonda bir adet 67 m derinlikli zemin etüt sondajı yapılmıştır.

Sondaj logunda, yüzeyden yaklaşık 5 m derinliğe kadar siltli kil birimi, kırmızımsı kahverenkli ile kahverenkli, çok zayıf – zayıf dayanımlı, orta ayrılmış yer yer kil dolgulu kıltaşı birimler rapor edilmiştir. Kıltaşı birimler içerisinde değişken derinlerde yer yer Kumtaşı seviyeleri yer almaktadır.

İlgili lokasyonda yapılan deneylerin özet tablosu aşağıda verilmiştir.

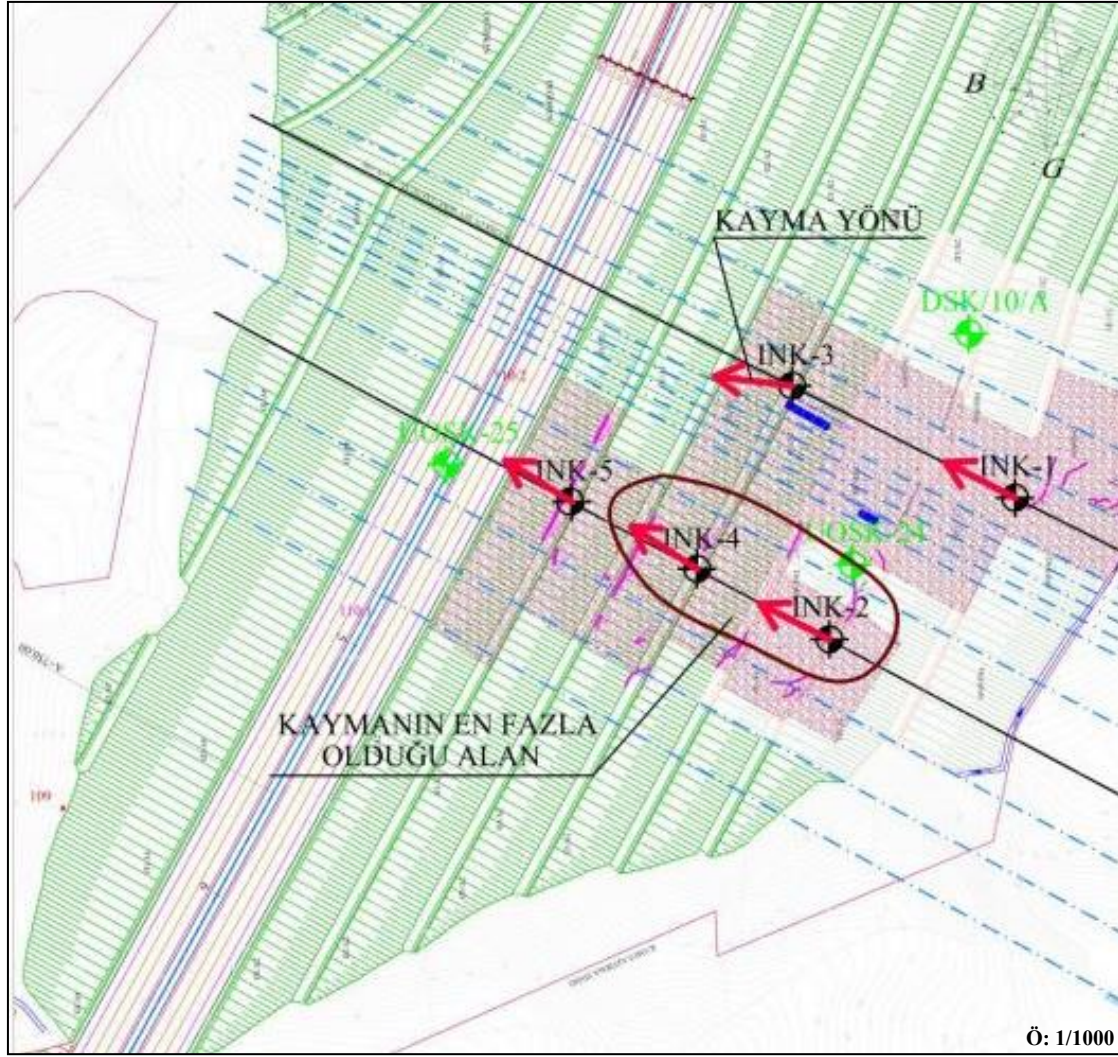
Çizelge 5.2. Deneylerin özet tablosu

Deneyin Adı		min	ortalama	max
Su Muhtevası	$W_n(\%)$	2,71	5,57	13,29
Doğal Birim Ağırlık	$\gamma_n \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	2,11	2,43	2,67
Kuru Birim Ağırlık	$\gamma_d \text{ (gr/cm}^3\text{)}$	1,94	2,32	2,6
Nokta yükü Dayanımı	$L_s \text{ (MPa)}$	0,02	0,62	1,33
Tek eks. Basınç Deneyi	$q_u \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	6,12	186,57	524
Üç eks. Basınç Deneyi	$C \text{ (kg/cm}^2\text{)}$ $\phi \text{ (}^\circ\text{)}$	11,1 4	39,91 27	93,7 44
Elastisite Modülü	$E \text{ (GPa)}$	3,79	7,39	14,52
Poisson Oranı	ν	0,22	0,28	0,33

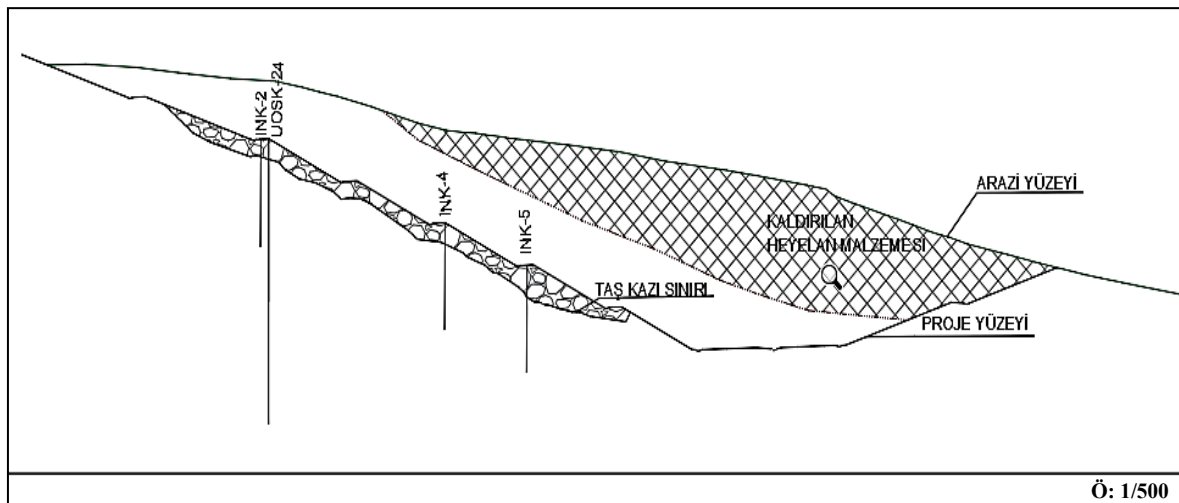
Kayma düzleminin derinliğini, hareket yönünü ve hızını belirlemek için sol yarmada her biri 25 m derinliğinde 5 adet sondaj açılarak her birine inklinometre yerleştirilmiştir. Çizelge 5.2’de sondaj bilgileri, şekil 5.1’de yol kesiti üzerinde konumları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Sondaj bilgileri

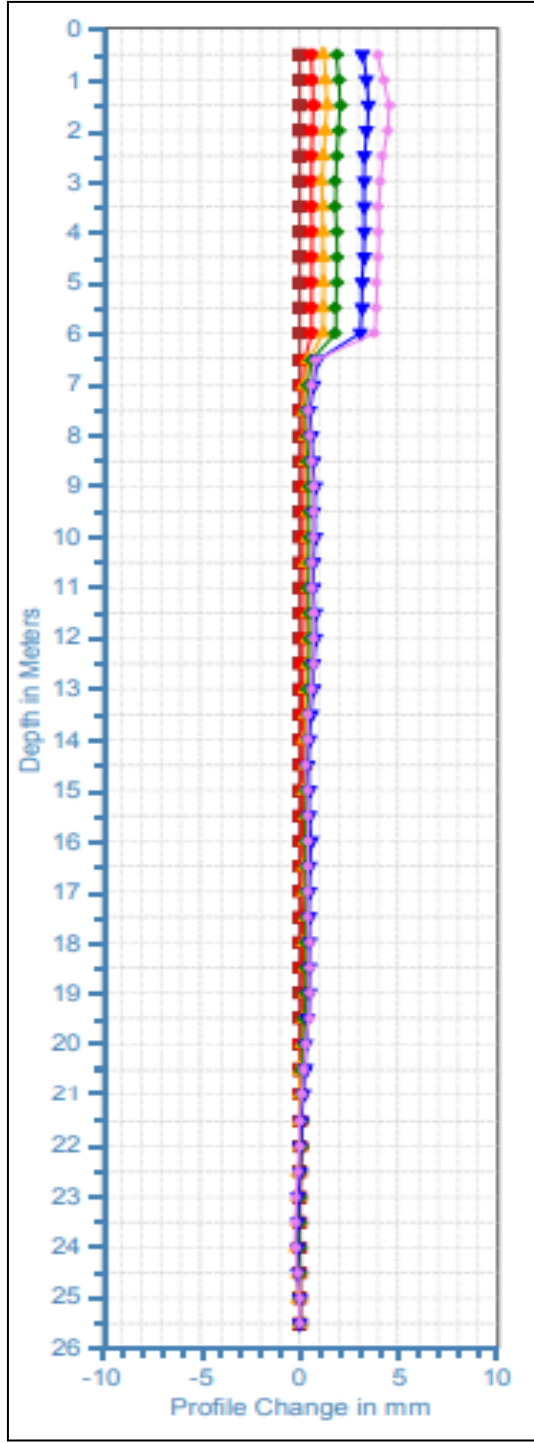
Kuyu No	Kot (m)	Yeri	Derinlik (m)
İNK-1	225.95	6. Palye	25.00
İNK-2	218.69	5. Palye	25.00
İNK-3	196.95	3. Palye	25.00
İNK-4	199.28	3. Palye	25.00
İNK-5	179.61	1. Palye	25.00



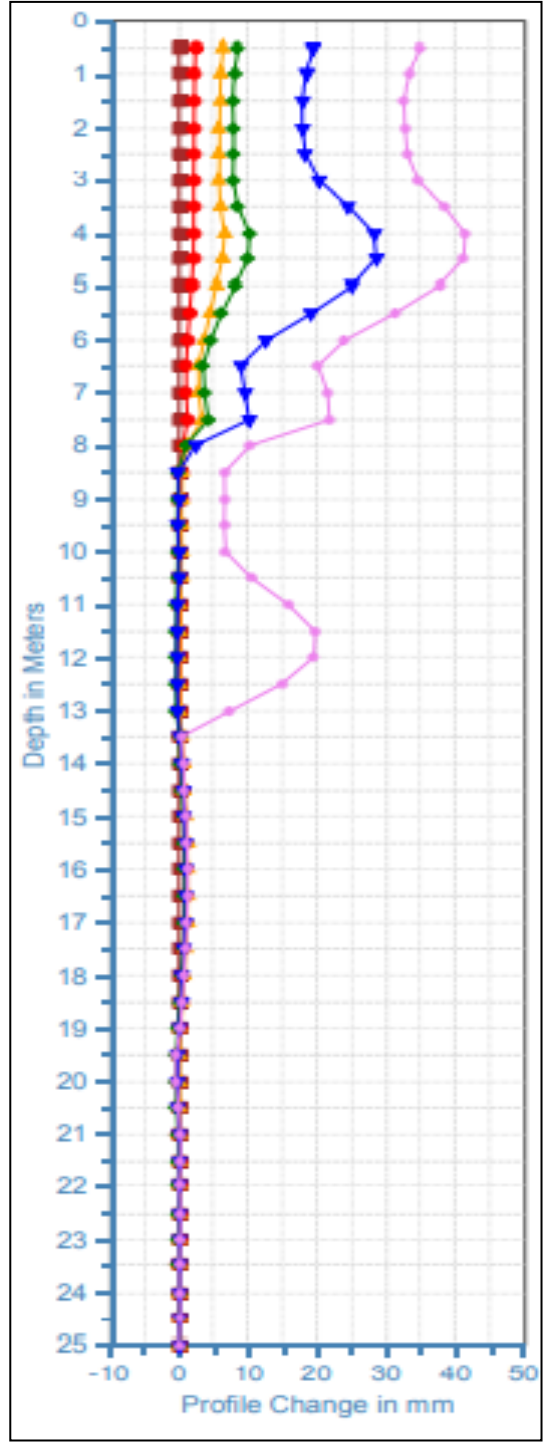
Resim 5.2. Sondaj lokasyonları



Şekil 5.1. Sondaj lokasyonlarının görüldüğü anayol kesiti

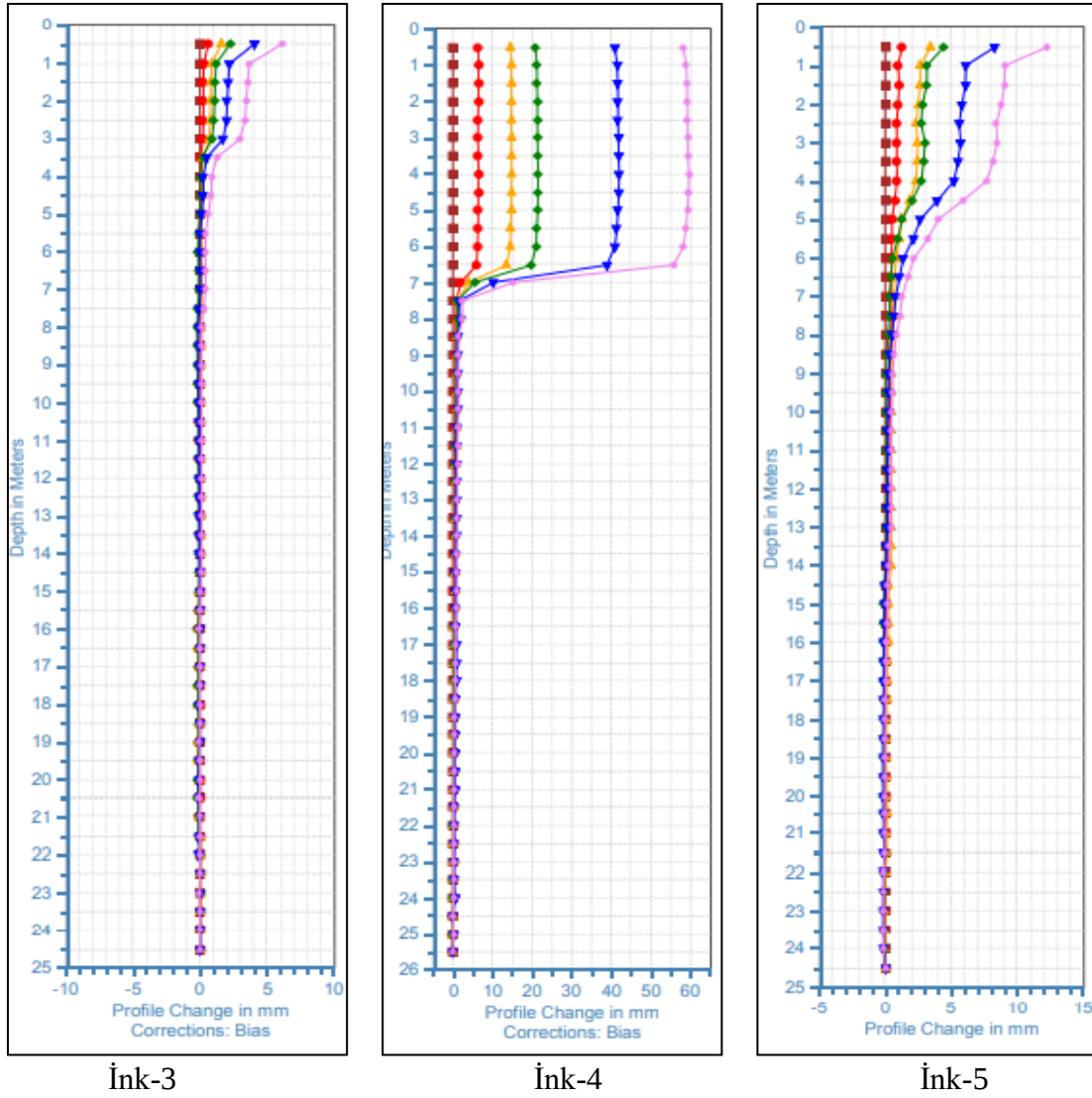


İnk-1



İnk-2

Şekil 5.2. İnklinometre 1,2 ölçüm grafiği



Şekil 5.3. İnklinometre 3,4 ve 5 ölçüm grafiği

Sondajlara yerleştirilen inklinometrelerden belirli aralıklarla ölçümler yapılmış ve ölçümler sonrası zayıflamış zon üzerindeki taş dolgunun hareket ettiğini değerlendirilmesi yapılmıştır. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 'te verilen 5 sondajdaki inklinometre ölçümleri incelendiğinde en çok belirgin hareketliliğin 4 numaralı inklinometrede olduğu görülmektedir. Bu inklinometrede sondaj eksenindeki düşey sapma miktarı yaklaşık 60 mm'dir.

5.5. Şevlerde Gözlemlenen Hareketliliklerin Değerlendirilmesi

Kritik noktalardan alınan kesitler incelendiğinde taş dolgu yapılırken uygulanan sıyırma kazısının doğrusal olmadığı için değişken derinliklerde taş dolgu yapıldığı görülmüştür. Taş dolgunun tabanının çukurlaştığı bölgelerde de sular biriktiği için drenajının mümkün

olmadığı anlaşılmıştır. Bu suların etkisiyle taş dolgu ile tabandaki kil zeminleri arasında zayıf zon oluşacaktır. Saha gözlemlerine göre Resim 5.4'te görüleceği üzere taş dolgu yapılmayan şevlerde bir hareketliliğin olmaması zayıf zon nedeniyle taş dolgularda deformasyonların oluştuğunu desteklemiştir.



Resim 5.3. İnceleme alanı görüntüsü

Söz konusu bölge heyelan bölgesidir. Kıltaşı - kumtaşı araldanmasından oluşan bu birimde heyelanın genel mekanizması suyu iletebilme özelliği olan kumtaşlarının, geçirimsiz kıltaşlarının eğimin ve üzerindeki kütlelerin de etkisi ile kaymasıyla meydana gelmektedir.

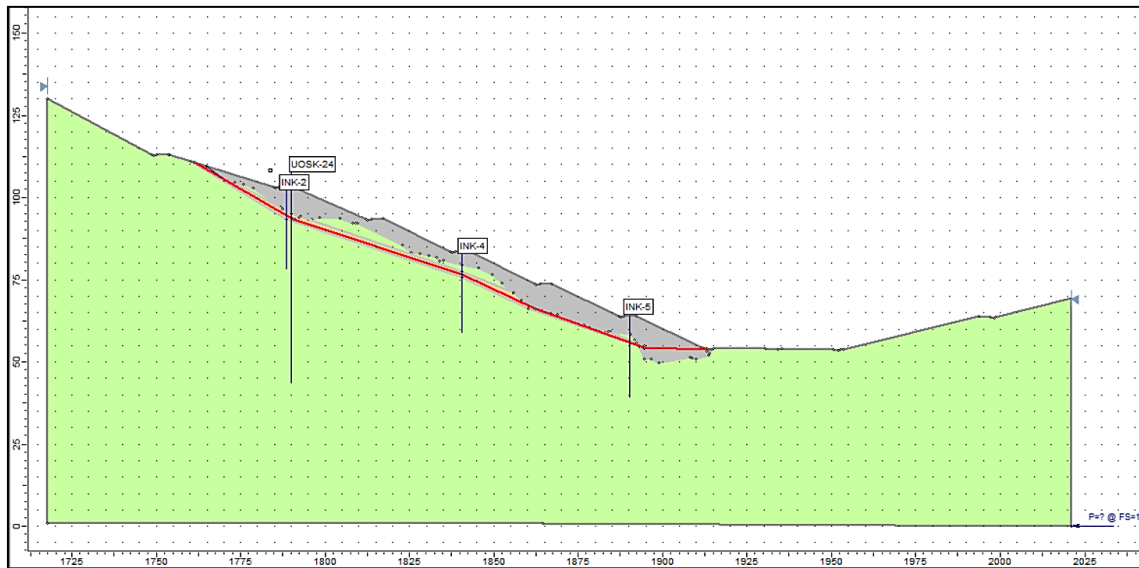
Şevlerde meydana gelen hareketlilikler limit denge analiz yöntemlerinden geri analiz yöntemi ile incelenerek aşağıdaki başlıkta değerlendirmeler gösterilmiştir.

5.6. Limit Denge Analizleri

Stabilite analizleri kapsamında öncelikli olarak kritik kesit belirlenmiştir. Kritik kesitin seçiminde inklinometre okumaları, arazi gözlemleri, bölgeye ait tabaka özellikleri etkili olmuştur. En fazla düşey sapma gösteren 4 numaralı inklinometrenin bulunduğu kilometre arazi durumu da göz önünde bulundurularak kritik kesit olarak kabul edilmiştir. Kritik kesit üzerinden şev geometrisi ve özellikleri “Slide” programına girilerek Şekil 5.4’te görüleceği üzere model oluşturulmuştur.

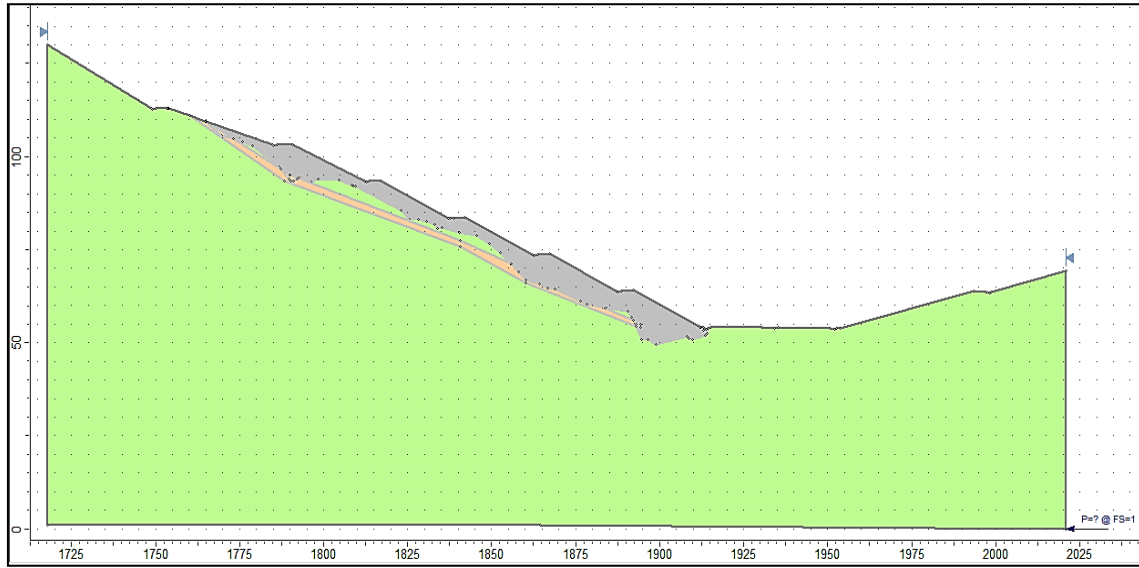
Slide programında analiz yapılırken öncelikle “Analysis” kısmında bulunan “Project Setting” bölümünde şevin kayma yönü, kullanılacak olan ölçü birimi ve limit denge analiz yöntemi ayarları yapılmıştır. Sonrasında model oluşturularak “Properties” kısmında “Define Material” bölümünden malzemelerin özellikleri girilmiştir. Kıl taşı için birim hacim ağırlık 22 kN/m^3 , kohezyon 25 kN/m^2 ve içsel sürtünme açısı 29° olarak girilmiştir. Taş dolgu için birim hacim ağırlık 23 kN/m^3 , kohezyon 1 kN/m^2 ve içsel sürtünme açısı 38° olarak girilmiştir. “Surface” kısmından kayma yüzeyinin tipi ve metodu girilmiştir. Güvenlik katsayısının 1 olduğu durumu bulabilmek için deneme-yanılma yöntemi ile değerler girilmiştir.

Kayma yüzeyinin belirlenirken inklinometrelerdeki maksimum deplasmanların olduğu noktalar belirlenmiş ve kayma yüzeyi olarak tanımlanmıştır.



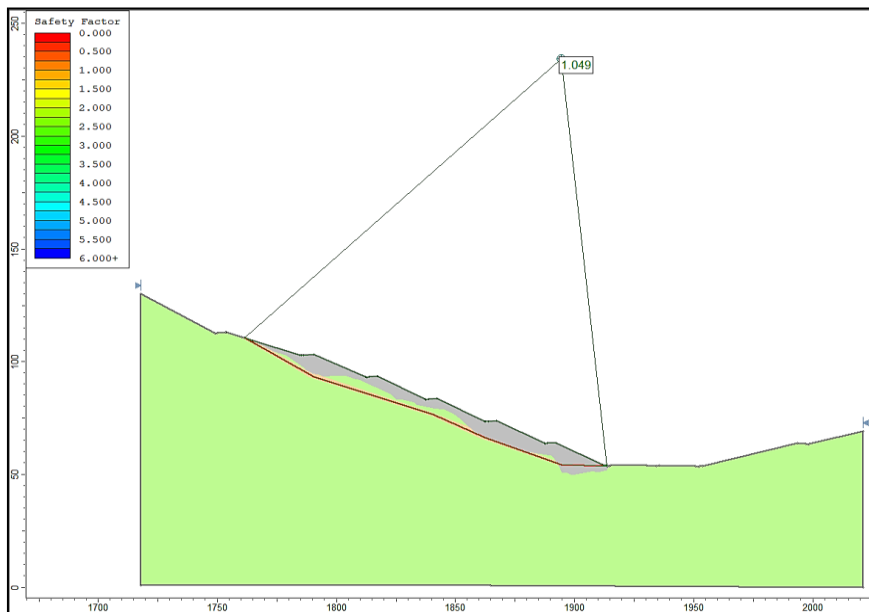
Şekil 5.4. Slide programında kayma yüzeyinin belirlenmesi

Geri analiz yönteminde göçme anında şev modelinin güvenlik katsayısının yaklaşık “1” olduğu durumdaki kayma parametreleri bulunur. Kayma yüzeyi için yenilme şekli “non-circular” seçilmiştir. Sebebi ise inklinometrelerin modele işlendiğinde maksimumu deplasmanların olduğu noktalar birleştirildiğinde dairesel bir yüzey elde edilememesidir. Kayma yüzeyi methodu olarak her seçenek değerlendirilmiş daha hassas ölçüm yaparak en düşük güvenlik katsayısını verdiği için “simulated annealing” methodu seçilmiştir.



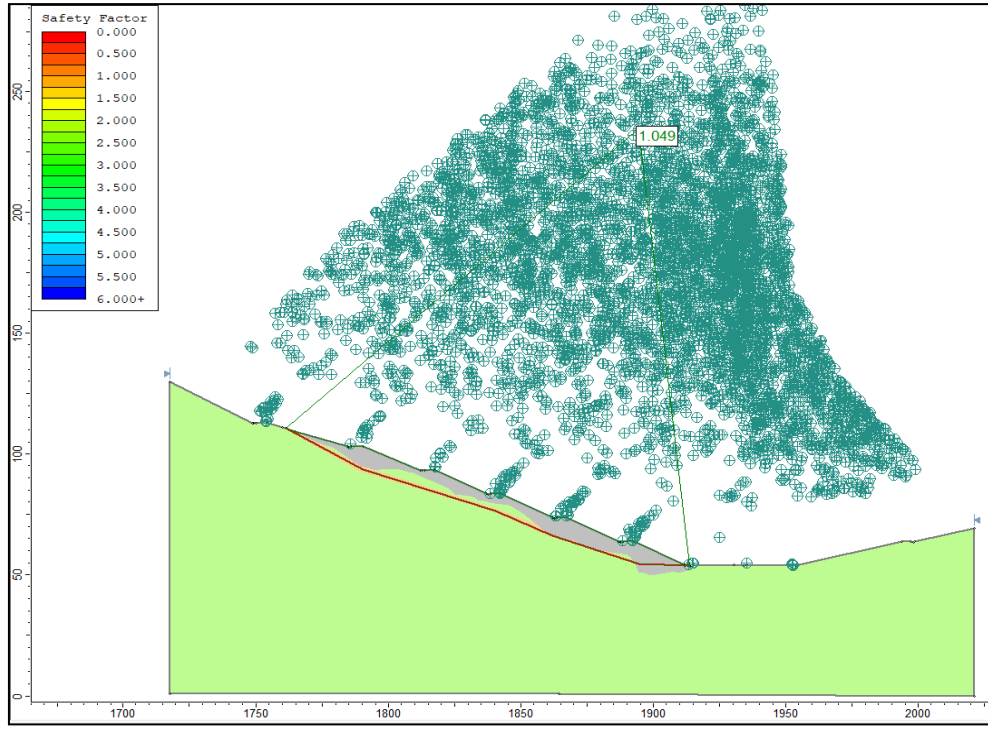
Şekil 5.5. Geri hesap yönteminin modele uygulanması

“Block Search” seçildiğinde güvenlik katsayısı;



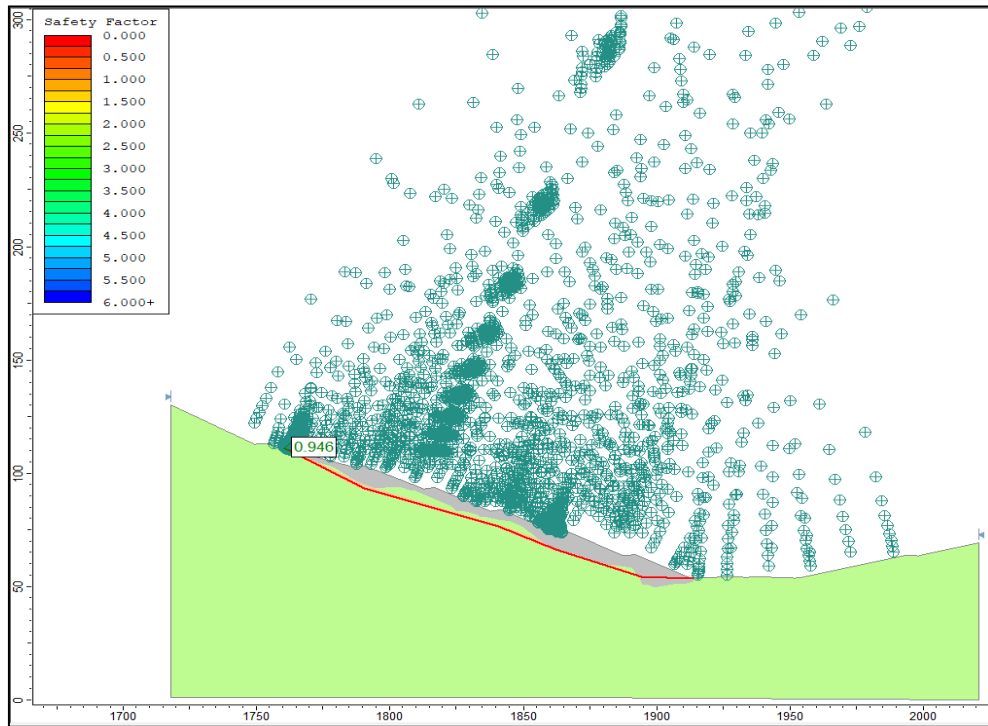
Şekil 5.6. Blok Search metodunda güvenlik katsayısı

“Path Search” seçildiğinde güvenlik katsayısı;



Şekil 5.7. Path Search metodunda güvenlik katsayısı

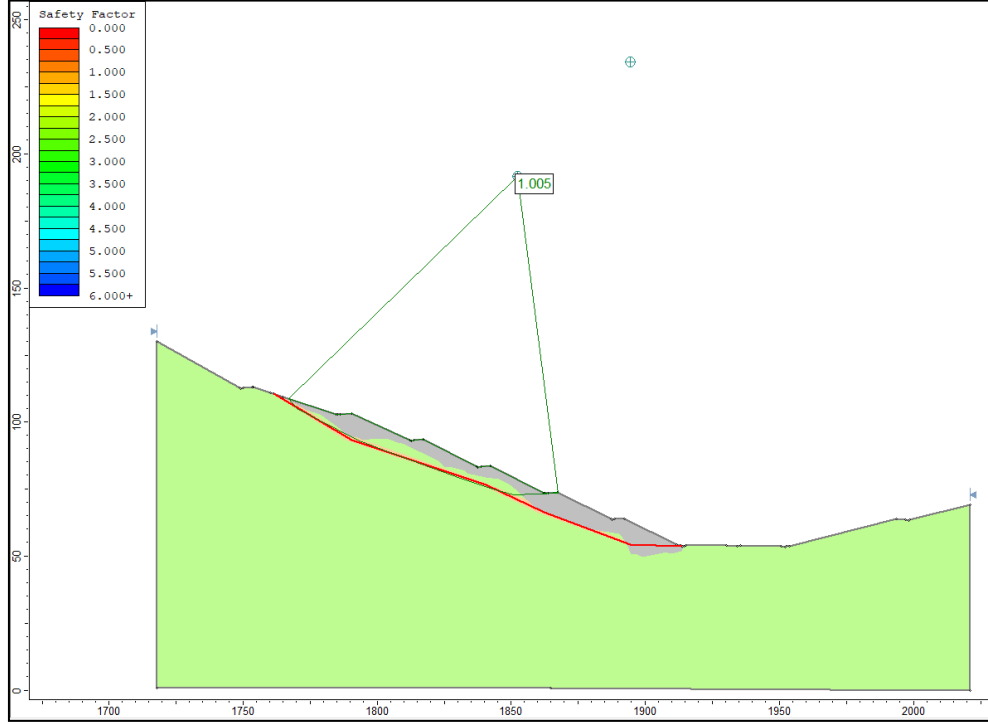
“Auto Refine” seçildiğinde güvenlik katsayısı;



Şekil 5.8 Auto Refine metodunda güvenlik katsayısı

Auto Refine methodu lokal olarak düşük güvenlik katsayısı verdiği için ve modelin tamamını kapsamadığı için tercih edilmemiştir.

Simulated Annealing seçildiğinde;



Şekil 5.9. Simulated Annealing metodunda güvenlik katsayısı

Simulated Annealing metodunda güvenlik katsayısı 1.005 bulunmuştur. Saha gözlemlerinde topuk kısmında göçme olmaması sebebiyle kayma dairesinin ilk 2 palyeyi kapsamaması uygun olarak kabul edilmiştir. Kaymanın meydana geldiği bölgede c ve ϕ (c : kohezyon, ϕ : içsel sürtünme açısı) değerleri deneme-yanılma yöntemi ile bulunmuştur. Güvenlik katsayısının 1.0 olduğu durum Şekil 5.9'da verilmiştir. Bu durumda elde edilen kayma yüzeyi parametreleri $c:0$ kPa ve $\phi:17$ olarak bulunmuştur

Geri analiz sonrası kayma yüzeyi parametreleri;

$\gamma : 20$ kN/m³

$c : 0$ kPa

$\Phi_r' : 17$ olarak bulunmuştur.

Elde edilen bu parametreler doğrultusunda deprem durumundaki güvenlik katsayıları incelenmiştir.

5.6.1. Deprem katsayılarının hesaplanması

Afet ve Acil Durum Yönetmeliği Başkanlığı tarafından yayınlanan 2018 yılındaki Türkiye Deprem Tehlike Haritaları verilerine göre inceleme alanı için deprem veriler bulunmuştur. Elde edilen verilerle Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'ndan "Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği" Ek2'de verilen "Geoteknik Konular" kısmından yatay ve düşey deprem katsayıları hesaplanmıştır.

Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden alınan verilere göre ivme katsayıları aşağıda verilmiştir (AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması, 2018).

İnceleme alanı lokasyonun koordinatları, yerel zemin sınıfı verileri girilmiştir.

Yerel Zemin Sınıfı: ZE

Deprem Yer Hareketi Düzeyi: DD-2 (50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi) alınmıştır (Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği , 2020).

Sistemden alınan veriler aşağıda verilmiştir.

Çıktılar			
$S_S = 0.976$	$S_1 = 0.258$	$S_{DS} = 1.092$	$S_{D1} = 0.777$
$PGA = 0.410$	$PGV = 24.991$		
S_S : Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_1 : 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
S_{D1} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]			
PGA : En büyük yer ivmesi [g]			
PGV : En büyük yer hızı [cm/sn]			

Şekil 5.10. Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması üzerinden alınan veriler

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı'ndan "Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği" Ek2'de verilen "Geoteknik Konular" kısmında verilen formüllere göre deprem katsayıları hesapları aşağıda verilmiştir.

$$k_{\max} = F_{\text{PGA}} \times (\text{PGA}/g) \quad (\text{Denklem 5.1.})$$

$$k_h = 0,5 \times \alpha \times k_{\max} \quad (\text{Denklem 5.2.})$$

$$\alpha = 1 - 0,0328H(1-0,5\beta) \quad (\text{Denklem 5.3.})$$

$$\beta = F_1 \times S_1 / k_{\max} \quad (\text{Denklem 5.4.})$$

$$S_1 = 0,258$$

Geoteknik Konular Tablo 2.2.'de verilen tabloya göre $F_1 = 3,1$ bulunmuştur.

Geoteknik Konular Tablo 2.1.'de verilen tabloya göre de $F_{\text{PGA}} = 0,410$ bulunmuştur.

Bu verileri formüllerde yerine yazdığımızda;

$$k_{\max} = 1,4 \times (0,410 / 9,81) = 0,042$$

$$\beta = (3,1 \times 0,258) / 0,042 = 19,043$$

$$\alpha = 1 - 0,0328 \times 30 \times (1 - 0,5 \times 19,043) = 9,38$$

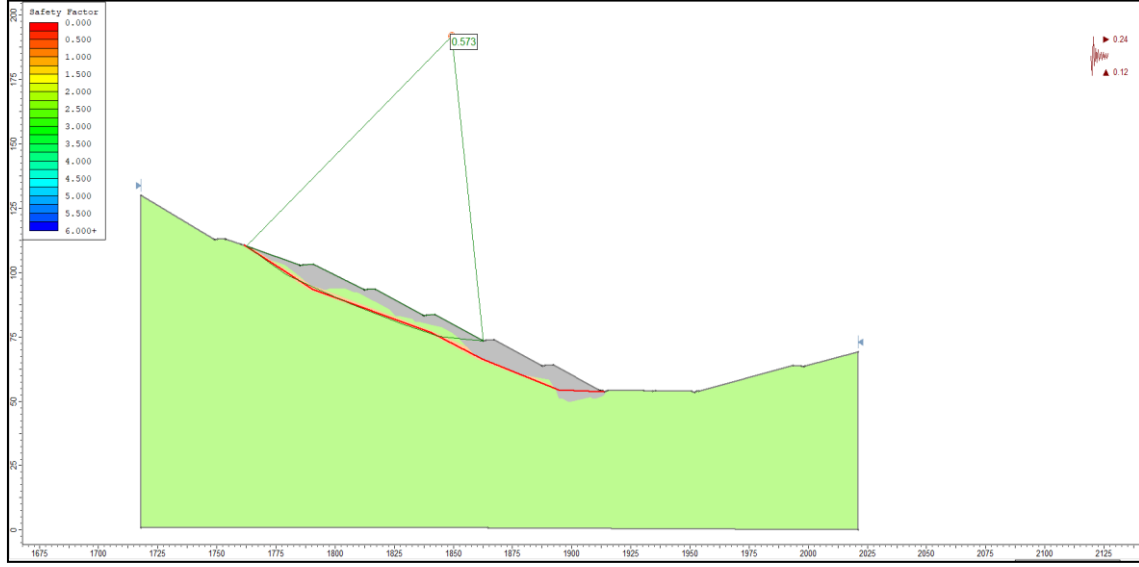
$$k_h = 0,5 \times 9,38 \times 0,042 = 0,196 \sim 0,2$$

Yönetmelikte belirtilen 30m'den yüksek şevlerde k_h değerine topografik büyütme faktörü uygulanması ile ilgili $S_t = 1,2$ alınması gerektiği belirtilmiştir.

Bu sebeple $K_h = 0,2 \times 1,2 = 0,24$ olarak hesaplanmıştır.

$$k_v = 0,5 \times 0,24 = 0,12 \text{ olarak bulunur.}$$

Kh ve Kv deprem yatay ve düşey eşdeğer deprem katsayıları Slide programına girilerek deprem durumundaki analiz yapılmıştır.



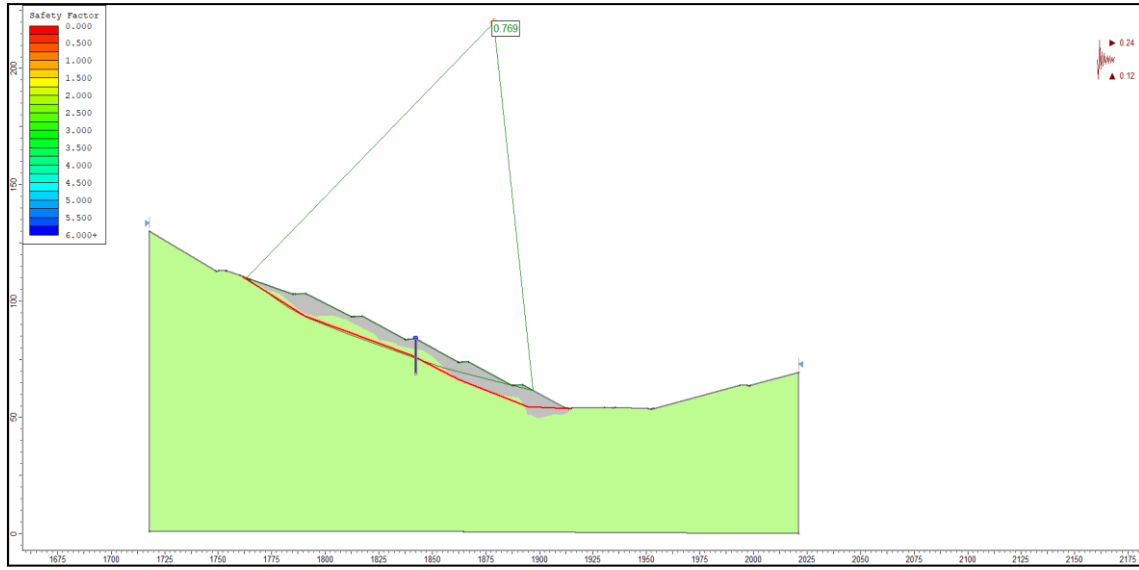
Şekil 5.11. Deprem durumundaki güvenlik katsayısının bulunması

Şekil 5.11 ‘de görüleceği üzere deprem durumunda güvenlik katsayısı $GK=0,573$ olarak bulunmuştur.

Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı’ndan “Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği” Ek2’de verilen “Geoteknik Konular” kısmında şevin deprem durumunda stabilite olması için güvenlik katsayısının 1.1 olması gerektiği belirtilmiştir. Güvenlik katsayısının 1.1 olması için şev güçlendirme çalışması yapılmıştır. Şevi güçlendirebilmek için kazık kullanılmıştır. Kazıklar şevlere önce teker teker yerleştirilmiştir. İlave kazıklar ise her aşamadaki güvenlik katsayısı kontrolleri yapılarak gerekiyorsa eklenmiştir.

Kazık kapasitesi olarak 2850 kN baz alınmıştır. Bu değer 165 cm çapındaki bir kazığın beton ve donatı kapasitesini ifade etmektedir. Yeterli soket yapıldığında ve kazıkta yeterli seviyede deformasyon olduğunda kazıkların bu kapasiteyi zemine uyguladıkları düşünülmüştür.

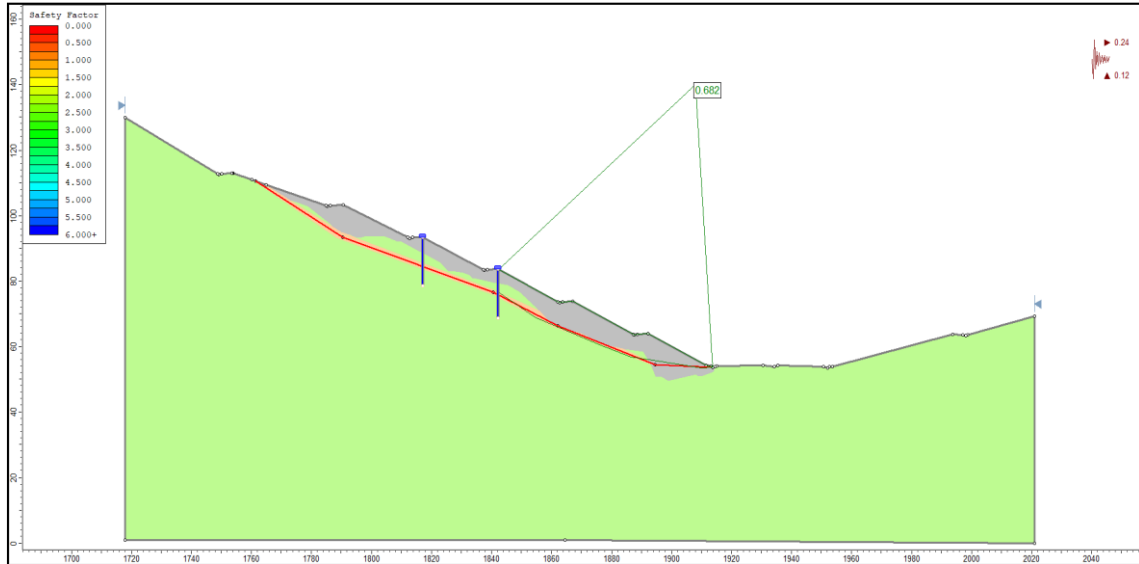
1. Aşama olarak 3. Palyeye kazık yerleştirilmiştir.



Şekil 5.12. 3. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısı $0,769 \leq 1,1$ olduğundan deprem durumu için yetersizdir.

2. Aşama olarak 4. Palyeye kazık yerleştirilmiştir.

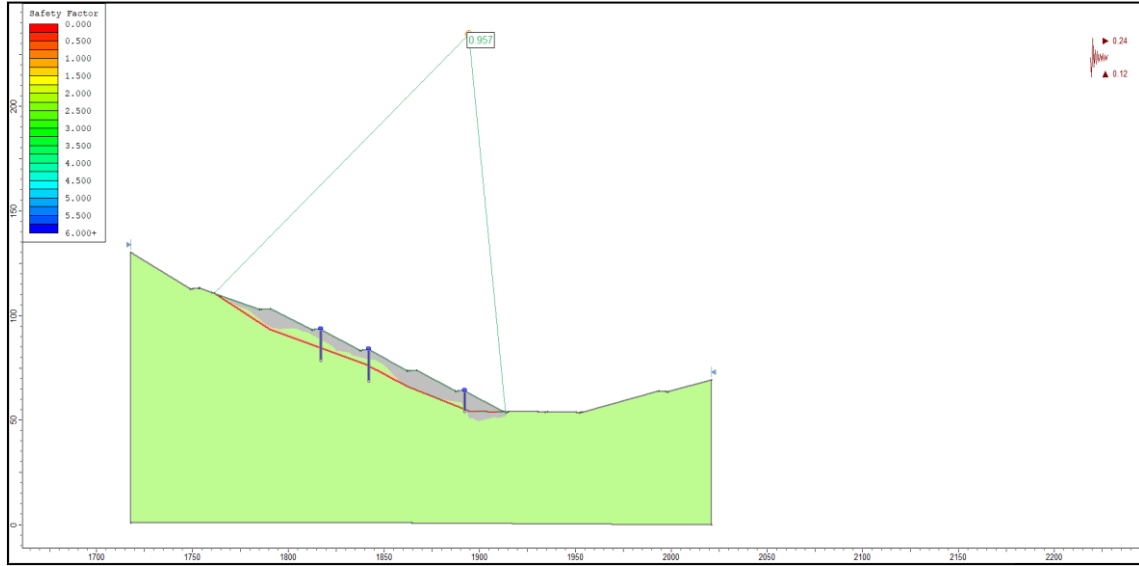


Şekil 5.13. 4. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısı $0,682 \leq 1,1$ olduğundan deprem durumu için yetersizdir.

Bu durumda minimum güvenlik katsayısını ilk 3 şev üzerinde çıktığı için o bölgeye kazık eklenmiştir.

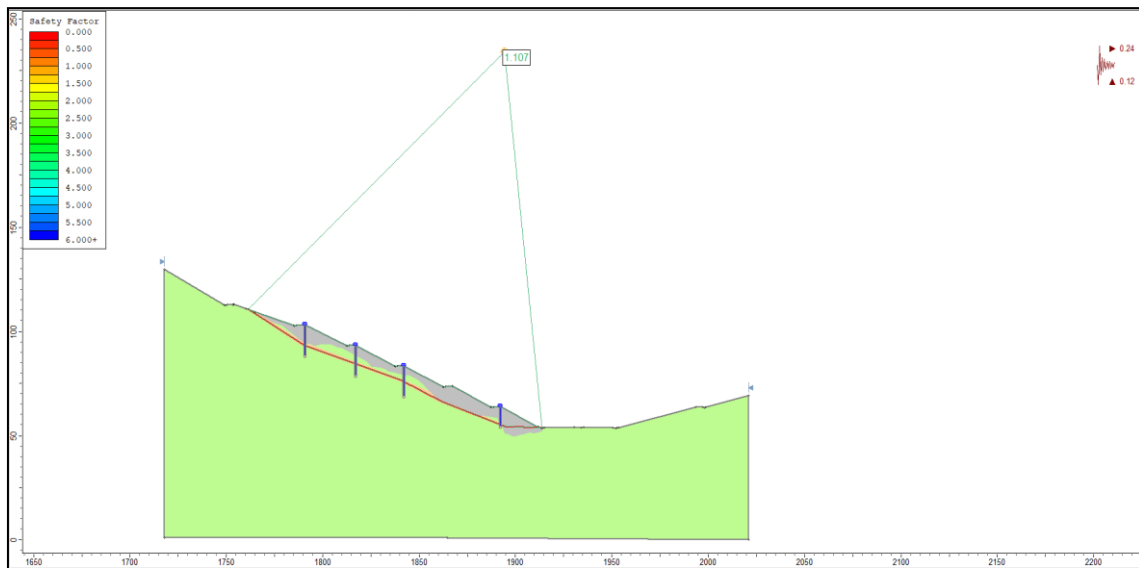
3. Aşama olarak 1.palyeye kazık yerleştirilmiştir.



Şekil 5.14. 1. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısı $0,957 \leq 1,1$ olduğundan deprem durumu için yetersizdir.

4. Aşama olarak 5. Palyeye kazık eklenmiştir.

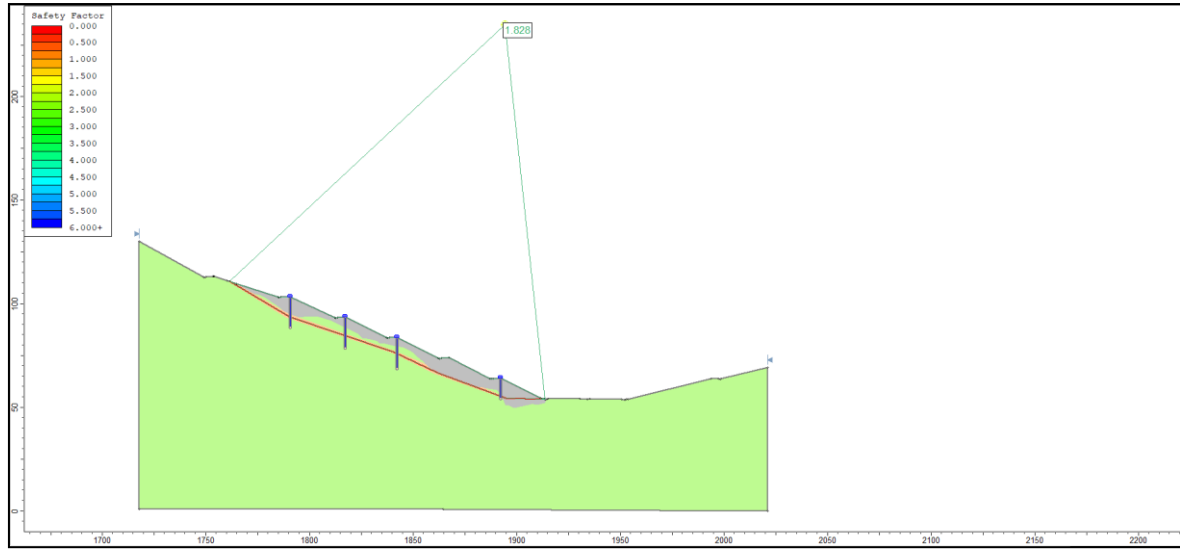


Şekil 5.15. 5. Palyeye kazık eklenme durumundaki güvenlik katsayısı

Güvenlik katsayısının 1.107 çıkması sebebiyle şev deprem durumunda güvenli hale getirilmiştir.

Şevin deprem durumunda güvenli olabilmesi için 1., 3., 4. ve 5. palyelerine kazık gerektiği görülmüştür.

Deprem olmadığı durumdaki analiz de yapılmıştır. Güvenlik katsayısı 1,8 bulunmuştur.



Şekil 5.16. Deprem olmadığı durumdaki güvenlik katsayısı

Deprem olmadığı durumda kazıklarla şevler güçlendirildiği için şevin güvenli olduğu sonucu çıkarılmıştır.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada 7 palyeli bir otoyol şevinin daha önceden uygulanan istifsiz taş dolgu yüzeylerinde oluşan çatlaklar ve deformasyonlar incelenmiştir. Jeolojik modeli oluşturularak Slide programında geri hesap yöntemi ile kayma yüzeyi parametreleri belirlenmiştir. İlgili bölge hem heyelan hem de deprem bölgesidir. Bu sebeple ilgili lokasyonun deprem katsayıları hesaplanarak deprem durumundaki analizleri yapılmıştır. Şevin güvenli hale gelmesi ve otoyolun stabilite problemlerinden etkilenmemesi için fore kazıklar ile güçlendirme yapılmıştır. Her şevin deprem durumunda güvenli olabilmesi için kazıklar yerleştirilirken en düşük güvenlik katsayısını veren kayma yüzeyleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Aşama aşama kazıklar yerleştirilerek güvenlik katsayısı analizi yapılmıştır. Önce 3. Palyeye kazık yerleştirilmiştir. Güvenlik katsayısı hesabı yapılarak buradaki kazığın şeve etkisi değerlendirilmiş zayıf kalan bölüm tespit edilmiştir. Daha sonra tespit edilen bölge olarak 4. Palyeye kazık eklenmiştir. Bu 2 kazıkla birlikte analiz yapıldığında ilk şevlerde güvenlik katsayısının düşük kaldığı görülmüştür. Bu durum şev için güvensiz olacağından hem yola yakın olması hem de güvenlik katsayısını artırması için 1. palyeye kazık eklenmiştir. 3 farklı palyedeki kazığa göre analiz yapıldığında bu kez şevin genel olarak güvenlik katsayısının yeterli olmadığı görülmüştür. Bu nedenle 5. palyeye de kazık eklenmiştir. Son durumda güvenlik katsayısı 1,1 olarak bulunmuştur. Bu değer deprem durumu için yeterli olduğundan şev güvenli hale getirilmiştir. Analiz sonucuna göre 5 sıra kazık yapılması gerektiği görülmüştür ancak 5 Sıra kazık yapılması ekonomik açıdan uygun değildir. Bunu yapmak yerine kayan kütlenin tamamen sıyrılmasının hem ekonomik hem de şev güvenliği açısından daha uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Tasarım sırasında zemin ile ilgili öngörülen etkenler değerlendirilse bile sahada uygulama sonrası stabilite problemleri yaşanabilmektedir. Uygulama sırasında şeve büyük etkisi olan suyun şevden uzaklaştırılabilmesi için drenaj önlemleri alınarak şevler yapılmalıdır. Harçlı taş dolgu yapıldığı zaman yüzeysel çatlaklar gözlemlenebilir. Bu durum harçlı taşpere arkasındaki hidrostatik basıncın arttığını gösterir. Harçlı olmayan taş dolgular geçirimlidir dolayısıyla çukur noktalarda biriken sular tahliye edilemez ise şevde deformasyona sebep olabilir. Yağışların etkisiyle boşluk suyu basıncının artarak efektif gerilmenin düşmesine sebep olabilir. Her iki taş dolgu uygulamasında da sıyırma kazısının lineer şekilde olması ve drenajın göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Yol dolgusu yapıldıktan sonra taş dolgu üzerine yapılırken palye hendeklerinden kaynaklı çukur noktalar da göz önünde

bulundurulmalıdır. Yol projesi tasarlanırken zemin koşullarına göre zemini çok fazla yarmak yerine tünel gibi yapıların yapılabilirliği de irdelenmelidir.

Bu çalışmada yüksek yarmalı bir otoyolun yapımı sırasında meydana gelen şev hareketleriyle heyelanların önemi, canlılar üzerindeki etkileri, maddi ve manevi önemi vurgulanmıştır. Şev stabilite problemlerinin yaşanmaması için ilgili bölgenin zemin koşullarının belirlenmesi, proje aşamasına ilaveten uygulamanın da önemi, drenajın şev üzerindeki etkileri araştırılarak önemli olduğuna değinilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi ile şev stabilitesi problemi incelenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda kazıklı çözüm önerisi değerlendirilmiş ve kayan kütlelerin tamamen temizlenmesinin ekonomik açıdan daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akçakal, Ö., Durgunoğlu, T., Şenol, A., ve Öztoprak, S. (2010). *Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi kullanılarak bir vaka analizi: Göktürk kayması*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onüçüncü Ulusal Kongresi, İstanbul, 1-3.
- Arkun, A., Ergen, M., ve Çakır, F. (2014). Bitki kökleriyle şev stabilizasyonunun sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmesi. *SDÜ Orman Fakültesi Dergisi* (15), 77-83.
- Arman, H., Fırat, S., Vural, İ. ve Gündüz, Z. (2009, October). Soil and foundation stability improvement by stone column: A case study in Adapazari city, Turkey. *Scientific Research and Essay* 4 (10), 972-983.
- Balkır, G. ve Balkır, T. (1975). *Yol Mühendisliğinde Zemin Mekaniği Şevlerin Stabilitesi*. (1.Baskı). Ankara: Karayolları Araştırma Fen Heyeti Müdürlüğü, 1-2.
- Bishop, A. (1955). The use of slipe cicle in the stability analysis of slopes. *Geotechnique*. 5-7-17.
- Coduto, D. (2006). *Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar*. (Çev. M. Mollamahmutoğlu, K. Kayabalı). Ankara: Gazi Kitabevi, 816
- Dölek, İ. (2021). *Afetler ve Afet Yönetimi* (3. Baskı). Ankara: Pegem Akademi, 8-10.
- Duncan, J. and Wright, S. (2005). *Soil Strength and Slope Stability*. (Çev. K. Kayabalı). Ankara: Gazi Kitabevi, 247-248.
- Duncan, J., Wright, S. and Brandon, T. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. (2. Baskı). New Jersey: John Wiley and Sons Inc, 260-262.
- Eren, S. ve Aksoy, C. (2020). Yeraltısuyu seviyesinin açık ocaklarda şev duraylılığına etkilerinin araştırılması. *Yeraltı Kaynakları*, 17(1), 23-31.
- Fidan, S. ve Görüm, T. (2020). Türkiye’de ölümcül heyelanların dağılım karakteristikleri ve ulusal ölçekte öncelikli alanların belirlenmesi. *Türk Coğrafya Dergisi*, 74(1), 123-134.
- Fırat, S. ve Canik, B. (2014). Şev iyileştirmelerinde kullanılan kazıklara uygulanan deprem etkisi. *Politeknik Dergisi*, 17(1), 31-34.
- Isakov, A. and Moryachkov, Y. (2014). *Estimation of slope stability using two-parameter criterion of stability* (Technical Note). American Society of Civil Engineers, Novosibirsk, 1-2.
- İnternet: Google Earth. URL: <https://earth.google.com/web/@24.18579299,-44.90440987,-3862.5973927a,25719862.26494062d,35y,0h,0t,0r> (2017).
- İnternet: MTA Yerbilimleri Portalı. URL: <http://yerbilimleri.mta.gov.tr>, Son Erişim Tarihi: 09.02.2022

- İnternet: AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. (2018). URL: <https://deprem.afad.gov.tr/images/depbolge/deprem-tehlike-haritasi.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2022
- İnternet: Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması. URL: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>, Son Erişim Tarihi: 20.02.2022
- Kahyaoğlu, M. R., İmançlı, G., Özden, G. ve Kayalar, A. (2017). Numerical simulations of landslide- stabilizing piles: a remediation project in Söke, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 76(19), 1-14.
- Karademir, S., Kuruoğlu, Ö. ve Akman, M. K. (2009). *Bursa çevreyolu km: 5+520 – 5+570 heyelanı*. Yüksel Proje, Ankara, 1-20.
- Kramer, S.L. (2013). *Geoteknik deprem mühendisliği*. (Çev. K. Kayabalı). Ankara: Gazi Kitabevi, 466-467.
- Kibria, S., Qureshi, H. M. and Rana, A. M. (2010). *Back analysis procedure for landslides*. International Conference on Geotechnical Engineering, Lahore, 159-166.
- Lana, M., Periara, L. and Lopes, P. (2013). Modeling aspects of block toppling in rock slopes. 23rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey, Antalya, 18-24.
- Mısır, G. (2018). Şev stabilitesi problemlerinin sayısal analizler ile karşılaştırmalı çözümü. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 9(1), 429-438.
- Önalp, A. ve Arel, E. (2004). *Geoteknik Bilgisi 2 yamaç ve şevlerin mühendisliği*. (1.Baskı). İstanbul: Birsan Yayınevi, 414.
- Popescu, M. and Sasahara, K. (2009). *Landslides disaster risk reduction*. (1.Baskı). Berlin: Springer, Heidelberg, 650.
- Rahman, F. and Mamun, A. (2016). *Evaluation the stability of slope of Rajshahi city protection embankment under seismic load*. Yüksek Lisans Tezi, Rajshahi University of Engineering and Technology, Rajshahi.
- Spencer, E. (1967). A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel interslice forces. *Geotechnique*. (17), 11-26.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2020). *Türkiye Karayolları ve Demiryolları Tünelleri ile Diğer Zemin Yapıları Deprem Yönetmeliği*. Ankara. 107-110.
- Ulusay, R. (2008). *Kaya ve Zeminlerde Şev Duraylılığı ve Tasarımı* (Kurs Notu). Hacettepe Üniversitesi, Ankara. 1-116.
- Ün, B. ve Yıldız, A. (2021). Şev stabilitesi probleminin geri analizle çözümü: örnek bir vaka. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9(1), 174-181.
- Vardar, M., Demiroğlu, M., Koçak, C. ve Şans, G. (2012). *Yol mühendisliğinde yamaç ve şevlerin stabilitesi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Notları. İstanbul.

- Varnes, D. (1958). *Landslides and Engineering Practice Highway Research Board Special Report. (29. Baskı)*. Washington, D.C: NAS-NRC Publication 544, 20-47.
- Whitman, R.V. and Bailey, W. A. (1967). Use of computers for slope stability analysis. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division ASCE*, 93(4), 475-498.
- Ye, J.-b., Xie, Q., Zhao, X.-b. and Zhao, Y.-r. (2014). Development of a practical design method for double-row anti-sliding pile system. *Ejge*, 19(1), 281-293.

EKLER

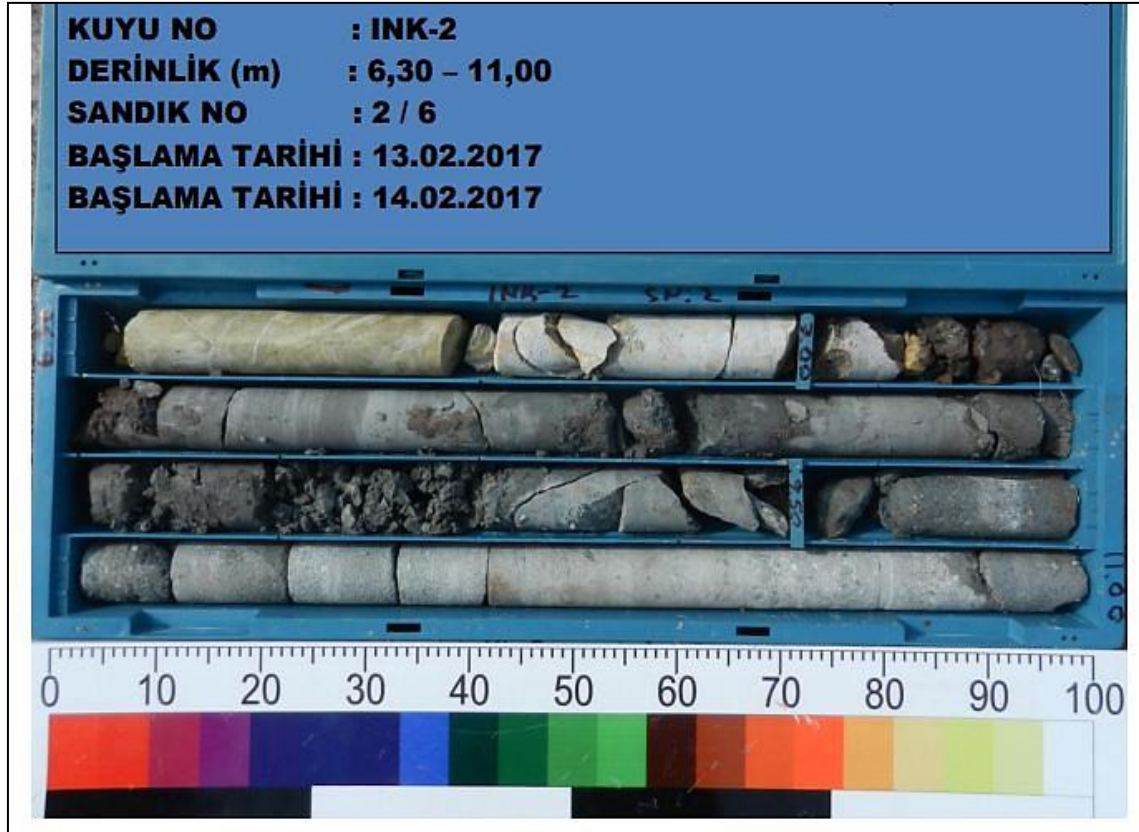
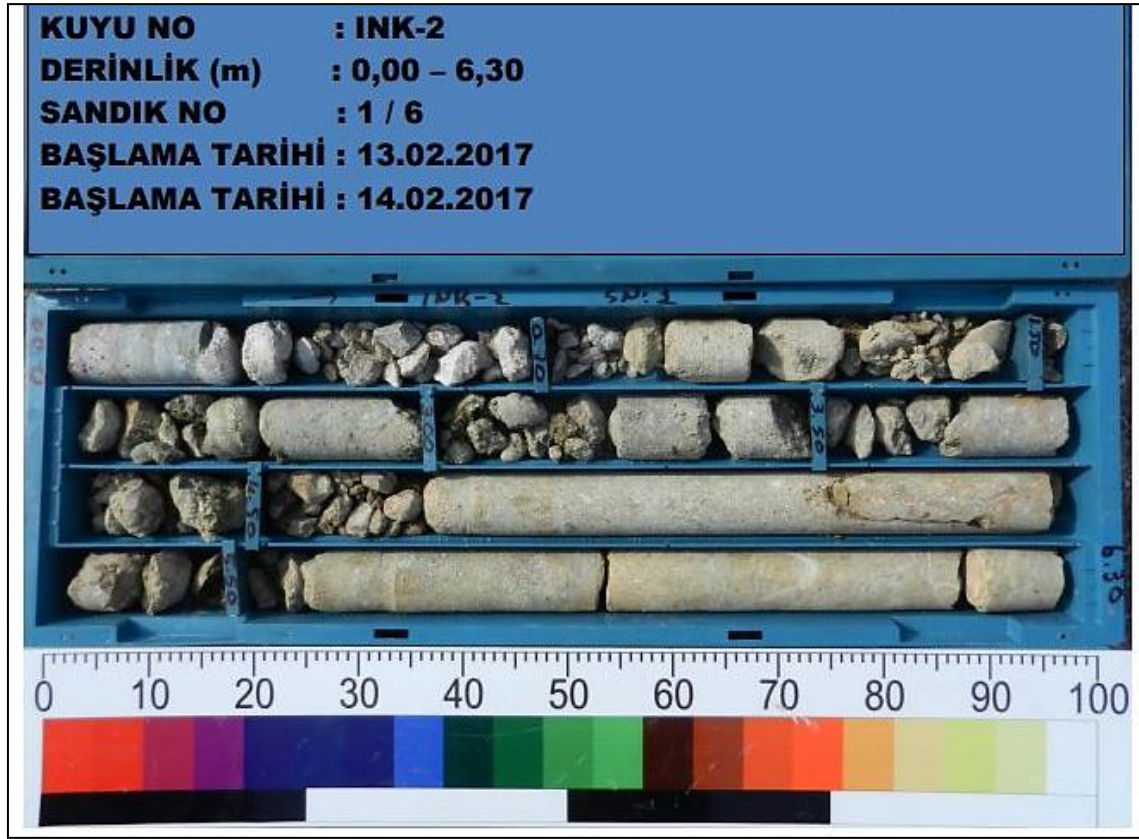
EK-1. Sondaj logları

EGİME/EGİM YÖNÜ				MUH. BOR. DER.				4.50 m							
DERİNLİK				25.00 m				MUH. BOR. ÇAPI				96 mm			
KOT				218.7				DELİK ÇAPI				96 mm			
YERALTISUYU				-				KOORDİNAT E				426 192			
BAŞ. BIT.TAR.				13.02.2017-14.02.2017				KOORDİNAT N				4 468 919			
												SAYFA NO : 1 / 2			
Derinlik (m)	YASS (m)	Numune Derinliği	Numune Türü	Yerinde Deney		Karot Yüzdesi %	RQD %	Jeolojik Profil	Jeolojik Tanımlama	Ayrışma (W)	Dayanım (R)	Süreksizlik Aralığı (S)			
				Depth (m)	Type										
0						20 40 60 80	20 40 60 80		0.00- 7.50 m; Taş Dolgu 0.00-0,70: Kireçtaşı 0,70-6,70: Kumtaşı 6,70-7,50: Kireçtaşı						
1	0.70					57									
2	1.50					50									
3						27									
4	3.00					70									
5	3.50					40	0								
6	4.50					90	0								
7	5.50					100	0								
8	6.30					100	0								
9	7.00					100	0								
10						80	34		7.50- 7.75 m; KİL: Kahverengi, kalı, yüksek plastisiteli. 7.75- 9.35 m; SİLT TAŞI: Yeşilimsi gri, orta ila çok derecede ayrılmış, zayıf ila çok zayıf dayanımlı. 8.20-9.20: Zemin özelliğinde Eklem Seti 1: 20°, P, Sm Eklem Seti 2: 30°, P, Sm						
SÜREKSİZLİK TÜRLERİ				PÜRÜZLÜLÜK-DÜZLEMSELLİK				STANDART PENETRASYON DENEYİ							
Cö Dokanak				P Düzlemsel				İNCE DANELİ							
B Tabakalanma				U Dalgalı				KABA DANELİ							
FZ Fay zonu				S Basamaklı				N : 0 - 2 Çok Yumuşak							
F Fay				Ro Pürüzlü				N : 3 - 4 Yumuşak							
SZ Makaslama zonu				Sı Kayma izi				N : 5 - 8 Orta Katı							
J Çatlak				Sm Düz				N : 9 - 15 Katı							
Fo Foliasyon								N : 16 - 30 Çok Katı							
								N > 30 Sert							
AYRIŞMA DERECESESİ				KAYAÇ DAYANIMI				SÜREKSİZLİK ARALIĞI							
W1 Taze : Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırdedilebilir bir belirti gözlenmez				R0 Açın zayıf kaya				UCS= 0.25 - 1.0 MPa							
W2 Az Ayrılmış: Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir				R1 Çok zayıf kaya				UCS= 1.0 - 5.0 MPa							
W3 Orta Ayrılmış: Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek				R2 Zayıf kaya				UCS= 5.0 - 25 MPa							
W4 Çok Ayrılmış: Kayanın yarısından fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrılmış				R3 Orta sağlam kaya				UCS= 25 - 50 MPa							
W5 Tamamen Ayrılmış: Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrılmış ve/veya parçalanmış				R4 Sağlam kaya				UCS= 50-100 MPa							
W6 Artık Zemin: Kayanın tümü toprak haline dönüşmüştür				R5 Çok sağlam kaya				UCS= 100 - 250 MPa							
				R6 Açın sağlam kaya				UCS >250 MPa							
				DOLGU MALZEMESİ				GEÇİRİMLİLİK							
				K Kil				Lugeon l/mv/min							
				Cj Klorit				Kaya Sınıfı							
				L Limonit				K1 <1 Geçirimsiz							
				I Demir Oksit				K2 1-5 Az Geçirimli							
				C Karbonat				K3 5-25 Geçirimli							
				Q Kuvars				K4 >25 Çok Geçirimli							

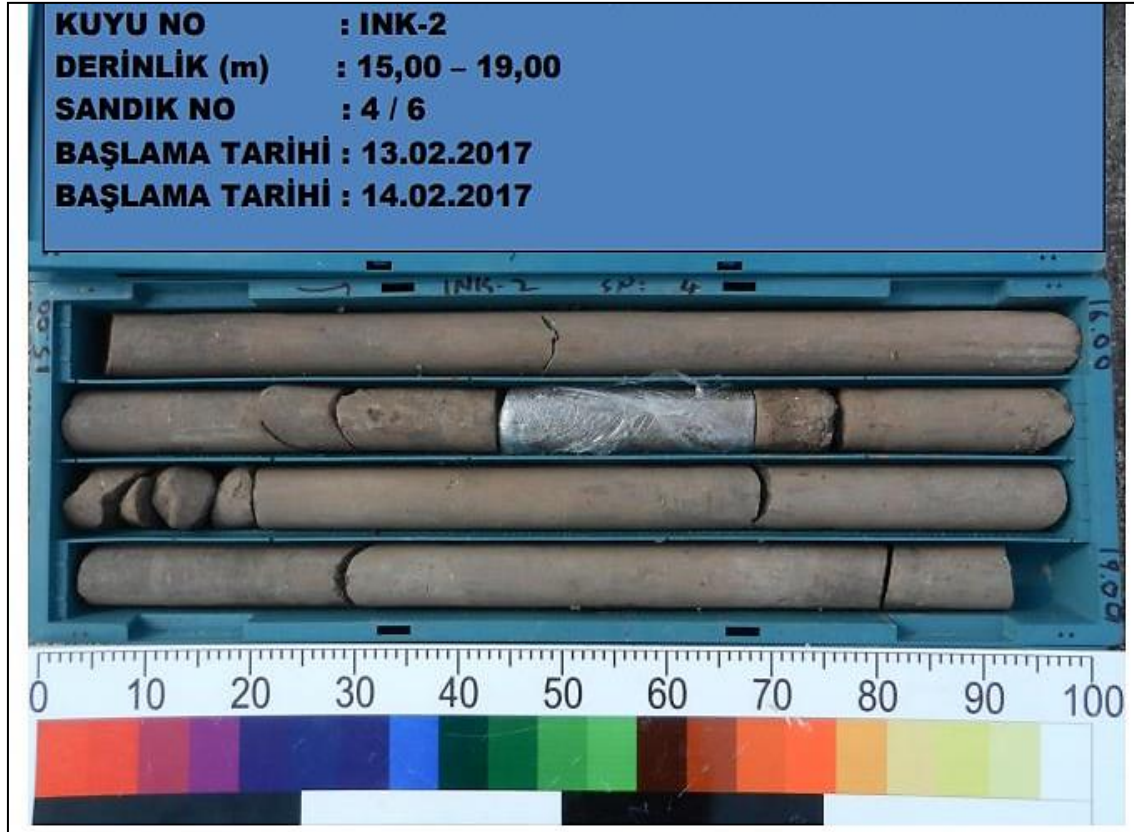
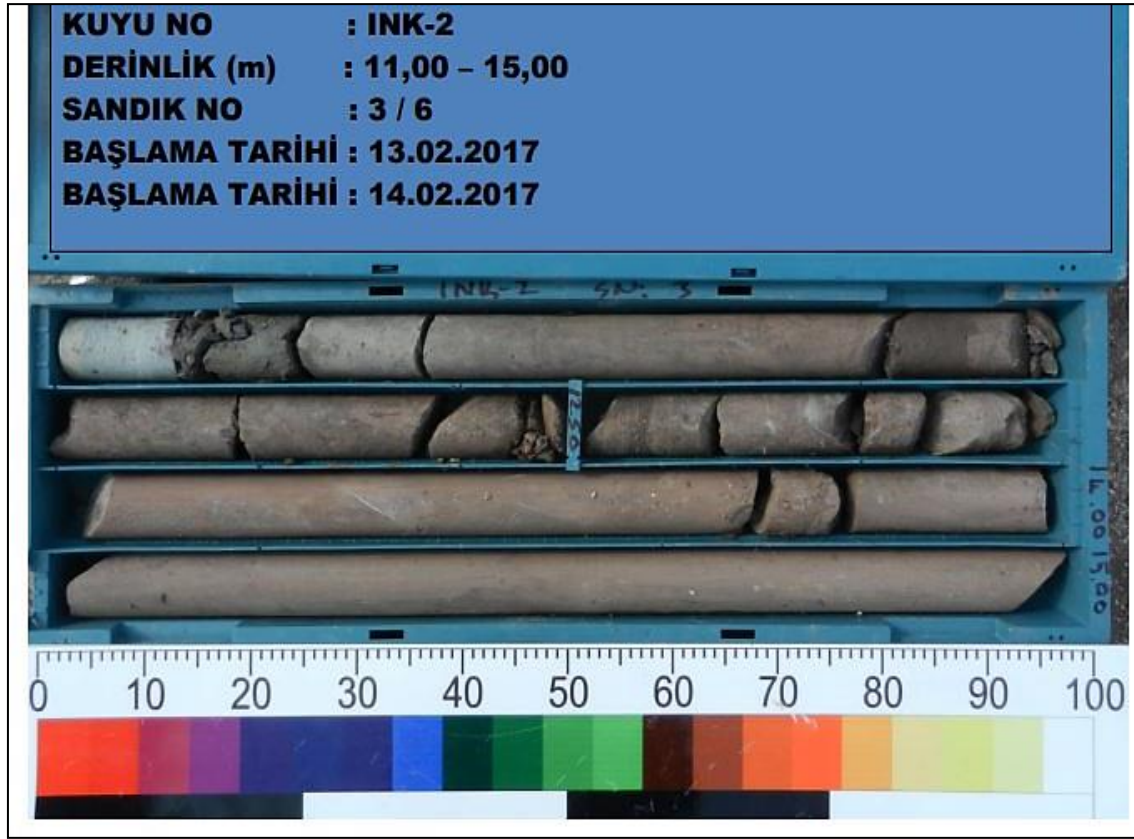
EK-1. (devam) Sondaj logları

EĞİM/EĞİM YÖNÜ				Düsey Sondaj				MUH. BOR. DER.				4.50 m			
DERİNLİK				25.00 m				MUH. BOR. ÇAPI				95.6 mm			
KOT				199.3				DELİK ÇAPI				122.6 mm			
YERALTISUYU				-				KOORDİNAT E				428 145			
BAŞ. BİT.TAR.				10.02.2017-11.02.2017				KOORDİNAT N				4 468 943			
												SAYFA NO : 1 / 2			
Derinlik (m)	YASS (m)	Numune Derinliği	Numune Türü	Yerinde Deney		Karot Yüzdesi %		RQD %		Jeolojik Profil	Jeolojik Tanımlama	Ayrışma (W)	Dayanım (R)	Süreksizlik Aralığı (S)	
				Depth (m)	Type	20 40 60 80	20 40 60 80								
0						67	-				0.00- 4.00 m; Taş Dolgu				
1		1.50				70	-				4.00- 5.50 m; KİLTAŞI: Kırmızımsı kahverenkli ila kahverenkli, zayıf ila çok zayıf dayanımlı, orta ila çok ayrışmış. Eklem Seti 1: 30°, S3, P, Sm, dolgusuz ve 1 mm'ye kadar kalsit dolgulu Eklem Seti 2: 60°, S4, P, Po, dolgusuz ve 1 mm'ye kadar kalsit dolgulu				
2						45	-								
3		3.00				90	13								
4		4.00									5.50- 7.50 m; KİL/KİLTAŞI: Kırmızımsı kahverenkli ila kahverenkli, yüksek plastisiteli, çok kırılgan.				
5		5.00				100	23								
6															
7		7.00									7.50- 10.50 m; KİLTAŞI: Kırmızımsı kahverenkli ila kahverenkli, zayıf dayanımlı, az ila orta ayrışmış. Eklem Seti 1: 20°, S3, P, Po, yer yer kalsit dolgulu Eklem Seti 2: 40°, S4, P, Po				
8						100	78								
9		9.50													
10															
SÜREKSİZLİK TÜRLERİ				PÖRÜZLÜLÜK-DÜZLEMSELLİK				STANDART PENETRASYON DENEYİ							
Co Dokanak	C Dilinim (Kliva)	P Düzlemsel	İNCE DANELİ												
B Tabakalanma	V Damar	U Dalgalı	KABA DANELİ												
F2 Fay zonu	S Şistozite	S Basamaklı	N : 0 - 2 Çok Yumuşak												
F Fay	F1 Fisür	Ro Pürüzlü	N : 3 - 4 Yumuşak												
SZ Makaslama zonu	T Genilme çatlak	Si Kayma izi	N : 5 - 8 Orta Katı												
J Çatlak		Sm Düz	N : 9 - 15 Katı												
Fo Foliasyon			N : 16 - 30 Çok Katı												
			N > 30 Sert												
AYRIŞMA DERECEİ				KAYAÇ DAYANIMI				SÜREKSİZLİK ARALIĞI							
W1 Taze : Kayanın bozunduğuna ilişkin gözle ayırdedilebilir bir belirti gözlenmez				R0 Aşırı zayıf kaya				UCS= 0.25 - 1.0 MPa				S1 <20 Çok dar aralıklı			
W2 Az Ayrışmış : Kaya malzemesinde ve süreksizlik yüzeylerinde renk değişimi gözlenir				R1 Çok zayıf kaya				UCS= 1.0 - 5.0 MPa				S2 20-60 Dar aralıklı			
W3 Orta Ayrışmış : Kayanın yarısından az bir kısmı toprak zemine dönüşerek				R2 Zayıf kaya				UCS= 5.0 - 25 MPa				S3 60-200 Yakın aralıklı			
W4 Çok Ayrışmış : Kayanın yarısından fazla bir kısmı toprak zemine dönüşerek ayrışmış				R3 Orta sağlam kaya				UCS= 25 - 50 MPa				S4 200-600 Orta aralıklı			
W5 Tamamen Ayrışmış : Kayanın tümü toprak zemine dönüşerek ayrışmış ve/veya parçalanmış				R4 Sağlam kaya				UCS= 50-100 MPa				S5 600-2000 Geniş aralıklı			
W6 Artık Zemin : Kayanın tümü toprak haline dönüşmüştür				R5 Çok sağlam kaya				UCS= 100 - 250 MPa				S6 2000-6000 Çok geniş aralıklı			
				R6 Aşırı sağlam kaya				UCS >250 Mpa				S7 >6000 Aşırı geniş			
				DOLGU MALZEMESİ				GEÇİRİMLİLİK							
				K Kil				M Matris				Lucon l/m/min			
				Cl Klorit				R Breş				Kaya Sınıfı			
				L Limonit				X Silt				K1 <1 Geçirimsiz			
				I Demir Oksit				O Kum				K2 1-5 Az Geçirimli			
				C Karbonat				Py Pirit				K3 5-25 Geçirimli			
				Q Kuvars				D Diğer				K4 >25 Çok Geçirimli			

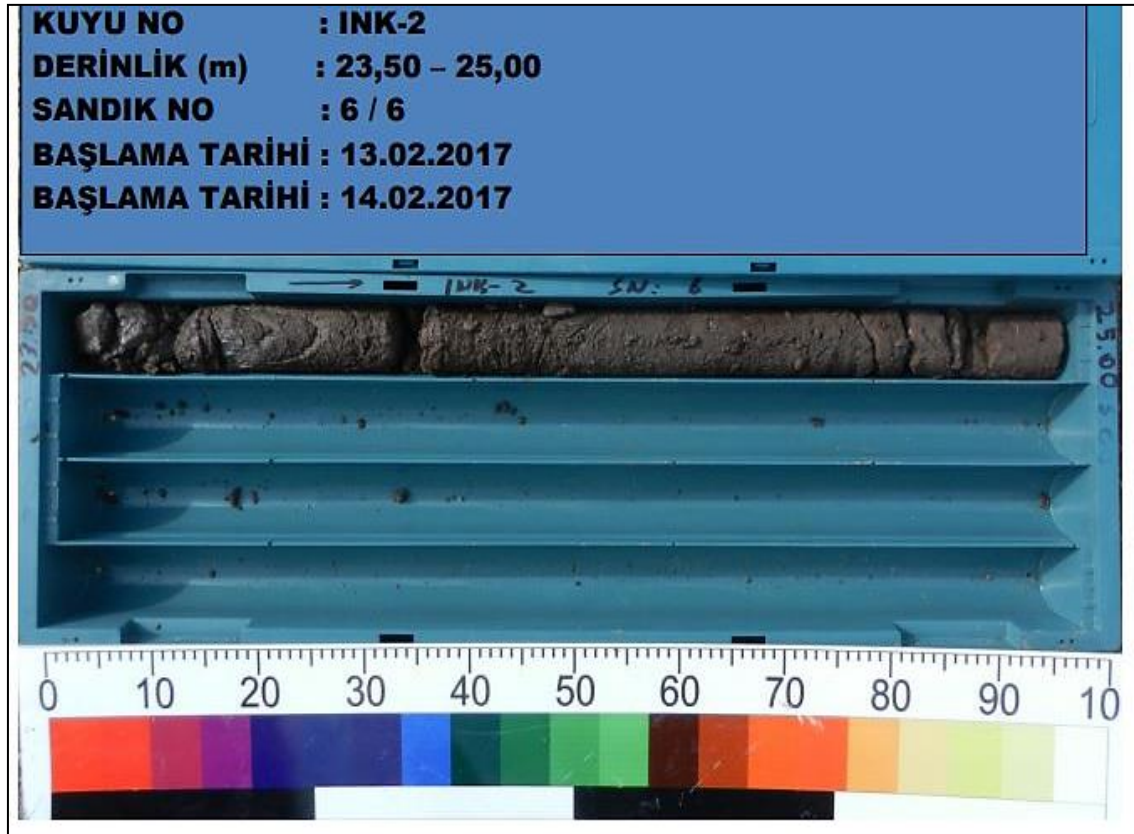
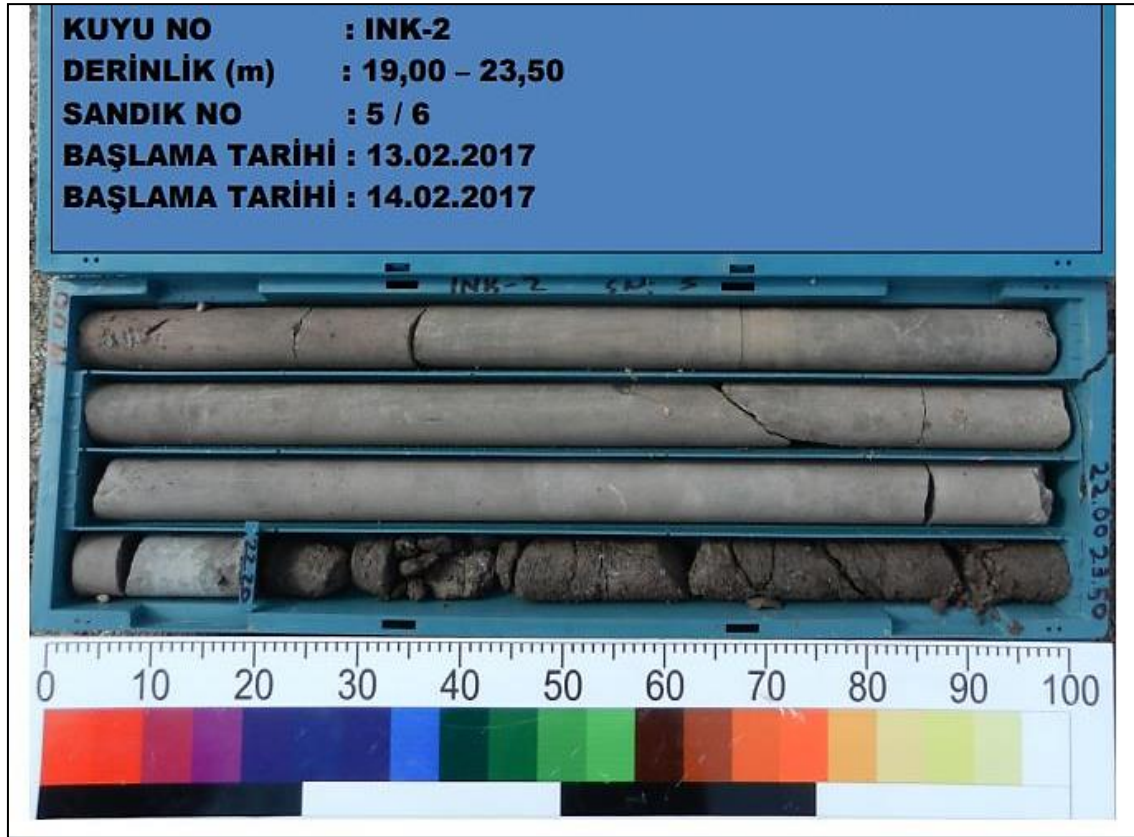
EK 2. Karot fotoğrafları



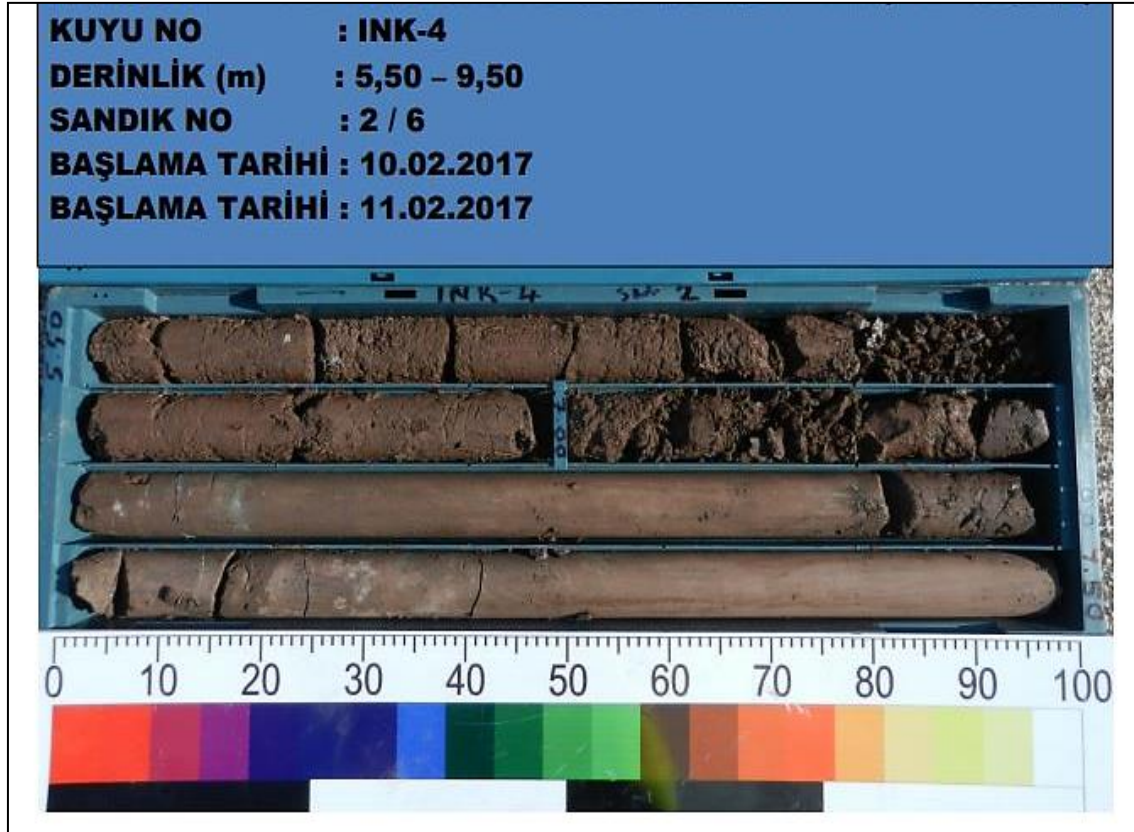
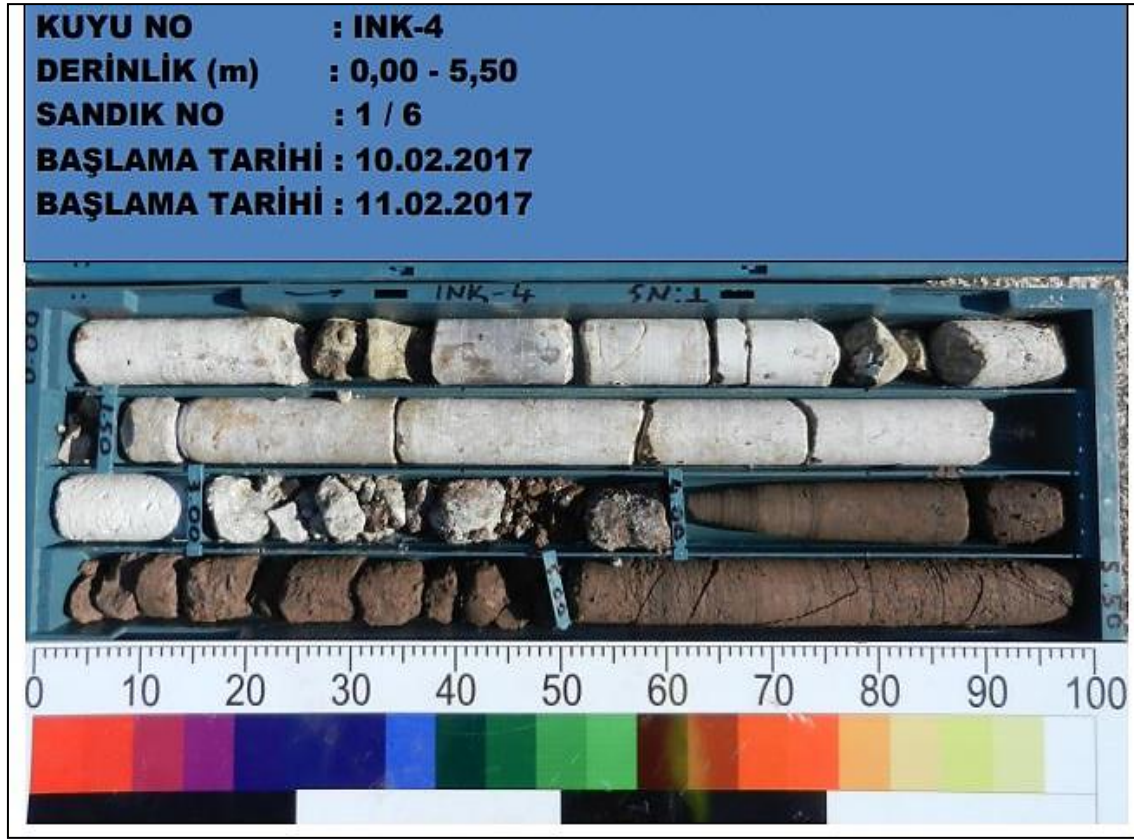
EK 2. (devam) Karot fotoğrafları



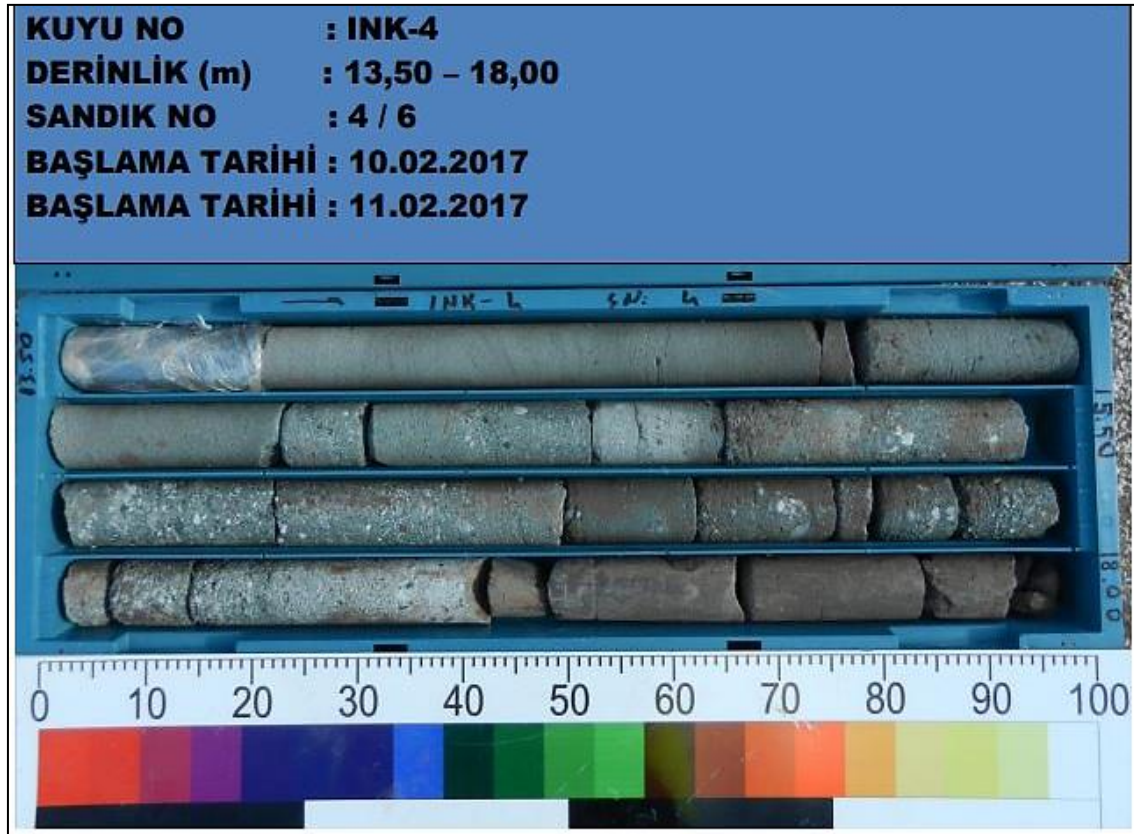
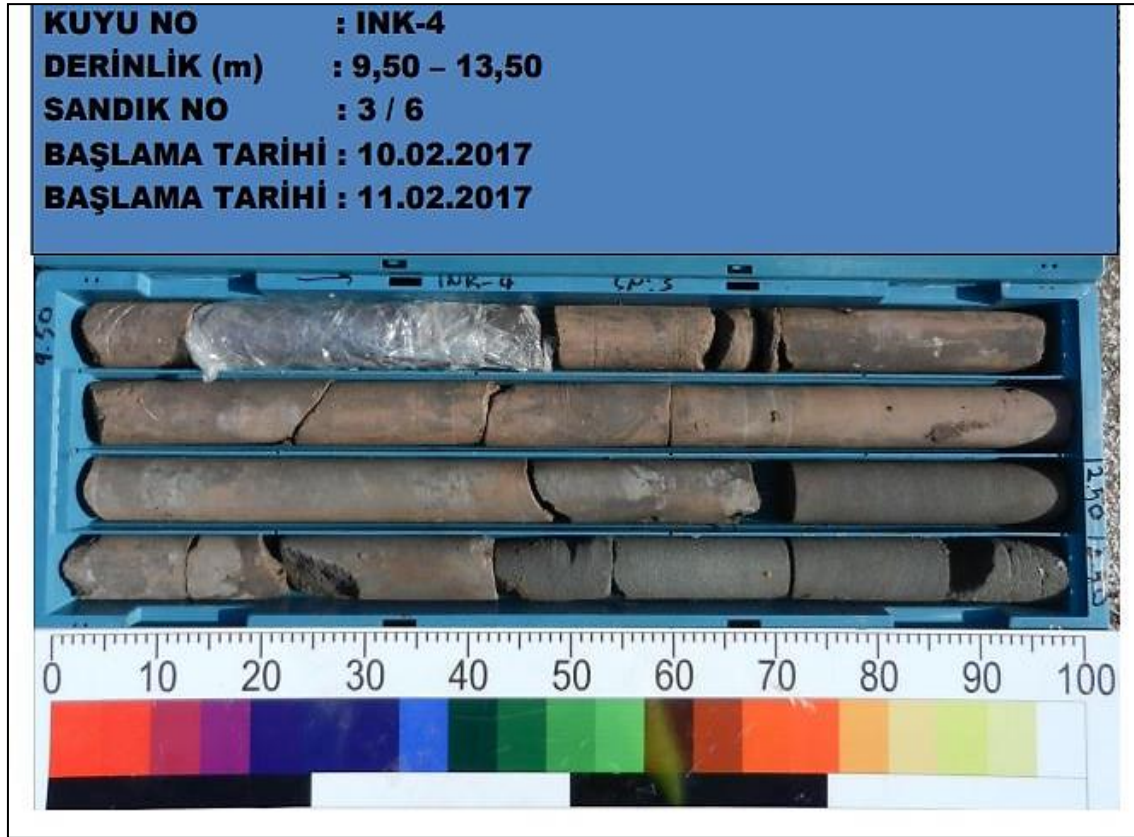
EK 2. (devam) Karot fotoğrafları



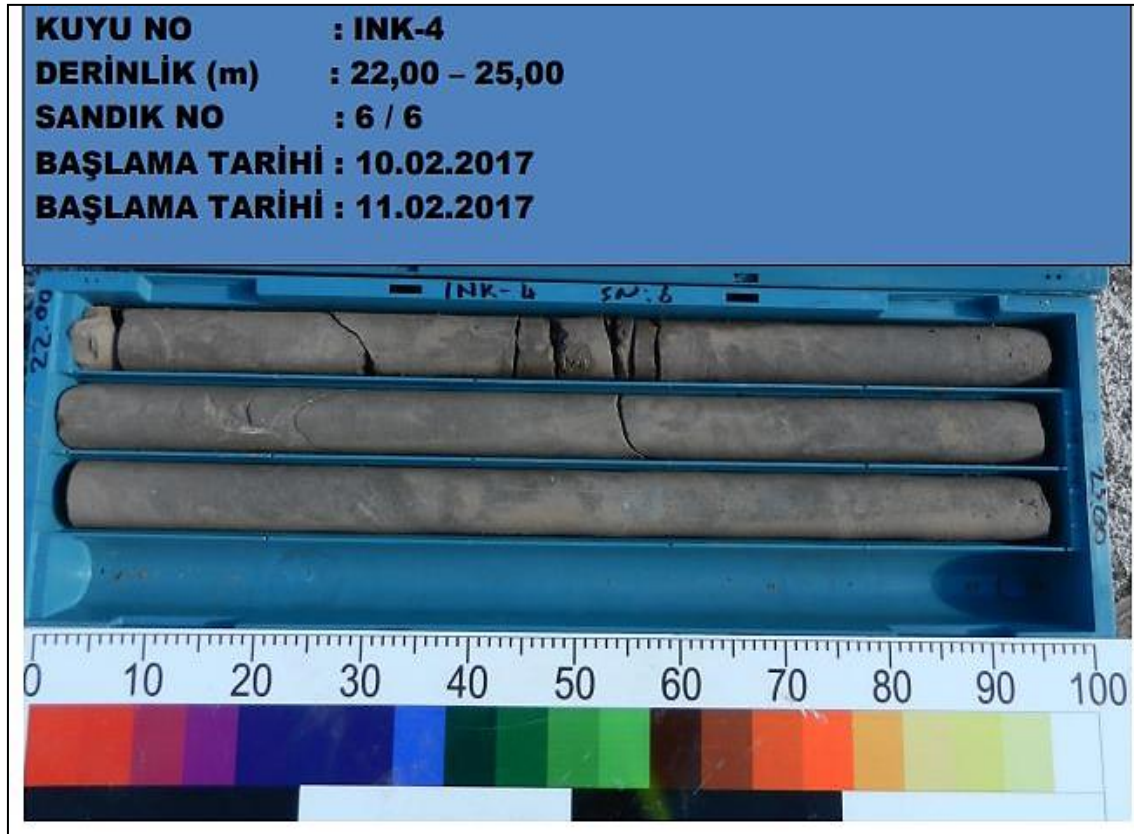
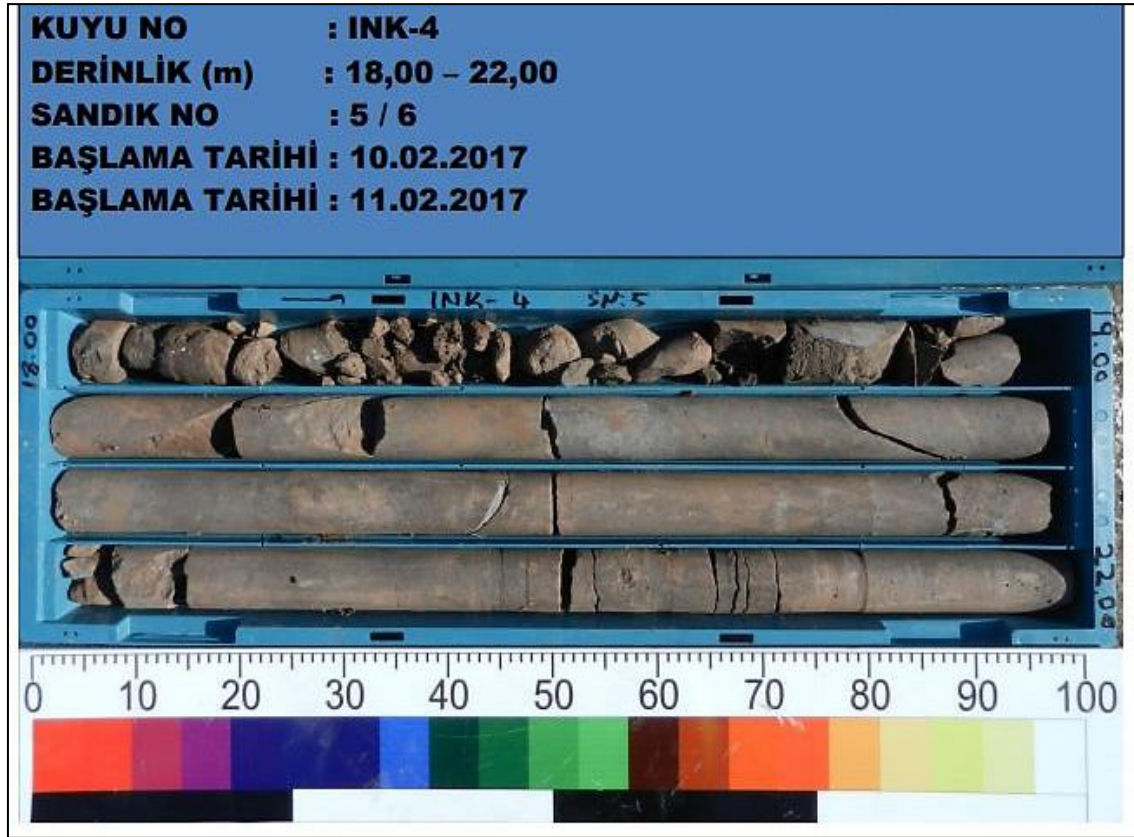
EK 2. (devam) Karot fotoğrafları



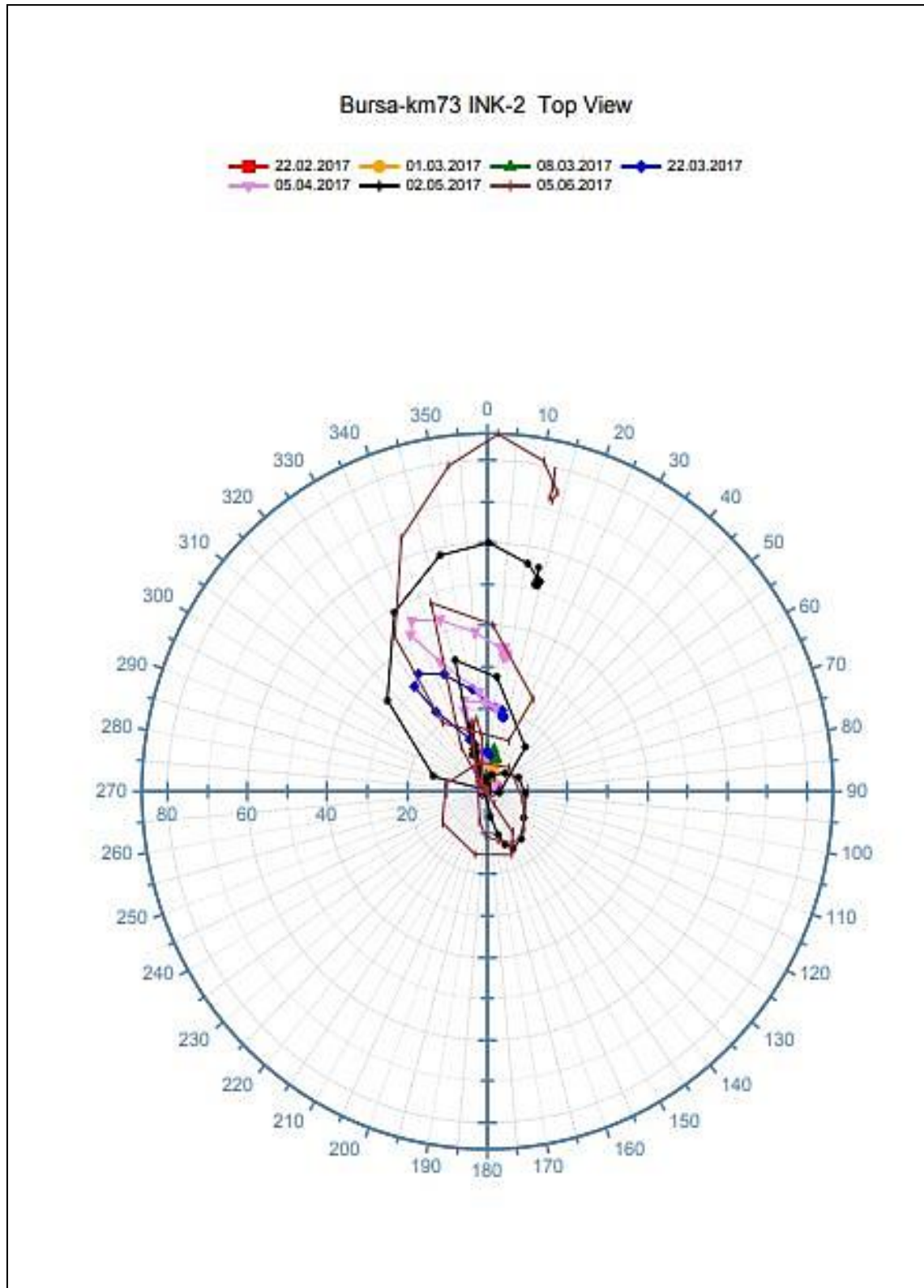
EK 2. (devam) Karot fotoğrafları



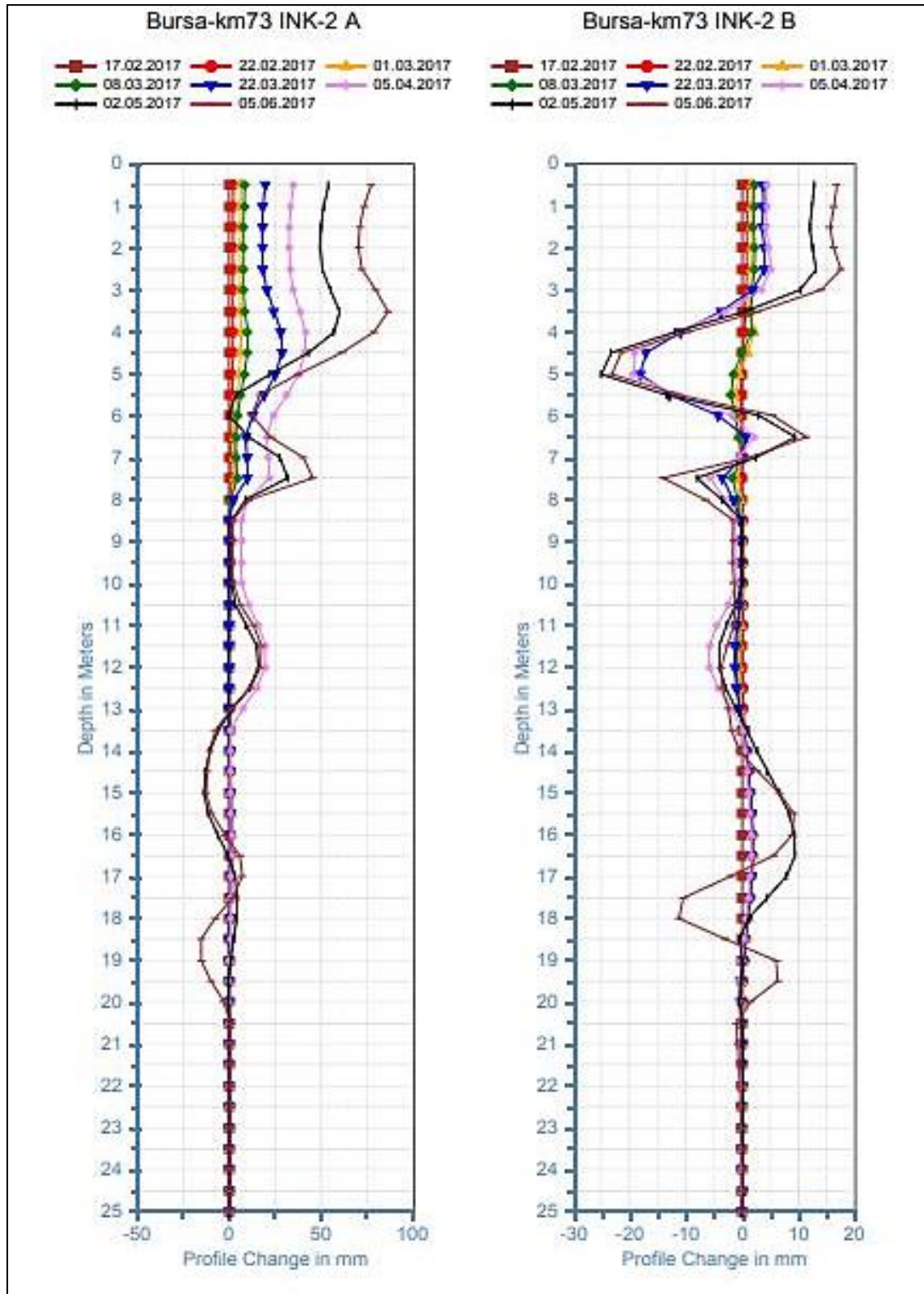
EK 2. (devam) Karot fotoğrafları



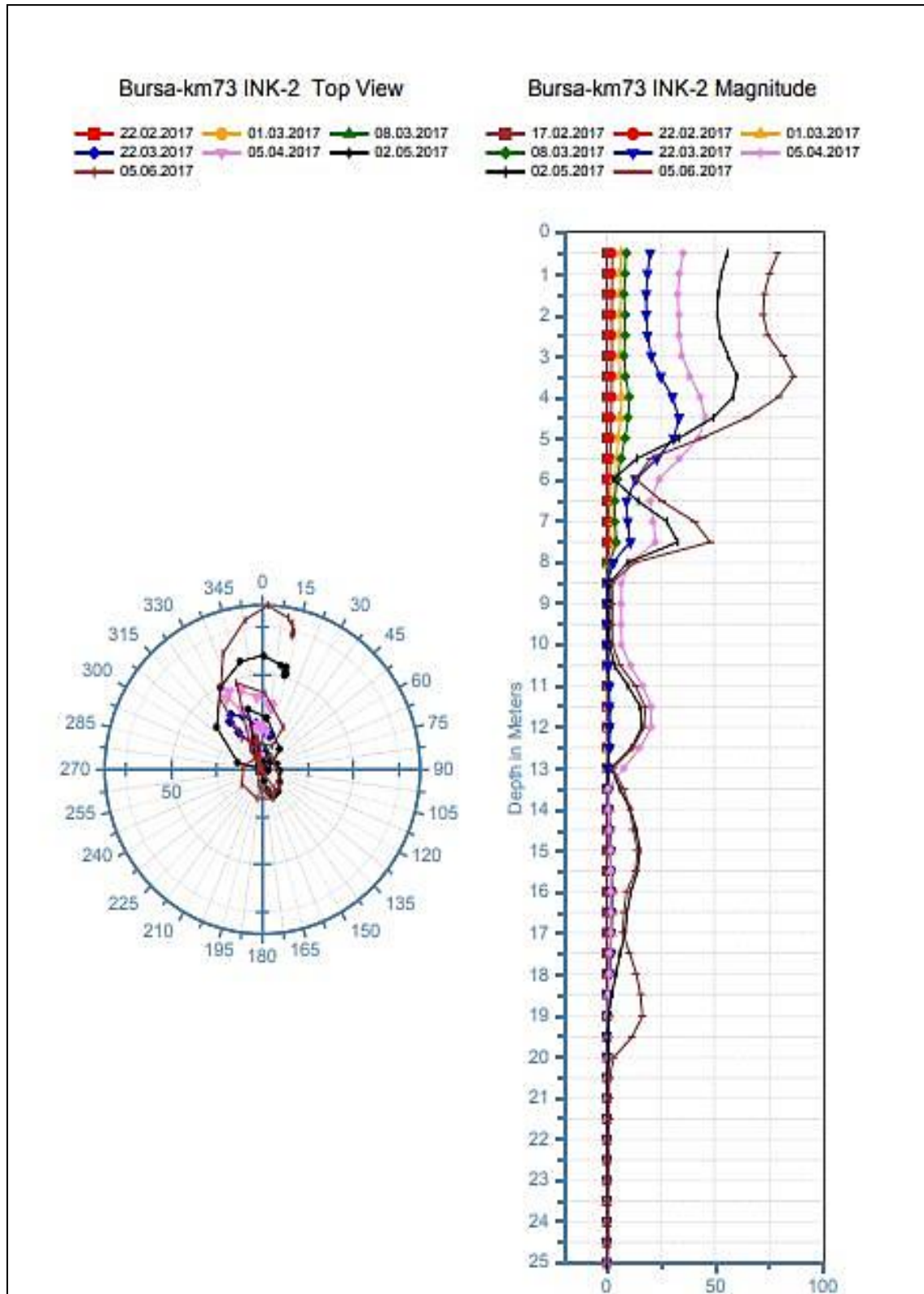
EK 3. İnklinometre grafikleri



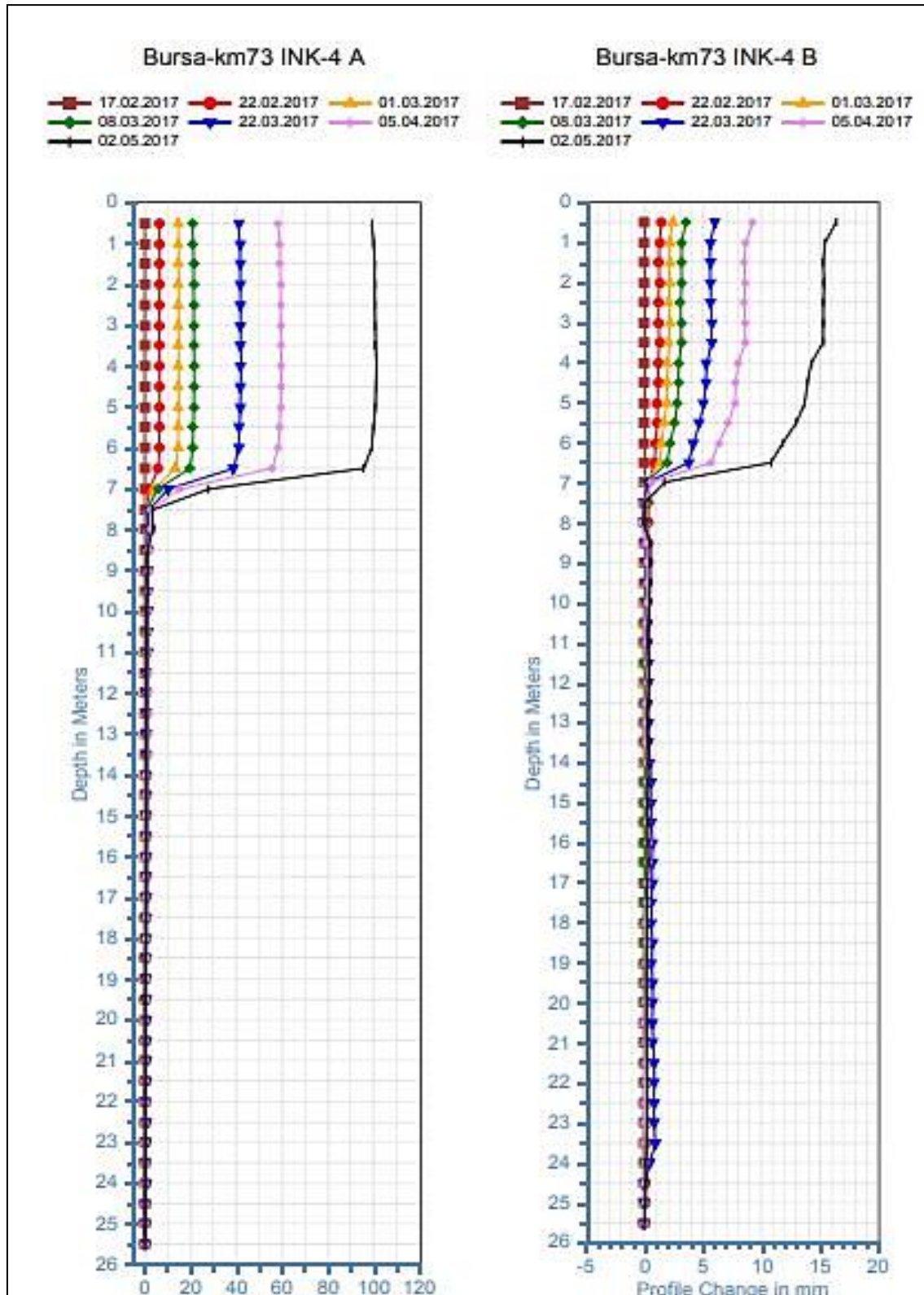
EK 3. (devam) İnklinometre grafikleri



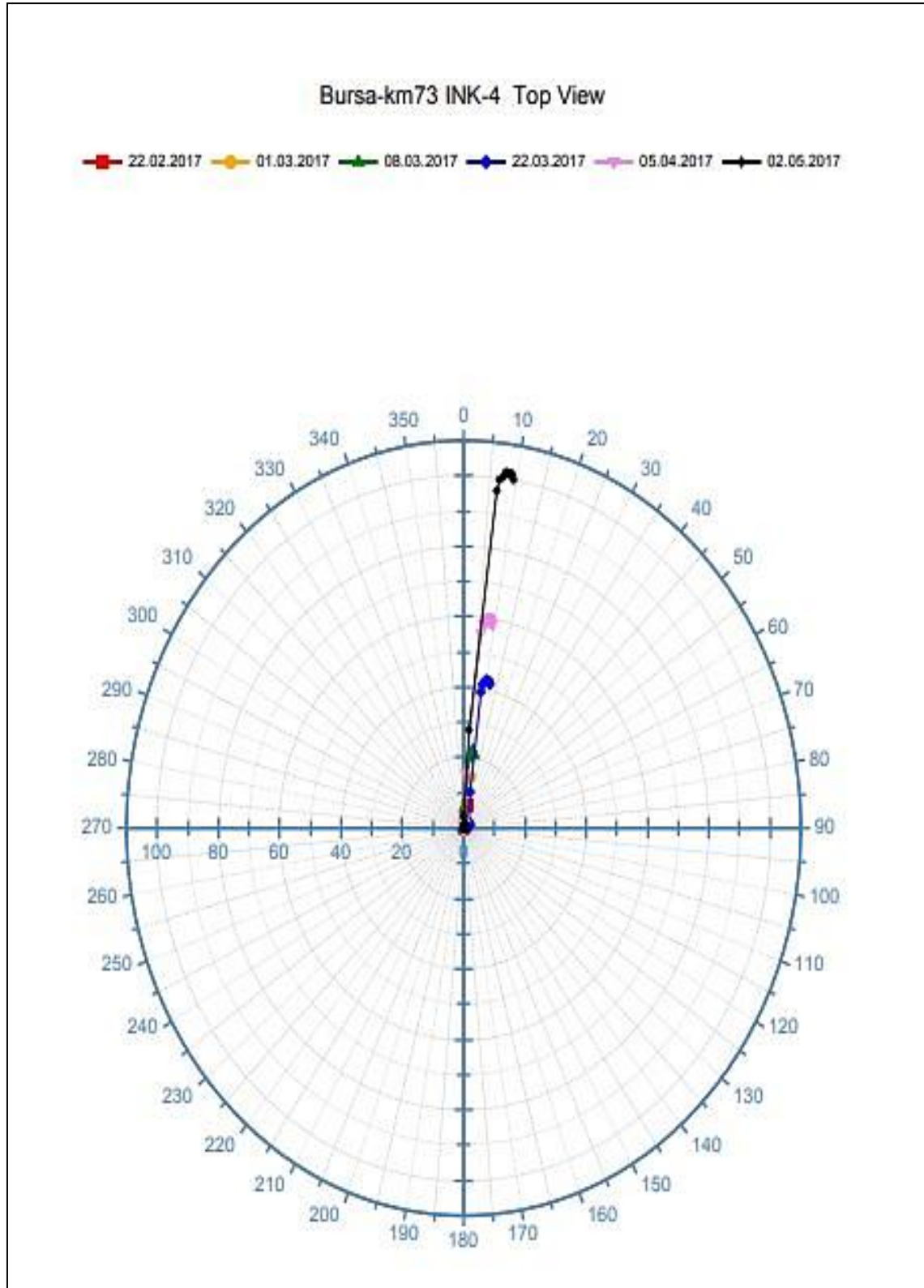
EK 3. (devam) İnklinometre grafikleri



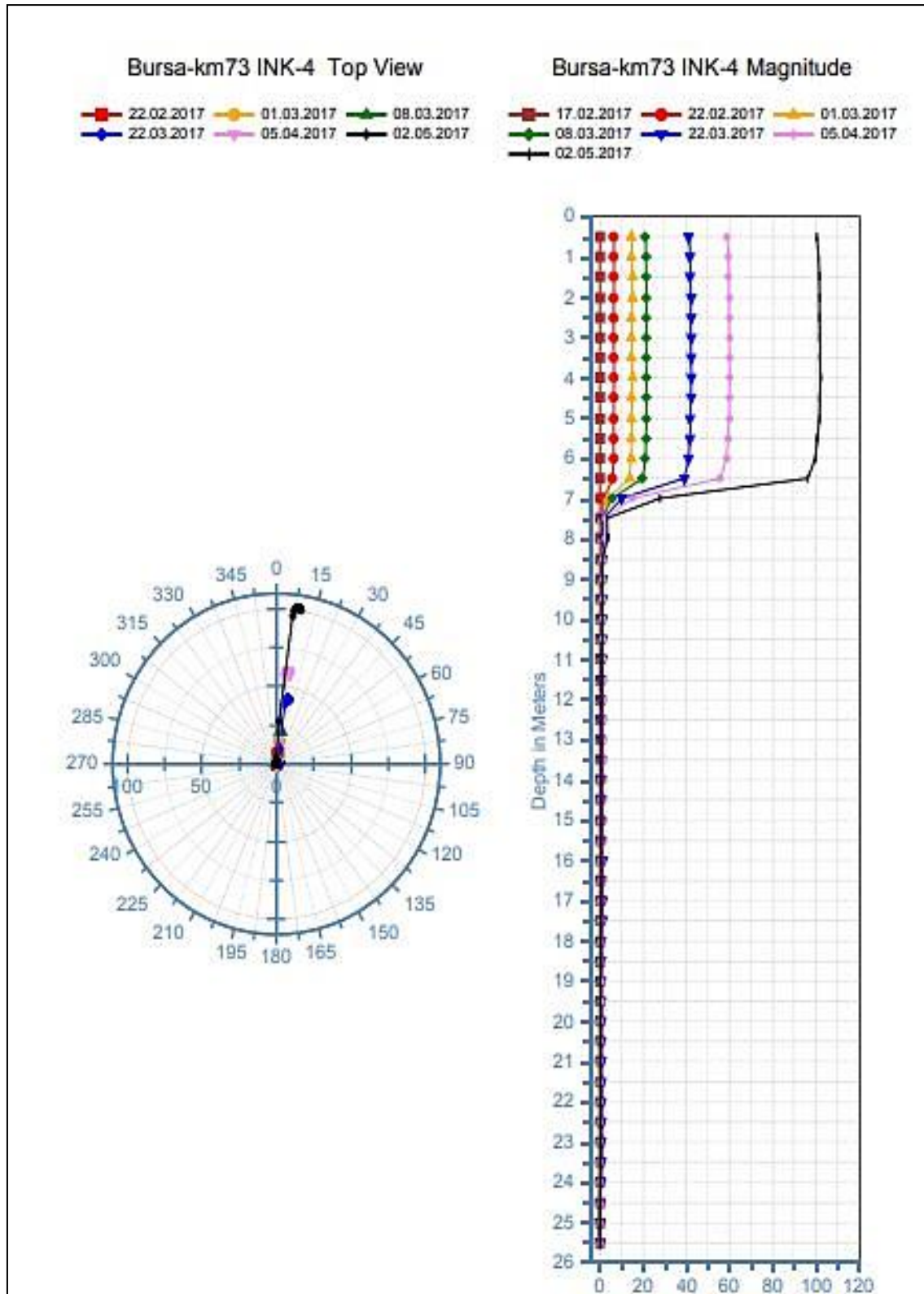
EK 3. (devam) İnklinometre grafikleri



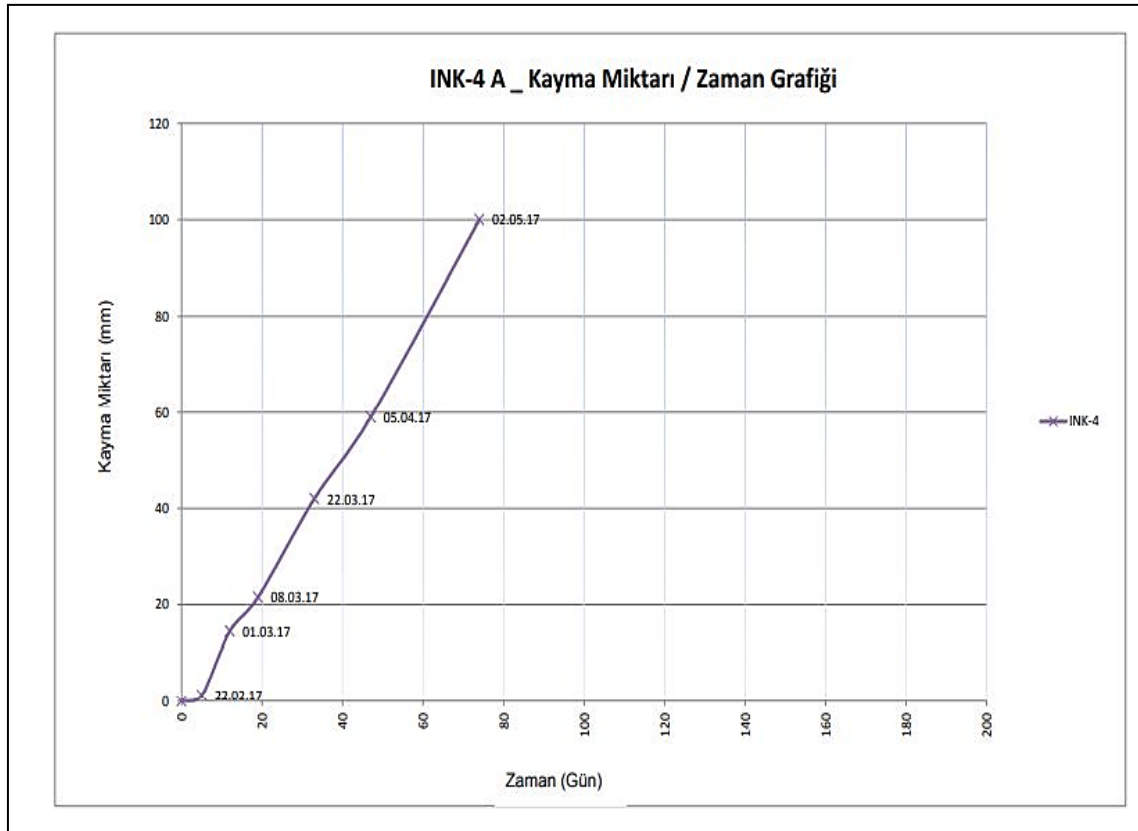
EK 3. (devam) İnklinometre grafikleri



EK 3. (devam) İnklinometre grafikleri



EK 4. Zaman-kayma miktarı grafikleri





GAZİ GELECEKTİR..