

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**KEMER – KUMLUCA KARAYOLU KM 74+410 - 74+700 ARASI
HEYELAN ETÜDÜ**

Ertuğrul AKÇA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2019

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



KEMER - KUMLUCA KARAYOLU KM 74+410 - 74+700 ARASI
HEYELAN ETÜDÜ

Ertuğrul AKÇA

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2019

ANTALYA

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

**KEMER - KUMLUCA KARAYOLU KM 74+410 - 74+700 ARASI
HEYELAN ETÜDÜ**

**Ertuğrul AKÇA
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Bu tez Akdeniz Üniversitesi BAP birimi tarafından FYL-2018-4214 nolu proje ile desteklenmiştir.

MAYIS 2019

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEMER - KUMLUCA KARAYOLU KM 74+410 - 74+700 ARASI
HEYELAN ETÜDÜ


Ertuğrul AKÇA
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 31/05/2019 tarihinde jüri tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK



Dr. Öğr. Üyesi. Yasemin LEVENTELİ (Danışman)



Dr. Öğr. Üyesi. Özgür AKTÜRK



ÖZET

KEMER - KUMLUCA KARAYOLU KM 74+410 - 74+700 ARASI HEYELAN ETÜDÜ

Ertuğrul AKÇA

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

Mayıs 2019; 86 sayfa

Dünya, devinimini sürdüren canlı bir varlıktır. Deprem, volkan patlamaları, heyelan gibi olaylar bunun göstergesidir. Bu olaylar canlıların ve mal kayıplarının olmadığı bölgelerde “doğal olay” niteliği taşıırken, can ve mal kaybının olduğu bölgelerde “afet” olarak tanımlanmaktadır. Günümüzde bilimin ve teknolojinin hızlı ilerlemesine rağmen, zaman zaman doğa olayları afete dönüşebilmektedir. İnsanoğlunun doğanın dilini anlayıp, bilimin ışığında hareket etmesi sonucunda bu doğal olayların afete dönüşmeyeceği bir gerçektir. Bu nedenle mühendislik projeleri için yer seçerken bölgenin jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik jeolojisi ve jeoteknik modellerinin doğru bir şekilde ortaya konması gerekli ve yeterlidir.

26 Şubat 2018 tarihinde, Antalya ile Finike arasında D-400 karayolunun 75. Kilometresinde heyelan meydana gelmiştir. Hareket eden kütle yaklaşık 100 m genişliğinde ve 800 m uzunluğundadır. Karayolunun hemen üst kısmında ve neritik kireçtaşlarında taç kesimi bulunan heyelan, eski kolüvyon malzemesi içerisinde ilerleyerek sonlanmıştır. Bölgede dört birim yer almaktadır; kıltaşı, kumtaşı, siltaşı, kireçtaşından oluşan Triyas yaşlı Çandır formasyonu (TRAC), kireçtaşı ile temsil edilen Jura-Kretase yaşlı Tekedağı formasyonu (JKt), ofiyolitik melanj içerikli Kretase yaşlı Kırkdirek formasyonu (Kkm) ve güncel çökellerden oluşan yamaç molozu (Qym). Bu çalışmada, heyelanın oluşum mekanizması ve iyileştirme yöntemleri araştırılmış; bunun için bölgenin topoğrafik özelliklerinin yanı sıra, litolojik birimlerin mühendislik ve jeoteknik özellikleri ile su durumu irdelenmiştir. Elde edilen mühendislik ve jeoteknik parametreler GEO5 yazılım programında kullanılarak, heyelan analizi gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda; çalışma alanındaki yeraltı sularının drene olamadığı, hareketin temel nedeninin artan hidrostatik basınç olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda; en iyi çözüm, proje inşası öncesinde karayolu güzergahını değiştirmek ya da mevcut durumda iyi bir drenaj sistemi yerleştirmek olurdu diye düşünülmektedir. Önlem, iyileştirmeden daha profesyonel ve daha mühendisçe bir yaklaşımdır.

ANAHTAR KELİMELELER: Antalya, Heyelan, Jeoteknik, Kumluca, Stabilite.

JÜRİ: Doç. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

ABSTRACT

ANALYSIS OF A LANDSLIDE ON KEMER - KUMLUCA HIGHWAY BETWEEN 74+410 KM TO 74+700 KM

Ertuğrul AKÇA

MSc Thesis in Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

May 2019; 86 pages

The world is a living organism which keeps going to its precession. The natural events like earthquake, volcanic eruption and landslide are evidence of this motion. These events are defined as “natural event” in areas where there is no loss of life and also property; but they are defined as “disaster” in areas where there is loss of life and also property. Nowadays, despite the rapid development of science and technology, natural events can turn into disasters. It is a fact that the human could understand the language of the nature and act according to science; these natural events will not turn into disaster. For this reason; geological, hydrogeological, engineering geological and geotechnical models of the region must be accurately identified when selecting the site for engineering projects.

A landslide has been occurred on February 26, 2018 at 75th kilometer of D400 highway between Antalya and Finike. The moving mass has approximately 100 m wide and 800 m long. The landslide has been started in the neritic limestone, in the upper part of the highway, and ended in old colluvium material. There are four units in the study area; Triassic aged Candır Formation (TRAC) consisting of claystone, sandstone, siltstone, limestone; Jurassic-Cretaceous aged Tekedağı formation (JKt) represented by limestone; Cretaceous aged Kırkdirek formation (Kkm) with ophiolitic melange and talus (Qym) consisting of current deposits. The mechanism and also the improvement methods of the landslide were investigated in this study. In addition to the topographical characteristics of the region, the engineering and geotechnical properties of the lithological units and the water condition were examined. The landslide analysis was performed by GEO5 software program, using the obtained engineering and geotechnical parameters. As a result of the analysis; the groundwater in the study area could not be drained and the main reason for the movement was increased hydrostatic pressure. In this case; the best solutions would be to change the route of the highway before construction or to place an adequate drainage system during the construction. Precaution is much more professional and engineering approach.

KEYWORDS: Antalya, Geotechnics, Kumluca, Landslide, Stability.

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÖZÇELİK

Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; Kemer - Kumluca Karayolu KM 74+410 - 74+700 arası meydana gelen heyelanın analizi yapılmıştır. Çalışmanın temel amacı; geçmişten günümüze güncelliğini koruyan, şev stabilite (duraylılık) problemleri ve iyileştirme yöntemleri ile ilgili çalışmalara, hızlı ve güvenilir yeni alternatif çözüm önerilerinin belirlenmesidir.

Bu çalışmanın ortaya çıkmasından tamamlanmasına kadarki tüm çalışma sürecinde ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisinden ve deneyiminden yararlandığım Danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın jeoteknik aşamalarında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK'e çok teşekkür ederim.

Tezimi yazma aşamasında tecrübeleri ile beni yönlendiren Sayın Arş. Gör. Alper GÜNEŞ'e, Sayın Arş. Gör. Fatih UÇAR'a ve bu süreçte beni sürekli motive eden değerli arkadaşım ve meslektaşım Ali ÖZKESER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu çalışmanın tamamlanması için bize her türlü desteği sunan KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ'ne, KARAYOLLARI 13. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ'ne, 13. Bölge Müdürü Sayın Arif ÇOBANOĞLU'na ve YÜKSEL PROJE'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak yaşamım ve eğitim hayatım boyunca hiçbir şekilde benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme ve her koşulda benim yanımda olan nişanlım Sinem AYDOĞMUŞ'a sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ.....	iii
AKADEMİK BEYAN.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK TARAMASI.....	6
2.1. Şev Stabilitesi.....	11
2.1.1. Şev stabilitesi terminolojisi.....	12
2.1.2. Şev hareketlerinin sınıflandırılması.....	13
2.1.2.1. Düşme.....	15
2.1.2.2. Devrilme.....	16
2.1.2.3. Kayma.....	17
2.1.2.4. Yanal yayılma.....	19
2.1.2.5. Akma.....	20
2.1.2.6. Karmaşık hareketler.....	21
2.2. Şev Stabilitesi Analizi.....	21
2.2.1. Şev stabilitesi analizlerinin tarihsel gelişimi.....	21
2.2.2. Sınır denge yöntemleri.....	22
2.2.2.1. Basit dilim yöntemi.....	22
2.2.2.2. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi.....	24
2.2.2.3. Janbu yöntemi.....	25
2.2.2.4. Spencer yöntemi.....	27
2.2.2.5. Morgenstern – Price yöntemi.....	28
2.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi.....	31
2.3.1. Çandır formasyonu (TRaç).....	32
2.3.2. Gökdere formasyonu (TRag).....	32
2.3.3. Ballık formasyonu (JKba).....	32
2.3.4. Tekedağı formasyonu (JKt).....	32

2.3.5. Keçili formasyonu (Kk).....	32
2.3.6. Kırkdirek formasyonu (Kkm).....	33
2.3.7. Yamaç molozu ve birikinti konileri (Oym)	33
2.3.8. Bölgenin stratigrafisi	35
2.3.9. Bölgenin tektonik özellikleri	35
2.3.10. Çalışma bölgesinin depremselliği.....	37
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Önceki Çalışmalar	39
3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları	39
3.3. Büro Çalışmaları.....	39
3.3.1. GEO5 programının tanıtımı.....	40
4. BULGULAR.....	43
4.1. Fizyografi ve İklim.....	43
4.2. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	43
4.3. Birimlerin Mühendislik Özellikleri	44
4.3.1. Çandır formasyonu (TRaç).....	44
4.3.2. Tekedağı formasyonu (JKt).....	46
4.3.3. Kırkdirek formasyonu (Kkm).....	46
4.3.4. Yamaç Molozu (Qym).....	48
4.4. Jeoteknik Çalışmalar	49
4.4.1. Çandır formasyonu (TRaç).....	55
4.4.2. Tekedağı Formasyonu (JKt)	59
4.4.3. Kırkdirek Formasyonu (Kkm)	63
4.4.4. Yamaç Molozu (Oym).....	67
4.4.5. Yapay dolgu (Yd)	69
4.5. Km:74+410-74+700 Arası Heyelan Analizi	71
5. TARTIŞMA	76
5.1. Senaryo 1 için Değerlendirme.....	76
5.2. Senaryo 2 için Değerlendirme.....	76
5.3. Senaryo 3 için Değerlendirme.....	77
5.4. Senaryo 4 için Değerlendirme.....	77
5.5. Senaryo 5 için Değerlendirme.....	77

5.6. Senaryo 6 için Değerlendirme.....	78
6. SONUÇLAR.....	79
7. KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Kemer - Kumluca Karayolu KM 74+410 - 74+700 arası heyelan etüdü” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

31/05/2019

Ertuğrul AKÇA



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Bq	: Bekerel
°C	: Santigrat derece
c	: Kohezyon
c'	: Efektif Kohezyon
ϕ	: İçsel Sürtünme Açısı
ϕ'	: Efektif İçsel Sürtünme Açısı
α	: Şevin Yatayla Yaptığı Açısı
E_m	: Elastisite Modülü
F	: Emniyet katsayısı
$I_{s(50)}$: Nokta Yüğü Dayanım İndeksi
Kg	: Kilogram
Km	: Kilometre
kN/m^3	: Kilonewton/metreküp
kPa	: Kilopascal
k_h	: Yatay Deprem Katsayısı
k_v	: Düşey Deprem Katsayısı
MPa	: Megapascal
q_u	: Tek Eksenli Basınç Dayanımı
r_u	: Boşluk Suyu Basınç Katsayısı
SPT (N)	: Standart Penetrasyon Testi Darbe Sayısı
u	: Boşluk suyu basıncı
γ	: Birim Hacim Ağırlık
γ'	: Doygun Birim Hacim Ağırlık
W	: Ağırlık

Kısaltmalar

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

GB : Güneybatı

GSI : Geological Strength Index (Jeolojik Dayanım İndeksi)

ISRM : International Society for Rock Mechanic (Uluslararası Kaya Mekaniği Topluluğu)

MTA : Maden Tetkik Arama

RQD : Rock Quality Designation (Kayaç Kalite Göstergesi)

SPT : Standart Penetrasyon Testi

SRM : Strength Reduction Method (Mukavemet Azaltma Yöntemi)

TS : Türk Standardı

USCS : Unified Soil Classification System (Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Meydana gelen doğal afetlerin kıtalara göre dağılımı	1
Şekil 1.2. İlçelere göre Türkiye heyelan olay sayısı dağılım haritası	3
Şekil 1.3. Yer bulduru haritası	5
Şekil 2.1. Şevlerin tanımında kullanılan terimler	12
Şekil 2.2. Kaya kütleleri içerisinde kaya/blok düşmesine sebep olan süreçler.....	16
Şekil 2.3. Devrilme türleri	17
Şekil 2.4. Eğrisel yüzeye sahip kaymalar	17
Şekil 2.5. Dairesel (Dönel) kayma	18
Şekil 2.6. Düzlemsel kaymaların sınıflandırılması a) Düzlemsel kayma; b) Kama tipi kayma; c) Çok yüzeyli kaymalar.....	19
Şekil 2.7. Yanal yayılma türleri a) Yanal kaya yayılması; b) Yanal zemin yayılması...	20
Şekil 2.8. Akma yenilmesi	20
Şekil 2.9. Karmaşık hareketler.....	21
Şekil 2.10. Basit Dilim Yönteminde dikkate alınan kuvvetler	23
Şekil 2.11. Basitleştirilmiş Bishop yöntemindeki dilim kuvvetleri	24
Şekil 2.12. Janbu tarafından önerilen yöntemde kullanılan parametreler.....	26
Şekil 2.13. Janbu'nun düzeltme faktörü	27
Şekil 2.14. Spencer yönteminde emniyet katsayısı.....	28
Şekil 2.15. Morgenstern-Price yönteminde dilimler arası kuvvetlerin fonksiyon türleri.....	29
Şekil 2.16. Bishop ve Morgenstern-Price yöntemlerinin karşılaştırması	30
Şekil 2.17. Çalışma alanı ve çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası	34
Şekil 2.18. Heyelan alanının jeoloji haritası	35
Şekil 2.19. Beydağları otoktonu ile Antalya naplarının genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri.....	36
Şekil 2.20. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	37
Şekil 2.21. Çalışma alanı çevresinde meydana gelmiş depremler	38
Şekil 3.1. "GEO5 Slope Stability" programı genel görünüşü.....	41
Şekil 3.2. Mühendislik parametrelerinin girildiği "Soils" komutunun genel görünüşü .	41
Şekil 4.1. Litolojik birimlerin su geçirimsizliğine (K, m/s) göre sınıflandırılması.....	44
Şekil 4.2. Triyas yaşlı kiltası-silttaşı birimi (TRaç).....	45

Şekil 4.3. Çandır formasyonuna (TRaç) ait kumtaşı seviyeleri	45
Şekil 4.4. Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (JKt)	46
Şekil 4.5. Kretase yerleşim yaşlı ofiyolitik melanj (Kkm)	47
Şekil 4.6. Düşük kotlarda gözlenen ofiyolitik melanjdan bir görünüm (Kkm)	47
Şekil 4.7. Ofiyolitik melaj içerisinde yer alan grafit seviyesi.....	48
Şekil 4.8. Çalışma alanında gözlenen Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Oym).....	49
Şekil 4.9. Gerçekleşen kütle hareketi sonrası görünüm.....	49
Şekil 4.10. Gelişen kütle hareketine karşıdan bakış	50
Şekil 4.11. Sol yamaç şev tepesi üzerinde gelişen çatlaklar ve su çıkışı.....	51
Şekil 4.12. Gelişen kütle hareketinin topuğunda gözlenen su çıkışları	51
Şekil 4.13. Bölgenin farklı tarihlerdeki uydu görüntüleri.....	51
Şekil 4.14. Heyelan üzerinde uygulanan sondaj çalışmaları.....	52
Şekil 4.15. Heyelan alanının düşey kesiti	52
Şekil 4.16. Çandır formasyonunun ayrıışmış seviyelerine (TRaç-W5) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği	59
Şekil 4.17. Çandır formasyonuna (TRaç) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği..	59
Şekil 4.18. Tekedağı formasyonuna (JKt) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği.	62
Şekil 4.19. Kırkdirek formasyonunun ayrıışmış seviyelerine (Kkm-W5) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği	66
Şekil 4.20. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği.....	67
Şekil 4.21. Granüler zeminlerde SPT (N) - ϕ^{\prime} - OCR ilişkisi.....	68
Şekil 4.22. Granüler zeminlerde SPT (N) - ϕ^{\prime} - OCR ilişkisi.....	70
Şekil 4.23. Senaryo 1 statik durum analiz sonuçları.....	71
Şekil 4.24. Senaryo 1 dinamik durum analiz sonuçları	72
Şekil 4.25. Senaryo 2 statik durum analiz sonuçları	72
Şekil 4.26. Senaryo 2 dinamik durum analiz sonuçları	73
Şekil 4.27. Senaryo 3 statik durum analiz sonuçları.....	73
Şekil 4.28. Senaryo 3 dinamik durum analiz sonuçları	74
Şekil 4.29. Senaryo 4 statik durum analiz sonuçları.....	74
Şekil 4.30. Senaryo 5 statik durum analiz sonuçları.....	75
Şekil 4.31. Senaryo 6 statik durum analiz sonuçları.....	75

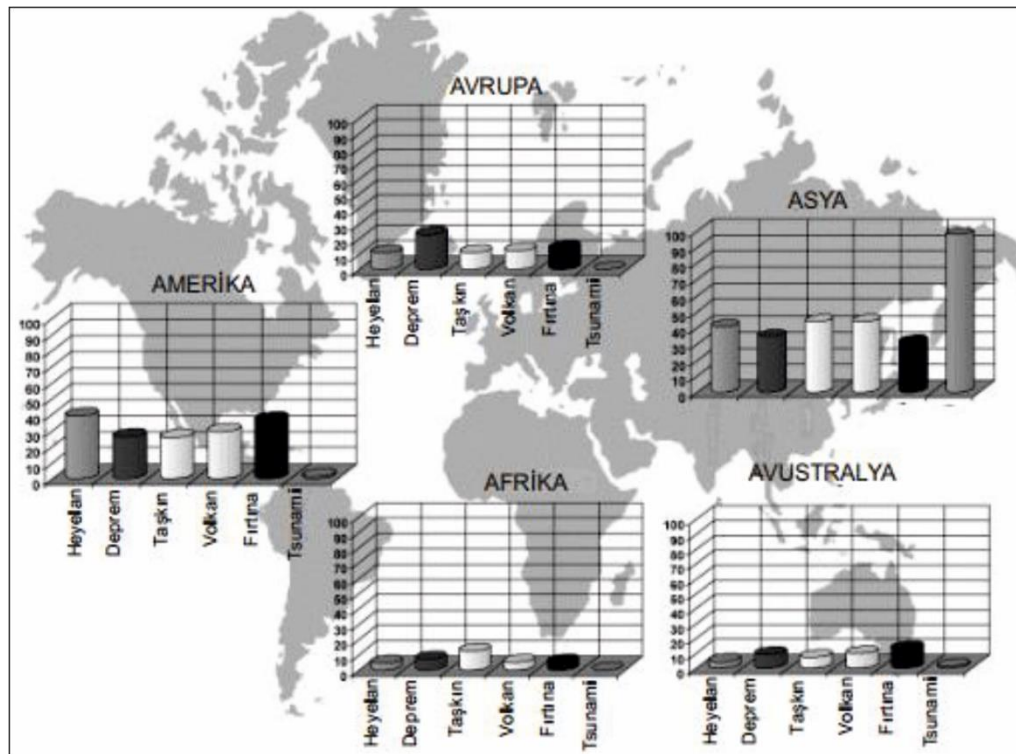
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kütle hareketleri için sınıflandırma	13
Çizelge 2.2. Şev hareket hızına göre sınıflandırma	14
Çizelge 2.3. Sınır denge yöntemlerinin özeti	30
Çizelge 2.4. Yamaç ve Şevlerde Emniyet katsayısı (TS 8853/Şubat/1991)	31
Çizelge 4.1. Heyelan alanındaki sondajlardan elde edilen dayanım değerleri.....	53
Çizelge 4.2. Heyelan alanında yapılan sondajlardan elde edilen ayrışma değerleri	54
Çizelge 4.3. Çandır formasyonu ayrıışmış seviyelerinin (TRaç-W5) deney sonuçları ...	55
Çizelge 4.4. Çandır formasyonuna (TRaç) ait deney sonuçları	55
Çizelge 4.5. Çandır formasyonuna ait kaya kütle parametreleri.....	56
Çizelge 4.6. Çandır formasyonu ayrıışmış seviyesine (TRaç-W5) ait GSI puanlaması ..	57
Çizelge 4.7. Çandır formasyonuna (TRaç) ait GSI puanlaması.....	58
Çizelge 4.8. Tekedağı biriminin (JKt) kaya kütle sınıflaması	60
Çizelge 4.9. Tekedağı formasyonuna ait GSI puanlaması	61
Çizelge 4.10. Tekedağı formasyonuna (JKt) ait kaya kütle parametreleri	62
Çizelge 4.11. Kırkdirek formasyonu ayrıışmış seviyelerinin (Kkm-W5) deney sonuçları	63
Çizelge 4.12. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait deney sonuçları	63
Çizelge 4.13. Kırkdirek formasyonu ayrıışmış seviyesine (Kkm-W5) ait GSI puanlaması.....	64
Çizelge 4.14. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait GSI puanlaması.....	65
Çizelge 4.15. Kırkdirek formasyonuna ait kaya kütle parametreleri	66
Çizelge 4.16. Yamaç molozuna (Qym) ait deney sonuçları	67
Çizelge 4.17. Zeminlerin sıklılığı / katılığı ile doğal birim hacim ağırlık arasındaki ilişki.....	68
Çizelge 4.18. Zeminlerin sıklılığı / katılığı ile doğal birim hacim ağırlık arasındaki ilişki.....	69
Çizelge 4.19. Heyelan analizinde kullanılan birimlere ait jeoteknik parametreler	70
Çizelge 5.1. Senaryo 1 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları.....	76
Çizelge 5.2. Senaryo 2 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları.....	76
Çizelge 5.3. Senaryo 3 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları.....	77

1. GİRİŞ

Deprem, sel, fırtına, büyük dalgalar, volkan ve heyelanlar; insan ve diğer canlıların yaşamını önemli ölçüde ilgilendiren ve dünya nüfusu büyüdükçe önemi artan doğa olaylarıdır. Dünyanın birçok ülkesi bu doğal olaylardan zarar gördüğü gibi; yer kabuğunun önemli bir noktasında yer alan ülkemiz de, büyük dalgalar ve volkanik aktiviteler dışında, diğer doğa olaylarından payına düşeni almaktadır. Sonrasında afete dönüşen bu doğa olayları sadece insanların can ve mal emniyetini tehdit etmekte kalmayıp, ülke ekonomisini de büyük kayba uğratmaktadır. Söz konusu doğa olaylarından biri olan heyelanların araştırılması, deprem ve fırtına gibi diğer olası tehlikelere kıyasla daha iyi yapılabilmektedir. Buna rağmen; dünya genelinde heyelanların neden olduğu hasar ve kayıpların giderek arttığı görülmektedir. Heyelanların doğrudan verdiği zararlar ile heyelanların önlenmesi ve iyileştirilmesi hakkındaki bütün çalışmaların dünya ekonomisine yaklaşık maliyeti, yılda 50 milyar dolar olarak düşünülmektedir (Demiryürek 2002).

Alacantira ve Ayala (2002)'in araştırmasına göre, doğa olaylarından biri olan heyelanlar dünyanın her bölgesinde görülen doğal tehlikelerdir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Meydana gelen doğal afetlerin kıtalara göre dağılımı (Alacantira ve Ayala 2002)

Dünyanın farklı bölgelerinde meydana gelmiş; can ve mal kaybına neden olmuş bazı heyelanlar (Ünsal 2005):

- Elm Kasabası Heyelanı (İsviçre, 1881) 200 yaralı, 150 ölü
- Vaiont Barajı Heyelanı (İtalya, 1960) 2000 ölü

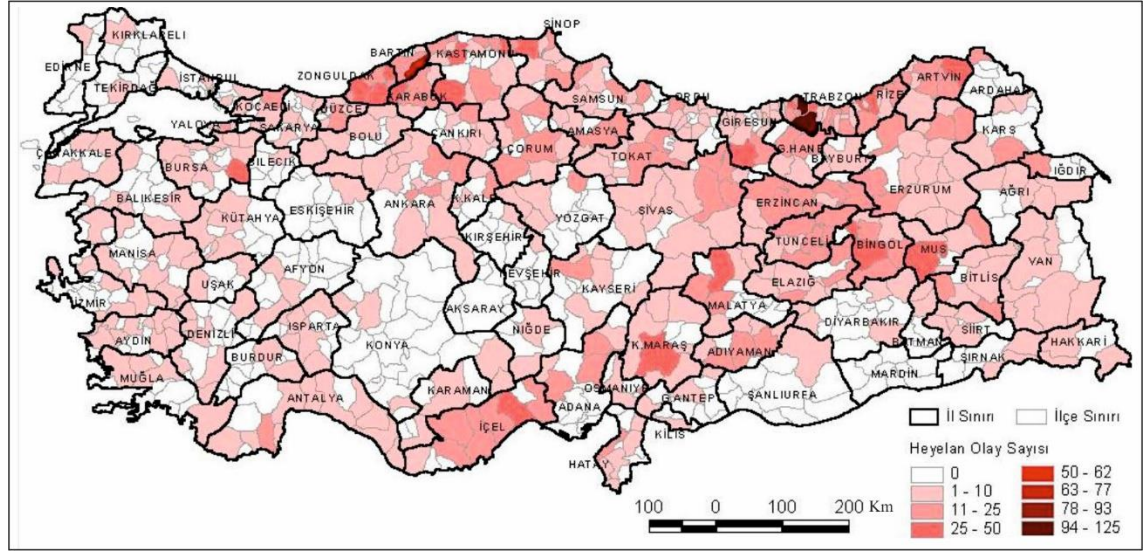
• Galler Aberfan Heyelanı (İngiltere, 1966)	144 ölü
• Huascaran Heyelanı (Peru, 31 Mayıs 1970)	17000 ölü
• Batı Virginia Heyelanı (1972)	118 ölü
• Montara Heyelanı (1974)	450 ölü
• Guetemala Heyelanı (10 Ekim 2005)	1500 ölü

Dünyada olduğu gibi; Türkiye’de de doğal afetler nedeniyle her yıl pek çok insan yaşamını yitirmekte ve önemli düzeyde ekonomik kayıplar meydana gelmektedir. Heyelanlar, Türkiye’de verdikleri zararlar açısından doğal afetler içerisinde ikinci sırada yer almaktadır (İldır 1995). Türkiye’de 1958 - 2000 yılları arasında gerçekleşmiş ve oluşması muhtemel heyelanlar nedeniyle 4250 yerleşim birimi etkilenmiş, 197 kişi hayatını kaybetmiş ve riskli alandaki 63.000 konut yer değiştirilerek güvenli bölgelere taşınmıştır (Anonim 1).

Ülkemizde can ve mal kaybına neden olan önemli heyelanlar (Bıçakçı ve Özgür 1995; Anonim 1);

• Sürmene - Of Heyelanı (Mayıs, 1929)	146 ölü, 9 yaralı
• Kanlıdere - Fındıklı (Rize) Heyelanı (1979)	5 ölü, yol kapandı
• İkizdere (Rize) Heyelanı (1982)	8 ölü, yol kapandı
• Çatak - Maçka (Trabzon) Heyelanı (1988)	64 ölü, yol kapandı
• Senirkent (Isparta) Çamur Akması (Temmuz, 1995)	74 ölü, 46 yaralı
• Koyulhisar (Sivas) Heyelanı (Mart, 2005)	15 ölü
• Çöllolar Kömür Ocağı (K.Maraş) Heyelanı (2011)	20 ölü

Türkiye’de 1950 - 2004 yılları arasında Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yapılan heyelan etütleri neticesinde, meydana gelen heyelan olay sayısının ilçelere göre dağılımı temel alınarak oluşturulan “İlçelere Göre Türkiye Heyelan Olay Sayısı Haritası (1950 - 2004)” aşağıda sunulmuştur (Şekil 1.2) (Yardımcı 2018).



Şekil 1.2. İlçelere göre Türkiye heyelan olay sayısı dağılım haritası (Ünsal 2005)

Şekil 1.2’de de görüldüğü gibi Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgeleri, Türkiye’de heyelan olaylarının yoğun olarak gözlemlendiği bölgelerdir. Ancak heyelan olayları jeolojik, topoğrafik ve iklimsel şartlarının uygun olduğu her bölgede görülebilmektedir.

Diğer taraftan ulaşım, sosyal ve ekonomik açıdan toplumsal yaşamın vazgeçilmez temel öğelerindedir. Bu bağlamda dünyanın birçok ülkesinde olduğu gibi; ülkemizde de karayollarının iyileştirilmesi, bakımı ve standartları daha yüksek karayollarının inşası için önemli bir kaynak ayrılmaktadır. Heyelanların tanınması, önlenmesi veya iyileştirilmesi konusundaki kapsamlı çalışmalar, genel olarak “şev stabilitesi” başlığı altında toplanmakta ve karayolları inşasında “şev stabilitesi çalışmaları” önemli bir yer tutmaktadır (Tokgözoğlu 2014).

Anadolu coğrafyasının jeolojik geçmişi ve mevcut topoğrafik koşullarına bakıldığında, son derece genç bir morfolojiye sahip olduğu ve aşırı engebeli yer şekillerini içinde barındırdığı bilinmektedir. Söz konusu bu topoğrafik koşullardan dolayı ulaşım yolları, önemli oranda topoğrafyadan bağımsız olarak tasarlanmakta ve inşa edilmektedir. Tasarlanan ulaşım yollarının arazi koşullarında uygulanması sonucunda ise bir çok sanat yapısı (istinad duvarı, köprü, viyadük gibi...), yarma ve dolgu kesitleri meydana gelmektedir (Tokgözoğlu 2014).

Karayolu güzergahları oluşturulurken; yolun yapımı, zemin koşulları ve yol standartları açısından yapılan incelemenin yanında olası heyelan etütleri büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde karayolu heyelanları ile ilgili çalışmalar çoğunlukla Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir. 1988-1998 yılları arasında yapılan ve birbirinin devamı niteliğindeki çalışmalarda, karayollarının mevcut ve potansiyel her türlü kayma hareketinin sayısı, hareket eden zeminlerin cinsi, hareketin tipi, nedenleri, hacmi, su durumu ve maliyetleri araştırılarak, karayolu güzergahları boyunca yer alan heyelanların bölgesel dağılımı araştırılmıştır. Karayolu ağındaki heyelanlar için yapılan bu çalışmaların sonuçlarına göre; en fazla heyelanın Doğu ve Batı Karadeniz Bölgelerinde olduğu (% 49) görülmüştür. Heyelan görülme

sıklığı açısından İç ve Doğu Anadolu Bölgeleri ise Karadeniz Bölgesinden sonra gelmektedir. Oluşan heyelanların % 64'ü zemin, % 36'sı kaya formasyonlarda meydana gelmiştir. Heyelanların % 52'sinin potansiyel heyelan bölgelerinde olduğu, heyelana neden olan faktörlerde ilk sırayı yüzey ve yeraltı sularının etkisinin aldığı belirlenmiştir. Su etkisi dışındaki heyelan nedenleri, etkinlik sırasına göre; bozuşma (% 37), dik yamaç ve şev eğimleri (% 28), zemin koşulları (% 23) ve diğer nedenler (% 12) olarak belirlenmiştir (Akçelik vd. 1998).

Karayolu güzergahında bulunan yamaç ve şev stabilitesi araştırmalarının amacı; can ve mal güvenliğini korumak, karayolu ulaşımının aksamasına engel olmaktır. Bu nedenle jeolojik - jeoteknik araştırma çalışmaları sırasında, heyelanların belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması için, seçilen güzergah üzerinde arazi araştırmaları dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Heyelanlı alan belirlendikten sonra ise; detaylı saha araştırmaları ile laboratuvar çalışmaları yapılarak en güvenilir yol geçiş şekli belirlenmelidir.

Mevcut karayollarında heyelanlar olduktan sonra yeniden yapım, bakım, trafik aksamaları ve dolaylı masraflar düşünülürse ciddi maddi harcamalar gerektiği görülebilecektir. Bu nedenlerle hem tüm mühendislik yapılarında hem de karayollarında karşılaşılan ve önemli sorunlardan biri olan heyelanlara karşı, güvenli ve aynı zamanda ekonomik olacak "heyelan önleme metotlarının" geliştirilmesi ve bu konuda uzman elemanların yetiştirilmesi; hem ülke ekonomisi, hem de mühendislik çalışmaları açısından büyük önem arz etmektedir (Yardımcı 2018).

Bu tez çalışması; 26 Şubat 2018 tarihinde Kemer-Kumluca D-400 Karayolu Yenbey geçişinde meydana gelen heyelan etüt çalışmalarını kapsamaktadır. Heyelan analiz çalışmaları Geo5(2019)/Slope Stability programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu çalışma alanı Antalya'nın Kumluca ilçesine bağlı olup, UTM 36S 0268434 D / 4032103 K koordinatında yer almaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Yer bulduru haritası

2. KAYNAK TARAMASI

Tez çalışması kapsamında yapılan literatür araştırmasıyla; hem inceleme alanı ve yakın çevresine ait önceki çalışmalar, hem de şev duraysızlıkları hakkındaki yayınlar incelenmiştir. İncelenen yayınlarda jeolojik, hidrojeolojik ve tektonik çalışmalar, genellikle inceleme alanı ve civarında yoğunlaşmıştır. İncelenen diğer yayınlar arasında, şev stabilitesinin sağlanması, alınacak önlemlerin tarifi ve şevlerde stabilite analiz yöntemleri ile ilgili yayınlar ağırlıklı olarak bulunmaktadır. Uluslararası ve ulusal literatürde, söz konusu proje alanındaki jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri ve yamaç/yarma şevlerinin duraylılığı hakkında herhangi bir çalışmaya erişmek mümkün olmamıştır.

Genel jeoloji; jeoloji mühendisliği biliminin önemli bir kilometre taşı oluşturmaktadır. Bölgenin jeolojik evrimini anlamak ve yorumlayabilmek için bölgenin jeolojik, stratigrafik, metamorfik, yapısal, tektonik ve orojenik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu nedenle bölge ile ilgili yapılan önemli çalışmalar araştırılmış ve kronolojik olarak aşağıda verilmiştir.

Şenel vd. (1981) tarafından belirtildiğine göre; bölgede en eski çalışma, Spratt ve Forbes (1847) tarafından yapılmıştır. Teitze (1885) Likya Bölgesi'nin jeoloji haritasını hazırlamıştır.

Kalafatçioğlu (1973) tarafından belirtildiğine göre; Colin (1955), bölgede iki ayrı Mesozoyik serisi bulunduğunu bildirerek, Elmalı serisi ve Likya serisi (sahil serisi) olarak adlandırmıştır. Resif kalkerlerden oluşmuş Likya serisinin yanal olarak sileksli kalker serilerine, çörtlere, kumtaşlarına geçiş yaptığını ve serinin içinde bazik ekstrüzfilerin ara tabakalar halinde bulunduğunu belirterek, yaşlarının Kretase olduklarını söylemiştir. Lefevre ve Marco (1970), Triyas ritmik oluşuklarını, Bey Dağları Üst Kretasesi üzerinde bir nap (Alt Antalya napı) şeklinde yer aldığını ve sahil silsilesi kalkerlerini de Triyas oluşukları üstünde ikinci bir nap (Üst Antalya napı) olarak bulunduğunu açıklamıştır.

Kalafatçioğlu (1973) tarafından, Antalya Körfezi batı kısmında önceden Komprehensif seri olarak adlandırılan Permiyen-Mesozoyik kalker serisinin yapılan etütlerle değişik fasiyesler arz ettiği görülmüş ve değişik yaşta formasyonlar kaya-stratigrafi birimleri dahilinde incelenerek, kapsadığı fosillerle bölgenin detay bir krono-stratigrafisi yapılmıştır. Ayrıca inceleme alanının tektonik yapısı çok sayıda faylar, bindirme, ekay ve şariyajlar ile karakterizedir. Tektonik ünitelerin, yani antiklinal ve senklinallerin deste halinde ardalandığı ve genel istikametinde Antalya körfezi batı kıyasına az çok paralel olduğu görülmektedir.

Özgül (1976), Torosların Kambriyen-Tersiyer aralığında çökelmiş kaya birimlerini kapsadığını, kuşakta birbirlerinden değişik havza koşullarını yansıtan birliklerin yer aldığını belirtmiştir. Yazar tarafından Bolkar Dağı Birliği, Aladağ Birliği, Geyik Dağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği olarak adlandırılmıştır. Bu birlikler stratigrafi ve metamorfizma özellikleri, kapsadıkları kaya birimleri ve günümüzdeki yapısal konumlarıyla birbirlerinden ayrıldığı açıklanmıştır. Birlikler birbirleriyle yüzlerce kilometre yanal devamlılık gösterirler ve çoğunlukla birbirleri üzerinde allokon örtüler oluştururlar. Bolkar Dağı, Aladağ, Geyik Dağı ve

Alanya Birlikleri şelf türü karbonat ve kırıntılı kayaları kapsamaktadır. Bozkır ve Antalya Birlikleri ise daha çok derin deniz çökellerini, ofiyolitleri ve bazik denizaltı volkanitlerini kapsamaktadır.

Robertson ve Woodcock (1981)'a göre, Alakırçay Grubu, Mesozoik tortul kayalardan oluşmaktadır. Sedimentler, nispeten otoktonun karbonat platformuna (Bey Dağları Bölgesi) doğu batı yönünde ilerleyen tektonik olarak bir itme tabakaları (Kumluca Bölgesi) yığını oluşturmaktadır. Kumluca Zonu, kıtasal ayrışmanın erken evrelerinde ortaya çıkan ve ilgili çökeller (Gödeneye Zonu) ile mafik ve ultramafik kayalar ile doğuda tektonik olarak sınırlanmıştır.

Yılmaz (1981), Kumluca Kompleksi olarak incelediği birimin, alttan üste doğru şeyl, silttaşı, bitkili kumtaşı, Halobia'lı kireçtaşı ve tabakalı çört kapsadığını vurgulamıştır. Ayrıca araştırmacı kırıntılı kayalar, Halobia'lı kireçtaşları ve resif blokları marnların Üst Triyas; tabakalı çörtlerin ise Jura-Kretase yaşında olduğunu belirtmiştir.

Şenel (1985), Kumluca (Antalya güneybatısı) kuzeyinde, Kumluca Zonu (Robertson ve Woodcock, 1981) ve Kumluca Kompleksi (Yılmaz, 1981) olarak adlandırılan birimin Jura-Kretase yaşında olduğu savunulan tabakalı çörtlerde, Halobia ve Daonella fosilleri bulunarak yaşının Orta -Üst Triyas (Ladiniyen-Noriyen) olduğunu belirtmiştir.

Ersoy (1990), Bey Dağları Otoktonu üzerinde yer alan allokon ünitelerin kökenini araştırıp, bunlara ait bir jeolojik model ortaya koymaya çalışmıştır. Yazara göre; bu modelde en kuzeyde bir Tetis alanı ve onun güneyinde sırası ile örtü kuşağı ile birlikte Menderes Masifi, Batı Toros Teknesi ve Bey Dağları Otokton Zonu yer almaktadır. En güneyde ise Antalya Napları Zonu bulunmaktadır. Bölgenin kayaları otokton, para-otokton ve allokon olmak üzere sınıflanmıştır. Otoktonlar, Üst Triyas'tan Orta Miyosen'e kadar genelde neritik karakterlidir. Para-otoktonlar, Batı Toros Teknesi'nin asıl kayaları olup genelde Üst Liyas'a kadar neritiktirler. Kuzey kökenli naplar ise bölgenin gerçek yabancı kayaları olup ofiyolitlerden oluşmaktadır. Ayrıca naplaşma hareketlerinin Orta Miyosen (Langiyen)'de son bulması ile paleotektonik dönem sona erip, neotektonik dönem başlamıştır.

Kara vd. (2005) tarafından, 1900'den beri ülkemiz sınırları içinde ölçülen deprem büyüklüklerinden, Antalya ve civarını içeren bölgenin yıllık en büyük değerleri elde edilmiş ve farklı dağılım modelleri kullanılarak frekans analizi uygulanmıştır. Araştırmaya göre; Antalya ili ve yakın çevresi; sismoteknik bölge olarak Fethiye-Burdur Fay Zonunda, Helenik-Kıbrıs Yayı'nın Plini ve Strabo hendekleri ile Antalya Körfezi'nde uzanan bölümünde ve Aksu bindirmesi boyunca uzanan faylarında meydana gelen hasar yapıcı depremlerden etkilenmektedir. Depremler, genellikle Helenik-Kıbrıs Yayı'nın Plini ve Strabo hendekleri boyunca yoğunlaşmaktadır. Ayrıca Antalya İli deprem risk analiz hesaplarında; hizmet ömrü 50 yıl ve % 10 risk taşıdığı kabul edilen mühendislik yapıları için, ortalama tekerrür periyodu 336 yıl ve dayanmaları gereken deprem büyüklüğü, olasılık dağılımlarının ortalaması olarak 6.84 olarak bulunmuştur.

Bağcı vd. (2006) tarafından, Tekirova Ofiyolit Napı'nda ofiyolitlerin ilksel kayaçlarında önemli jeokimyasal ve petrolojik çalışmalar gerçekleştirilmiş olup; magma oluşumu ve tektonik ortamına ilişkin veriler üretilmiştir.

Aksoy ve Aksarı (2008) çalışmalarında, Beydağları Otoktonu üzerinde tektonik dokanakla Likya Naplarına ait birimlerin bulunduğunu belirtmişler ve Likya Naplarının, Beydağları Otoktonu üzerine yerleşmesi muhtemelen Erken Langiyen'de olduğunu açıklamışlardır.

Çelik (2009) tarafından, Mesozoyik – Senozoyik yaşlı Bey Dağları platform karbonatları üzerine bindiren Alakırçay melanji GB Türkiye'de yer almakta olup, bünyesinde farklı kökenli kayaç gruplarının olduğu belirtilmiştir. Alakırçay melanji içinde yüzeyleyen volkanik kayaçlar, Alakırçay melanji içerisinde tektonik dilimler halinde gözlemlenmiştir. Volkanik kayaçların genel jeokimyasal özellikleri, bu kayaçların alkali özellikte olduklarını göstermiştir. Alakırçay melanji içerisinde yüzeyleyen volkanik kayaçlar, okyanus içi yitim süreçlerinde oluşan ofiyolitlerle ilgili metamorfik kayaçların bir bölümü ile kıyaslanmış ve benzer jeokimyasal özellikler gösterdikleri saptanmıştır.

Leventeli (2010), "Tahtalı Dağı'nın (Antalya) Hidrojeolojik Geleceği" adlı araştırmasında, Tahtalı Dağı'nın Antalya Körfezi batı kenarı boyunca uzandığını, temel olarak; dolin gibi karstik yapıların yer aldığı kireçtaşından oluştuğunu belirterek bu karstik yapıların kışın kar ile dolduğunu ve daha sonra yeraltı sularını beslediğini vurgulamıştır. Ayrıca "kayak pisti" gibi büyük ölçekli bir projenin, çevredeki su kaynaklarına etkilerini irdelemiştir.

Uçar vd. (2016) tarafında, Antalya'nın sismik tehlike analizlerinde kullanılan sismik kaynak parametrelerinin tahmini üzerine çalışma yapıldı. Çalışma; Antalya şehir merkezinden 250 km yarıçaplı bir daire içerisinde belirlenen 5 kaynak alan bölgeleri ile modellendi. Kaynak bölgelerinin sınırları bölgenin sismotektonik yapısına göre belirlendi ve büyüklük tekrarlama parametreleri Gutenberg Richter ilişkisi ile hesaplandı. Çalışmalar sonucunda; Tüm kaynak bölgeleri için a ve b tekrarlama parametrelerinin sırasıyla 3,24-4,61 ve 0,66-0,97 arasında olduğu saptanarak, bölgede büyüklüğü 5,0 veya daha büyük bir depremin olma olasılığının 50 yıl içerisinde %100 olduğu belirlenmiştir.

Yalçın ve Ünal (2018) çalışmalarında, Antalya'nın batı bölgesindeki ofiyolitlerin doğal radyoaktivite düzeylerini ve insan sağlığına etkilerini araştırmışlardır. Analiz sonuçlarında radyoaktivite değerlerinin ^{40}K (Potasyum) için 29 - 986 Bq / kg, ^{238}U (Uranyum) için 0 - 212 Bq / kg ve ^{232}Th (Toryum) için 1 - 104 Bq / kg arasında değiştiğini belirlemişlerdir.

Şev stabilite analizleri, jeoteknik mühendisliğinin en önemli konularından bir tanesidir. Bu nedenle karayolu ve diğer projelerdeki şev stabilitesi ile ilgili yol gösterici önemli yayınlar, kronolojik olarak aşağıda sunulmaktadır.

Özsoy (1998), "Kohezyonlu ve Kohezyonsuz Zeminlerde Şev Stabilitesi ve Uygulama Yöntemleri" adlı çalışmada, yamaç ve şev stabilitesinde kütle hareketlerini sınıflandırarak, jeomorfolojik açıdan incelemiştir. Şev stabilitesinin

etüdünde; arazi ve laboratuvar çalışmalarıyla, stabilite bozulmalarını denetleyen etmenler üzerinde durmuştur. Şev stabilitesinin sağlanmasını ve bu konuda alınacak önlemleri, örneklerle anlatmıştır. Ayrıca ankraj tekniği üzerinde yoğunlaşmıştır.

Canik (2006), ‘‘Şev Stabilitesinde Kullanılan Kazıkların Deprem Etkisi Altındaki Davranışı’’ adlı çalışmasında, şev hareketlerine sebep olan faktörlerden bahsederek, kazıklarla şev stabilitesinin hesap ve analiz metotlarını incelemiştir. Şevlerin stabilitesinin kazıklarla sağlanmasını ve kazıklara etkiyen deprem kuvvetini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir ve örnekleri ile sunmuştur. Bu örneklerden elde edilen bulgularla kazıkların deprem esnasındaki davranışlarını yorumlamıştır.

Öz (2007) çalışmasında, ilk olarak şev stabilitesi ile ilgili tanımlar yapmış, şev hareket tiplerini ayrıntılı olarak anlatmış ve şev hareketlerinin nedenleri üzerinde durmuştur. Ayrıca çalışmasında şev stabilitesi analiz yöntemlerinden bahsetmiş, şev stabilitesinin incelenmesi için arazi ve laboratuvar çalışmalarını açıklamış, kitle hareketleri ve heyelan önleme yöntemlerini tanımlamıştır. Çalışmasının uygulama kısmında inceleme alanı çevresinde çeşitli arazi ve sondaj çalışmaları yaparak kullanılacak dolgunun jeoteknik özelliklerine göre üç tip zemin çeşidi belirlemiş ve baraj dolgusundaki stabilitenin araştırılması için Stable Vs4 programı kullanmıştır. Uygulamanın birinci kısmında baraj dolgusu için belirlenen üç tip zemin çeşidi kullanarak baraj dolgusunda oluşabilecek kayma yüzeyleri ve koordinatları Stable Vs4 programı ile bulmuş ve bunlara bağlı olarak güvenlik katsayıları hesaplamıştır. Bu sonuçlara göre; bulunan kayma yüzeylerinde şevin stabilitesi, deprem ve deprem + boşluk suyu basıncı etkisini de araştırmıştır. Uygulamanın ikinci kısmında ise; baraj dolgusundaki üç tip zemin çeşidinden sadece barajın mansap kısmındaki zeminin karakteristik özelliklerini değiştirerek, baraj dolgusunun stabilitesinin araştırılmasını amaçlamıştır. Bu amaçla seçtiği zeminin dane birim hacim ağırlığını sabit tutarak kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk suyu basıncı değişimlerinin kayma yüzeylerine ve güvenlik sayılarına etkisini incelemiştir.

Akçakal (2009), şev stabilitesinin kaybolduğu, bir başka ifade ile göçmenin gerçekleştiği durumlarda geri hesap yöntemini kullanarak zemin parametrelerine nasıl ulaşılacağı konusunda araştırmalar yapmıştır. Araştırma konusuyla ilgili olarak da İstanbul Kemerburgaz’da, gerçekleştirilen bir konut inşaatı sırasında desteksiz olarak açılan temel kazısında meydana gelen şev hareketini, önce limit denge yöntemini, sonra da sonlu elemanlar yöntemi ile hesap yapan bilgisayar programlarını kullanarak incelemiştir. Sonuç olarak; elde edilen kesme dayanım değerlerini karşılaştırmış ve geri hesaplanan zemin parametrelerine göre tasarlanan iyileştirme projesi hakkında bilgiler aktarmıştır.

Tekin (2011) çalışmasında; şev stabilite analizlerini limit denge ve sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak kazıksız ve kazıklı durumlar için incelemiştir. En önemli hedefi sonlu elemanlar yöntemi ile dayanım azaltma yöntemini (Strength Reduction Method, SRM) bir arada kullanarak kayma yüzeyinin, şev güvenlik seviyesinin değişimine bağlı olduğunu belirlemektir. Bu amaca uygun olarak, şev stabilite problemlerinin hem limit denge yöntemine göre Slope/W programında hem de sonlu elemanlar yöntemine göre Plaxis programında parametrik analizlerini yapmıştır. SRM yönteminde şevi oluşturan zemin tabakasının mukavemet parametrelerini kademeli olarak azaltmış ve şevde göçme meydana getirmiştir. Elde edilen F_{SRM}

değerlerini, o şevin emniyet katsayısı olarak tanımlamış ve limit denge yöntemine göre elde edilen güvenlik katsayıları ile karşılaştırmıştır. Ayrıca şevin güvenlik seviyesini arttırmak için yerleştirilen kazıkların güvenlik katsayısına ve kritik kayma yüzeyine etkisini de inceleyerek şev göçmesinin oluşumuna dair bilgileri elde etmiştir.

Can (2012), "Taşlıtepe Açık İşletmesinde Jeomekanik Parametrelerin Belirlenmesi ve Şev Satabilitesi" adlı çalışmada, jeolojik birimlerin jeoteknik özelliklerini, sondaj karotlarından alınan örnekler üzerinde kaya ve zemin mekaniği deneyleri yaparak tayin etmiştir. Belirlenen dayanım parametreleri, "Micromine" yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu analizler sonucunda, şevlerin stabilitesinin yeraltı su tablası yükselmesine çok duyarlı olduğunu belirlemiştir. Ayrıca işletmede üç adet dairesel olmayan kayma tipi, çok yüzeyli ve ötelenmeli duraysızlık saptamıştır.

Yiğit (2013) tarafından, Isparta - Antalya arasındaki D-685 karayolu geçkisinde görülen heyelanların mühendislik açısından incelenmesi yapılmıştır. Çalışmada; öncelikle geçki boyunca heyelanların olabileceği yerler gözden geçirilerek, mevcut heyelanlar teker teker incelenmiş ve laboratuvar çalışmaları için gerekli numuneler alınmıştır. Çalışmalar sonucunda heyelanların meydana gelmesinde, mevsim normallerinin üzerindeki aşırı yağışların, birimlerin suya doygun hale gelmesi sonucu boşluk suyu basıncının artmasının ve buna bağlı olarak efektif gerilmenin azalmasının etkili olduğu görülmüştür.

Gökcan (2014) tarafından, Antalya-Burdur karayolu üzerinde bulunan Tekke heyelanının mevcut zemin malzeme durumu incelenmiştir. Tekke heyelanına ait elde edilen veriler, bir sonlu eleman analiz programı olan PLAXIS ile yorumlanmıştır. Yapılan değerlendirme ve hesaplar sonucunda; mevcut boyutu giderek artan bir heyelandan korumak için, en uygun çözümün forekazık uygulaması olduğu saptanmıştır. Heyelanlı bölgenin etrafı, uygun şekilde drene edilecek biçimde uygulanmıştır. Heyelan bölgesindeki şev, altına su girişine izin verilmeyecek şekilde tasarlanmıştır.

Taşkıran vd. (2015), sonlu elemanlar yöntemini, şev stabilitesi problemlerinin analizinde uygulanabilirliğini, iki ve üç boyutlu modellemeler yaparak araştırmıştır. Şevlerin stabilitesini sonlu elemanlar yöntemi ile analiz etmiş ve kumlu bir şev örneği ile göçmeye karşı güvenlik sayısını mukavemet azaltma tekniği ile elde etmiştir. Çalışmada iki ve üç boyutlu modellemenin sonlu elemanlar analizi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Ayrıca, limit denge yöntemini kullanarak şev stabilite analizlerini gerçekleştirmiş ve elde edilen güvenlik sayılarını sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırmıştır. Çalışma sonucunda, üç boyutlu şev modeliyle elde edilen güvenlik sayısı değerlerinin, iki boyutlu durumda elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür. Ek olarak mukavemet azaltma yöntemi ile elde edilen emniyet katsayısı değerlerinin, limit denge yöntemi ile elde edilen emniyet katsayısı değerleriyle uyumlu olduğu saptanmıştır.

Yamak (2017) tarafından, eski ve kontrolsüz karayolu dolgu şevlerindeki su seviyesi artışlarının şev stabilitesine etkisi, Slide programı ile incelenmiştir. Bu amaçla Karayolları Genel Müdürlüğüne ait tip yol kesitleri kullanılmıştır. Çalışmada 34°, 45°, 60° olmak üzere üç farklı dolgu eğimi ve 3, 4, 5, 6 metre olmak üzere dört farklı dolgu yüksekliği kullanılmıştır. Çalışmada orta katı kil zemin-zayıf dolgu, orta katı kil zemin-

orta sağlam dolgu, yumuşak kil zemin-orta sağlam dolgu, yumuşak kil zemin-zayıf dolgu olmak üzere dört farklı zemin-dolgu kombinasyonu kullanılmıştır. Çalışma aynı zamanda hem statik hem dinamik durumlar için yapılmıştır. Çalışmada güvenilir bir yöntem olan Spencer yöntemi kullanılmıştır. Sonuç olarak; dolgu üzerinde su seviyesi artışının, emniyet katsayısını arttırdığı görülmüştür. Bu durumun nedeni ortamdaki suyun, dolgu topuğunda destek görevi görerek stabiliteyi arttırması olarak açıklanmıştır.

Yardımcı (2018) tarafından, Ağrı – Kağızman Devlet Yolu güzergahının Sarıbulak ile Kağızman arasındaki heyelanlı kesimler incelenmiştir. Rezidüel dayanım parametreleri, yeraltı suyu konumu verileri ve sondajlarla belirlenen veriler geriye hesaplama analizine tabi tutularak, meydana gelmiş heyelanlar için, uzun vadede duraylı kalmalarını sağlayacak yeni şev tasarımları önerilmiştir.

Baştuğ (2018), Antalya ili, Adrasan ve Olimpos bölgesinde heyelan oluşumunu ve etkisini azaltmak için, frekans oranı ve lojistik regresyon yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritalama çalışması yapmıştır. Araştırmacı bu amaç doğrultusunda; bölgede heyelan oluşumunu etkilediğini düşündüğü 11 parametreyi (eğim, bakı, eğrisellik, litoloji, yollara uzaklık, yapısal unsurlara uzaklık, sediman taşıma kapasite indeksi, akış gücü indeksi, nemlilik indeksi, drenaj ağına uzaklık, yükseklik) dikkate alarak, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ortamında bir veri tabanı oluşturmuştur. Sonuç olarak, analiz yöntemleri (lojistik regresyon ve frekans oranı) ile heyelan duyarlılık haritaları üretilmiş, her iki yöntemle de oluşturulan duyarlılık haritalarının, yüksek performansa sahip olduğu ve saha gözlemleri ile uyumlu olmasının, gelecekte yapılması planlanan çalışmalar için kullanılabilir nitelikte olduğu belirlenmiştir.

2.1. Şev Stabilitesi

Şev, kaya veya zemin yüzeylerinin yatayla açı yaparak meydana getirdiği geometrik şekillerdir. Mühendislik uygulaması gereken yerlerde oluşturulan şevler için genellikle “dolgu ya da kazı şevi” ifadesi kullanılırken, doğanın oluşturduğu şevler için “yamaç” veya “doğal şev” ifadesi kullanılmaktadır (Keskin 2008).

Önalp ve Arel (2004), doğanın oluşturduğu yamaçların hareketi için “heyelan” terimini, diğer şevlerin hareketi için ise “gelme”, “kayma” ya da “göçme” terimlerini kullanarak ifade etmişlerdir.

Geçmişten günümüze kadar meydana gelen şev hareketlerinin verdiği zararlara baktığımızda, mühendisler için çözülmesi gereken önemli bir problem olduğu anlaşılmaktadır. Bu hareketler, gelişmiş ülkelerde de sıkça meydana gelmekte ve bazı durumlarda ülke ekonomisini aşan ciddi ekonomik zararlara yol açmaktadır (Sassa vd. 2005). Ülkemizde doğal afetlerin vermiş olduğu ekonomik kayıplar ise, her yıl milli gelirin %1’i ile %3’ü arasında olduğu düşünülmektedir (Özmen vd. 2005).

Şev hareketleri, yaşamı ciddi ölçüde etkilemektedir. Yer kabuğunun önemli bir yerinde bulunan yurdumuz da bu tür doğa olaylarından payına düşeni fazlasıyla almaktadır. Engibeli topografyaya sahip ülkemizde, bayındırlık faaliyetlerinin gerçekleştirilebilmesi için büyük hacimde toprak ve kaya kütleleri kazılmalı ya da doldurulmalıdır (Önalp ve Arel 2004).

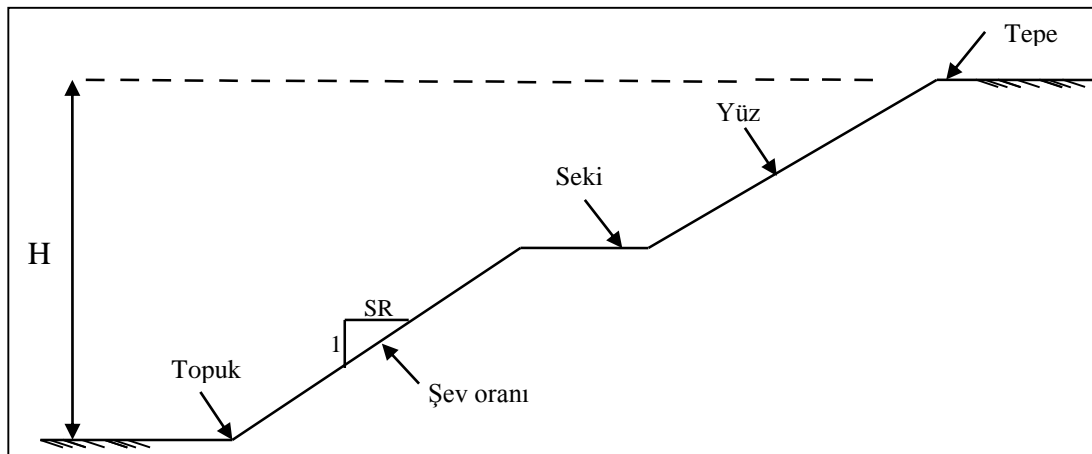
Farklı mühendislik faaliyetleri için tasarlanan şevlerin dengesini kaybetmeden, sağlam bir şekilde duraylılığını koruması için yapılan bütün çalışmalar ‘‘Şev Stabilitesi’’ çalışması altında toplanmaktadır. Şev stabilitesi çalışmaları iki bölüme ayrılabilir. Birincisi, incelenen şevin hareket etme olasılığının var olup olmadığı, ikincisi ise istenilen güvenli emniyet katsayısını sağlaması için şevin duraylılığını devam ettirecek önlemlerin alınmasıdır. Bu çalışmaların esası, hareketi mümkün kütlelerin jeolojik özelliklerinin, topografyasının, bölge depremsellik durumunun, yeraltı suyunun, şevin tasarımında kullanılacak tekniğin ayrıntılı incelenmesi ve bu incelemeler sonucunda ortaya çıkan sayısal verilerin mekanik yönden yorumlanmasıdır (Zanbak 1973).

Şevin bulunduğu bölgenin jeolojik incelemeleri, genellikle 1/1000 ölçekli planlara yapılır ve bölgeyle alakalı jeolojik özellikler bu planlara aktarılır. Şevin bulunduğu bölgenin kaya olması halinde, yüzeyde görülen ya da inceleme çukurları ve sondajlarla ortaya çıkan süreksizliklerin de planlara aktarılması gerekmektedir. Ayrıca süreksizlik içerisinde bulunan dolgularında özellikleri araştırılmalıdır. Şevin bulunduğu bölgenin zemin olması halinde ise, bölgeden zemin örnekleri alınarak mühendislik özellikleri belirlenmelidir. Bölgedeki yeraltı suyu durumu da sondajlar yardımıyla belirlenmelidir. Ayrıca bölgenin depremsellik durumuna bağlı oluşabilecek dinamik kuvvetler, yer çekimi ivmesi göz önüne alınarak hesaplanmalıdır (Zanbak 1973).

2.1.1. Şev stabilitesi terminolojisi

Coduto (2006), şevlerin tanımını yaparken bazı özel terimlerden yararlanmıştır (Şekil 2.1). Bu terimler;

- Şevin dikliğini belirleyen şev oranı daima yatay/düşey olarak anlatılır. Örneğin, 1/4’lük bir şev bir yatayı dört düşeyi anlatır ve 4/1’lik bir şevden daha diktir.
- Şev yüzeyinin kestiği yerler şevin topuğu ve tepesidir.
- Şev topuğu ve tepesi arasındaki yüzey şev yüzeyidir.
- Şev topuğu ve tepesi arasında kalan kot farkı şev yüksekliğini verir.
- Dolgu ve yarma şevlerinin yüzeyinde oluşturulan ve şevin yüzey drenajını sağlayan düzlük alana palye (seki) denir.



Şekil 2.1. Şevlerin tanımında kullanılan terimler (Coduto 2006)

2.1.2. Şev hareketlerinin sınıflandırılması

Zemin kitlelerinin oluşturduğu şevler, yer çekiminden doğan kayma gerilmeleri sebebiyle sürekli aşağıya çekilerek daha az eğimli bir yüzeye zorlanmaktadır. Bir şevde var olan kayma gerilmelerini tutabilecek seviyede kayma mukavemetleri mevcutsa o şevin stabilitesi mevcuttur. Tam tersi halinde ise şev duraylılığını kaybederek kayar.

Şev stabilitesini denetleyen etmenler, zemin özelliklerinin yanı sıra iklimsel topografik, hidrolojik, jeolojik koşullar ile şevde var olabilen titreşim kuvvetleri ve ilave yüklerdir (Özsoy 1998).

Şev hareketlerinde en çok kullanılan sınıflandırma Varnes (1978) tarafından yapılan sınıflandırmadır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Kütle hareketleri için sınıflandırma (Varnes 1978)

HAREKET TÜRÜ		MALZEME TÜRÜ		
		KAYAÇLAR	ZEMİNLER	
			İri Daneli	İnce Daneli
DÜŞME		Kaya Düşmesi	Moloz düşmesi	Zemin düşmesi
DEVİRİLME		Kaya Devrilmesi	Molozda devrilme	Zeminde devrilme
AKMA	Yavaş	Kaya Kripi	Moloz kripi	Zemin kripi
	Hızlı	Çok Parçalı Kayaç Akması	Moloz akması	Zemin akması
KAYMA	Ötelenmeli	Kaya Blok Türü Ötelenme	Zeminde ve molozda blok türü ötelenme	
	Dönel (Dairesel)	Sıkı Çatlaklı Kayada Dönel Kayma	Zeminde ve molozda dönel kayma	
YANAL YAYILMA		Kaya Yayılması	Zemin veya moloz yayılması	
KARMAŞIK		Hareket Türü ve Malzeme Karışık		

Keleşoğlu (2016)'ya göre şevli toprak yığınlarının hareketleri, oluşan hareketin cinsine ve hızına göre geniş sınıflara ayrılabilir (Çizelge 2.2).

Toprak kayması olarak bilinen heyelan, hareket eden kütlelerin etrafında ve altında olan topraktan, düzlemlerle ayrılan olaydır. Kayma düzlemi, kütlelerin en yüksek kesme kuvveti değerine ulaştığı ve büyük deformasyonların olduğu kesintisiz yüzeyi ifade eder (Gökcan 2014).

Çizelge 2.2. Şev hareket hızına göre sınıflandırma (Keleşoğlu 2016)

Hız (m/s)	Hareket	Hız	Sınıflama
10^2	Aşırı hızlı	3 m/s	kütlesel heyelan
10			
1	Çok hızlı	0,3 m/dak	kayma
10^{-1}			
10^{-2}	Hızlı	1,5 m/gün	akma
10^{-3}			
10^{-4}	Orta hızlı	1,5 m/ay	
10^{-5}			
10^{-6}	Yavaş	1,5 m/yıl	
10^{-7}			
10^{-8}	Çok yavaş	0,3 m/5 yıl	
10^{-9}			
	Aşırı yavaş		

Diagramde, hız (m/s) logaritmik olarak gösterilmiştir. Hızlar, hareket türleri ve sınıflandırmalarla ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, hareket türleri için başlangıç safhası, ara, nihai durum ve nihai durum (düzlemsel kayma-kaya kütle) ve (dairesel kayma) olarak belirtilmiştir.

Kayma olayları zeminin şekline ve hareket yönüne göre ötelenmeli ve dönел olarak sınıflandırılır. Ötelenmeli kaymalar kohezyonsuz zeminlerden oluşan şevlerde ya da katmanlı yapıda olan zeminlerdeki şevlerde oluşur. Hareket eden kütle, parçalara ayrılabilir ya da kütle halinde ayrılmadan kalabilir. Dönел kaymalar ise kohezyonlu ve homojen zeminlerde oluşan şevlerde oluşur. Kayma yüzeyi eğimlidir. Hareket eden kütle her zaman hareketin gerçekleştiği şevin eteğinde yığılır (Gökcan 2014).

Blok veya kama türü kayma, bitişiğindeki zeminin hareket etmesi nedeniyle bütün bir toprak kütlelerinin yer değiştirmesini ifade eder. Toprak bloklar veya kamalar; çatlaklar, kırıklar veya farklı özelliklere sahip malzemeler içerdiği için zeminden ayrılabilir. Bu tür kaymalar, doğal setler ve şevlerde görülebilir (Gökcan 2014).

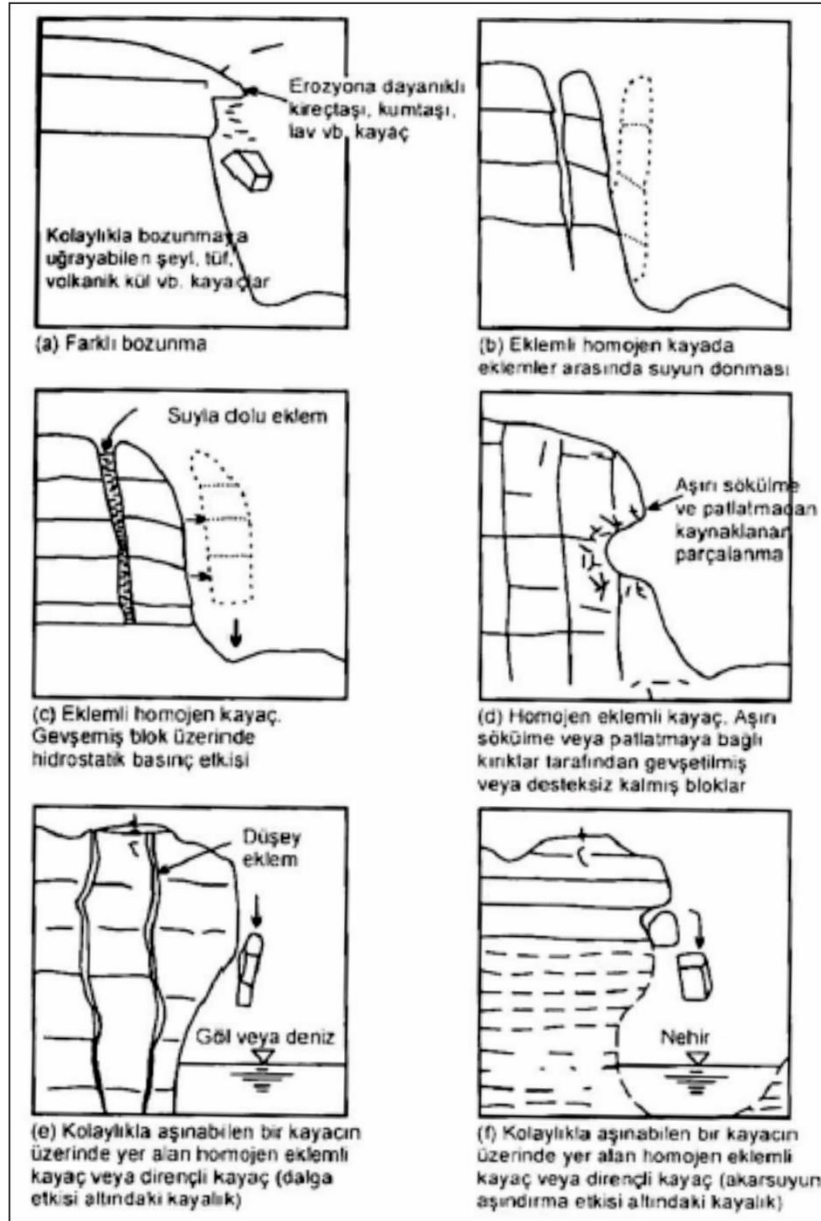
Akma ve dağılmalar, yığın şeklindeki topraklarda görülen hareket tipleridir. Akma görülen kütle kıvamı, kuru ile aşırı nemli arasında değişebilir ve akma görülen kütlede kayma yüzeyleri sürekli kaybolup belirginleşebilir. Bu yüzden akma, kayan kütle kadar net değildir. Dağılma ise, parçalanmış ya da kırılmış bir kütle için farklı yönlerde yanal hareket olarak tanımlanmasıdır. Dağılma olayında yerçekimi kuvveti ya

da başka etmenler sebebiyle hareket etmeyi durduramayan zayıf katman veya düzlemler vardır. Yanal olarak dağılımların tipik sebeplerinden biri de depremlerdir (Gökcan 2014).

Şev duraylılık analiz yöntemleri, akma ve dağılma hareketlerinin yerine blok hareketleri ile kayma hareketleri (ötelenmeli ve dönel) üzerine yoğunlaşmıştır.

2.1.2.1. Düşme

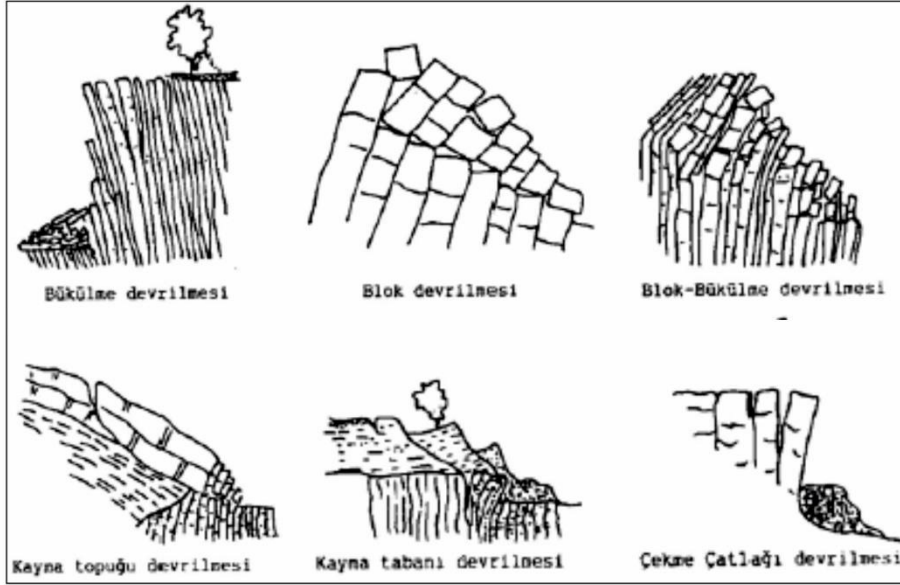
Yamaç yenilmesinden biri olan düşme; eğimli bir yamaçtan ayrılarak yer çekimi etkisiyle bulunduğu yerden aşağıya doğru düşen, düşme esnasında yuvarlanan ya da savrulan kaya veya zemin parçalarıdır (Coduto 2006) (Şekil 2.2). Malzemenin türüne bağlı olarak ‘‘Zemin (Toprak) Düşmesi’’, ‘‘Kaya / Blok Düşmesi’’ ve ‘‘Moloz Düşmesi’’ gibi tanımlanabilir (Tekin 2011).



Şekil 2.2. Kaya kütleleri içerisinde kaya/blok düşmesine sebep olan süreçler (Ulusay 2001)

2.1.2.2. Devrilme

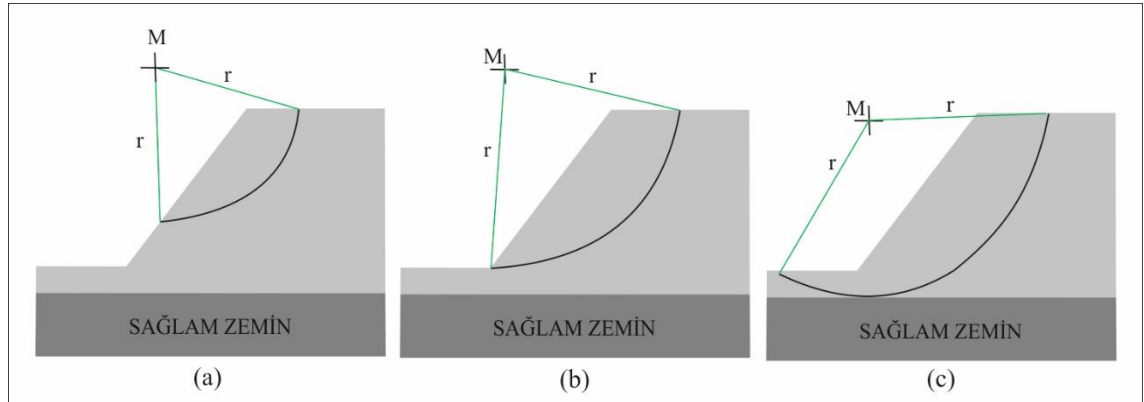
Aşırı süreksizlik yüzeyleri içeren kaya kütlelerinin orjinal şekillerini kaybederek yıkılmaları "Devrilme" ile ifade edilmektedir (Şekil 2.3). Doğada farklı devrilme türleri görüldüğü gibi blok devrilmesi ve bükülme devrilmesinin her ikisini de gerçekleştiren blok-bükülme devrilmesi de oluşabilir (Gökcan 2014).



Şekil 2.3. Devrilme türleri (Goodman ve Bray 1976)

2.1.2.3. Kayma

Eğrisel yüzeye sahip kayma (heyelan) türleri taban, topuk ve şev kayması olarak 3 şekilde meydana gelmektedir. (Şekil 2.4) (Vardar vd. 2012). Kayma, ötelenmeli (düzlem üzerinde) ya da dönel bir hareketle oluşan duraysızlık çeşididir. Şevi meydana getiren zemin içerisinde belirli bir hat boyunca, zeminin makaslama gerilmesine bağlı olarak gelişmektedir. Şevlerde en sık meydana gelen duraysızlık çeşidi, ötelenmeli ve dönel katmalardır (Ulusay 2001).



Şekil 2.4. Eğrisel yüzeye sahip kaymalar **a)** Şev kayması; **b)** Topuk heyelanı; **c)** Taban kayması (Vardar vd. 2012; Gökcan 2014'ten alınmıştır)

a) Dairesel (Dönel) kayma

Dairesel (Dönel) kaymalar, kaşık şeklinde kayma yüzeylerine sahiptir ve hareket esnasında kayma yüzeyi üzerindeki hareket eden kütle hareket yönünün tersine doğru yatmış bir şekil kazanmaktadır (Şekil 2.5). Bu hareket belirgin bir kayma yüzeyinde yavaş ya da orta derece hızla gelişmektedir. Çok ayrılmış kayalarda, akarsu

kanallarında, kum-silt-kil gibi zeminlerde, ulaşım için yapılan yol dolgu ve yarmalarında bu kaymalar meydana gelmektedir (Ulusay 2001).



Şekil 2.5. Dairesel (Dönel) kayma (Ulusay 2001)

b) Düzlemsel (Ötelenmeli) kaymalar

Düzlemsel kayma, az pürüzlü veya düz yüzey üzerinde kesme gerilmesine bağlı olarak zeminin kayma yüzeyine paralel şekilde gelişir. Düzlemsel kaymalarda hareketin gerçekleştiği zemin kütlesi, dairesel (dönel) kaymalara göre daha az deforme olur. Düzlemsel kaymalar genellikle makaslama zonu, tabakalanma, fay ve eklem gibi süreksizlik yüzeyleri boyunca oluşan, süreksizlik kontrollü yenilmelerdir. Ulusay (2001), bu tür kaymaları aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır (Şekil 2.6).

i) Düzlemsel kayma

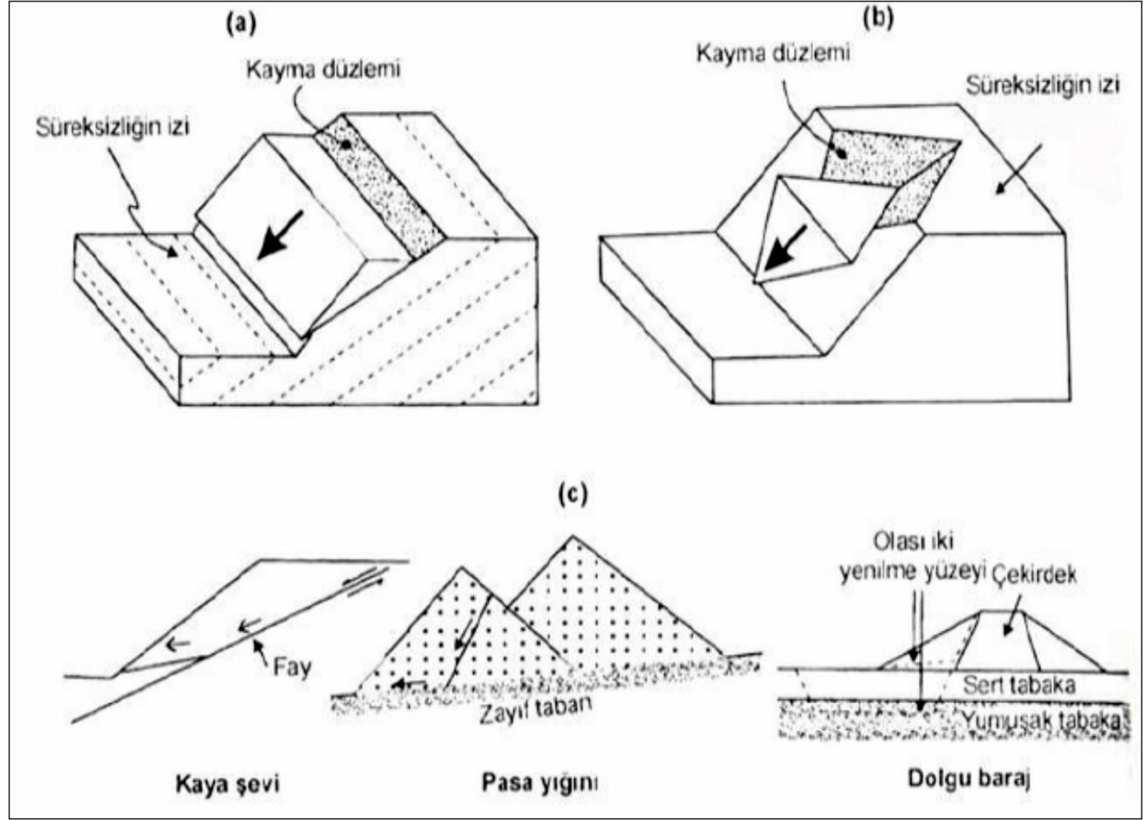
Düzlemsel kayma; hareket eden kütleyle ait düzlemin eğimi şevin eğiminden daha düşük ve bu düzlem zayıf dayanımlı ise kütlemin şevin topuk bölgesine kaymasıyla oluşur (Ulusay 2001).

ii) Kama tipi kayma

İki süreksizlik yüzeyinin kesişmesiyle oluşan tetrahedral (dört yüzlü) kama bloğunun, süreksizliklerin kesişmeyle oluşturduğu yüzey boyunca aşağıya doğru hareketidir. Burada bloğun oluşturduğu yüzeyin eğimi kaymanın gerçekleştiği şevin eğiminden daha yatıktır (Ulusay 2001).

iii) İki veya çok yüzeyli kayma

Bu kayma çeşidi, genellikle tabakalanma yüzeylerinin ya da fayların bir araya geldiği ortamlarda, zayıf tabanlar üstünde bulunan parça yığınları ve yapılan dolgularda meydana gelen bir duraysızlıktır. Birden fazla süreksizlik yüzeyi içerir (Ulusay 2001).



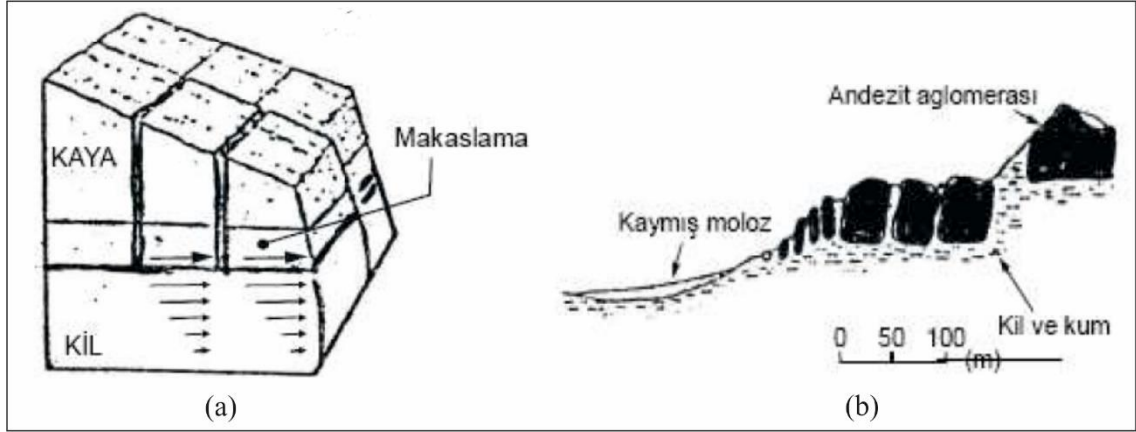
Şekil 2.6. Düzlemsel kaymaların sınıflandırılması a) Düzlemsel kayma; b) Kama tipi kayma; c) Çok yüzeyli kaymalar (Ulusay 2001)

2.1.2.4. Yanal yayılma

İki farklı türde yanal yayılma duraysızlığı vardır ve bunlar deprem ile meydana gelen sıvılaşmaya bağlı yanal yönde yayılma hareketiyle aynı değildir (Ulusay 2010).

Deprem ile oluşan dinamik kuvvet etkisi olmadan gerçekleşen yanal yayılmalar, tansiyon çatlakları ve makaslama yenilmesinin etkisiyle gelişen oldukça yavaş hareketlerdir. Şekil 2.7a'da verildiği gibi, yanal kaya yayılması, kil gibi kohezyonlu zemin ile bu zemin üzerinde bulunan kaya kütleleri arasındaki yüzeyde oluşan makaslama yenilmesi sebebiyle, üstte bulunan kaya kütlelerinin oldukça yavaş bir hızla ilerleyerek hareket etmesidir (Ulusay 2007). Şekil 2.7b'de verildiği gibi, yanal yönde zemin yayılması ise ince taneli, kohezyonlu zemin ile bu zemin içerisinde bulunan kaya parçalarının beraber, oldukça yavaş bir hızla aşağı yönde hareket etmesidir.

Yukarıda bahsedilen yanal yayılmalarda (kaya ve zemin yayılmaları) hareket hızı yılda 10 ile 25 milimetre arasında değişmesinden dolayı gözlenmesi için uzun bir süreç gerekebilir. Yanal yayılmaların gelişmesinde, malzeme içerisindeki gözenek suyu basıncının fazla olması da etkili olmaktadır (Ulusay 2007).

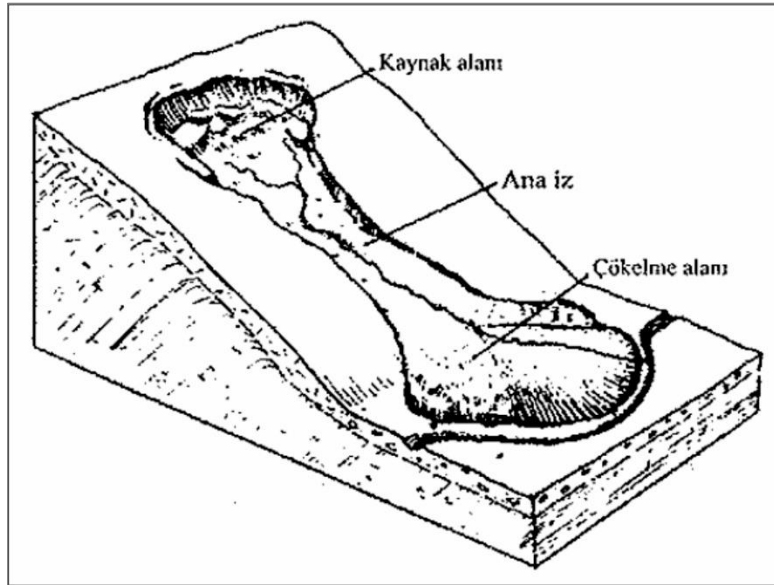


Şekil 2.7. Yanar yayılma türleri **a)** Yanar kaya yayılması; **b)** Yanar zemin yayılması (Broms 1975)

2.1.2.5. Akma

Ayrışmış (pekişmemiş) zemin malzemelerinin kuru ya da doymuş, hızlı veya yavaş olarak yamaç eğimi boyunca yoğun bir sıvı davranışı sergileyerek hareket etmesi akma duraysızlığına neden olur (Şekil 2.8).

Akmalar, titreşim (vibrasyon), depremin oluşturduğu sarsıntı ve kaya düşmesi ile malzemenin hareketlenmesi sonucu meydana gelir ve akma hareketlerinin önceden tahmini güçtür. Üniform taneli (yaklaşık aynı boyutta) kum ve siltlerin akma hareketi kısa sürede gerçekleşmektedir. Genellikle çekme çatlakları ile bloklu parçaların olmayışı ve eğimli bir topografyada oluşmaları belirgin özellikleridir (Kara 2010).

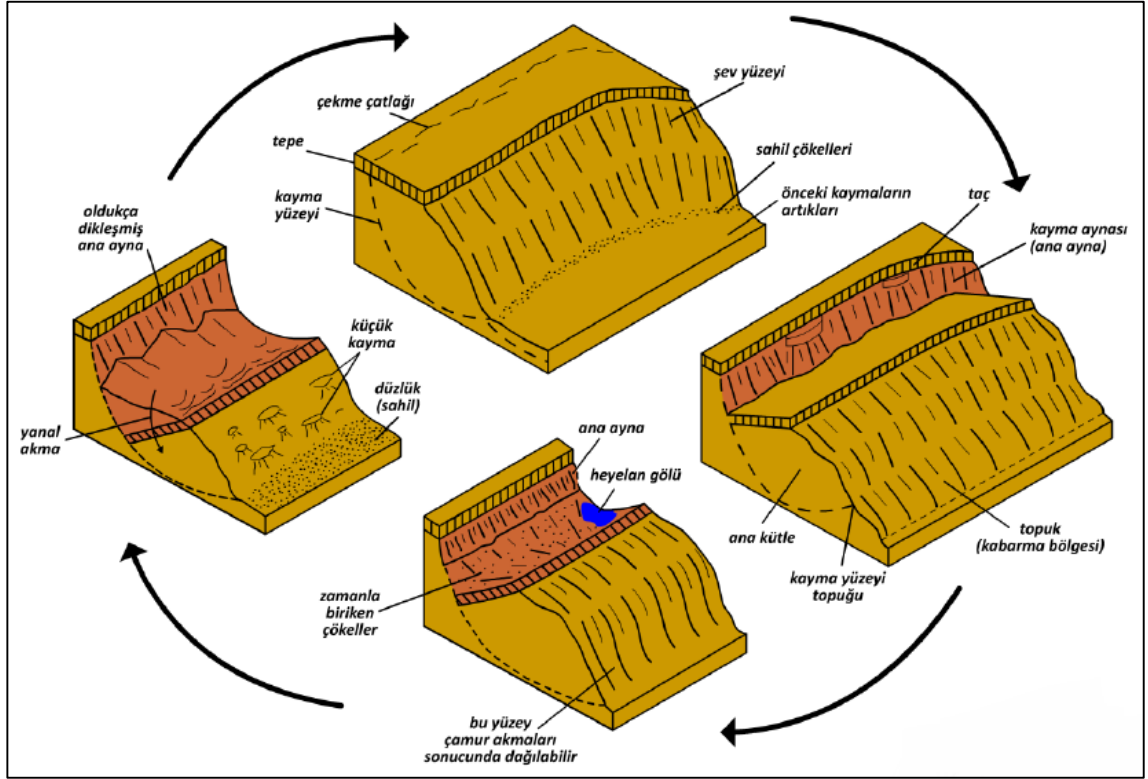


Şekil 2.8. Akma yenilmesi (Coduto 2006)

Ayrıca akmanın gerçekleştiği zemin tanelerinin boyutuna göre "Kum akması", "Moloz Akması" ve "Çamur Akması" olarak adlandırılır (Ulusay 2001).

2.1.2.6. Karmaşık hareketler

Birden çok hareketin birlikte görüldüğü durumlara karmaşık hareketler denilmektedir. Bir kaya bloğunun devrilmesiyle başlayan bir hareket o bloğun düşmesine daha sonra da kaymasına; siltli, killi zeminlerde oluşan kütle hareketinin ilerleyen süreçte çamur akmasına neden olması karmaşık hareketlere örnek verilebilir (Şekil 2.9) (Ulusay 2001).



Şekil 2.9. Karmaşık hareketler (Bromhead 1986)

2.2. Şev Stabilitesi Analizi

2.2.1. Şev stabilitesi analizlerinin tarihsel gelişimi

Heyelan analizleri hakkında çalışmalar ilk olarak Fransız mühendis olan Alexandre Collin tarafından yapılmıştır (Collin 1846). Ancak, Collin'in çalışmaları o dönemde dikkat çekmemiş ve göz ardı edilmiştir. Bu sebeple, şev duraylılık analizlerinin temeli, İsveç'te 1920'lerde bu konu hakkında çalışmalar yapan araştırmacı mühendisleredir. İsveçli bu araştırmacılar, yaptıkları çalışmalar ile kısa zamanda şev stabilite analizlerinin temelini oluşturan metotlar ortaya çıkarmışlardır (Coduto 2006).

İskandinavya ülkeleri ve genellikle İsveç ve Norveç'in altında bulunan hassas deniz kilinin drenajsız kesme dayanımları 15kPa civarında görülmektedir. Bu zeminlerdeki düşük dayanımdan dolayı, yamaçlarda stabilite sorunları meydana gelmektedir. Demiryolu ve liman inşasındaki dolgu ve yarma nedeniyle 19-20. yüzyılları arasında stabilite sorunları, akma ve kaymalara sebep olmuştur. Özellikle

1913'teki göçmeyle, bu sorunları incelemek ve sorunlara çözüm bulmak için İsveç Devlet Demiryolları tarafından "Geoteknik Komite" kurulmuştur. Komitenin çalışmaları sonucunda 1922'de yayınlanan rapor ile jeoteknik mühendisliğinin ilk önemli olayı olarak kabul edilmiştir. İsveç Kayma Dairesi yöntemi bu raporda analiz yöntemi olarak anlatılmış ve diğer yöntemlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır (Coduto 2006).

2.2.2. Sınır denge yöntemleri

Statik dengenin sağlanması için "Tek Serbest Cisim Yöntemleri" ve "Dilim Yöntemleri" kullanılmaktadır. Tek serbest cisim yönteminde; kayma düzlemi ile şev yüzeyi arasındaki kütle dengesi dikkate alınmakta ve denge denklemleri yazılarak çözülmektedir. Tek serbest cisim yöntemine, "Sonsuz Şev Yöntemi" ve "İsveç Kayma Dairesi Yöntemi" örnek verilebilir. Dilim Yöntemlerinde ise kayma düzlemi ile şev yüzeyi arasında kalan kütle, düşey olarak dilimlere ayrılmakta ve dilimler için ayrı ayrı denge denklemleri yazılarak çözülmektedir. Basit Dilim, Spencer ve Basitleştirilmiş Bishop Yöntemleri dilim yöntemlerine örnektir (Duncan ve Wright 2005).

Sınır denge yöntemleri için üç statik denge koşulu bulunmaktadır. Bunlar, düşey yöndeki kuvvetlerin dengesi, yatay yöndeki kuvvetlerin dengesi ve herhangi bir noktaya göre moment dengesidir. Sınır denge yöntemleri, statik denge denklemlerini emniyet katsayısının bulunmasında kullanılırlar. Spencer, Morgenstern ve Price Yöntemleri statik denge için bütün şartları sağlarken; Basit Dilim ve Basitleştirilmiş Bishop Yöntemleri denge şartlarından bir bölümünü sağlamaktadır (Duncan ve Wright 2005).

Bu tez için yapılan duraylılık analizleri, dilim yöntemlerini kullanan GEO5 programı yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Dilim yöntemlerinin mantığı ve temel bilgileri özetlenerek aşağıda açıklanmıştır.

2.2.2.1. Basit dilim yöntemi

Yöntem "Fellenius Yöntemi" ve "İsveç Dilim Yöntemi" olarak da bilinmektedir. Yöntemde dilim kenarına etkiyen kuvvetler dikkate alınmamaktadır. Şekil 2.10'da verilen dilimde görüldüğü gibi, kuvvetler dilim tabanına göre bileşenlerine ayrıldığında yöntem için normal kuvvet, (2.1) eşitliğindeki gibi yazılabilir.

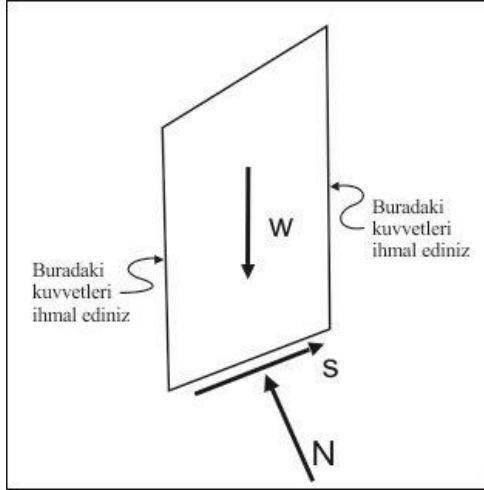
$$N = W \cos\alpha \quad (2.1)$$

N = Normal kuvvet, W = Ağırlık, α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

Bir dilimin tabanındaki normal gerilme ise; dilim tabanına etkiyen normal kuvveti, dilim taban alanına ($1 \times \Delta l$) bölerek (2.2) eşitliğindeki gibi yazılabilir.

$$\sigma = W \cos\alpha / \Delta l \quad (2.2)$$

σ = Normal gerilme, Δl = Dilim taban uzunluğu



Şekil 2.10. Basit Dilim Yönteminde dikkate alınan kuvvetler (Duncan ve Wright 2005)

Emniyet katsayısı, aşağıda belirtilen (2.3)'teki denklem ile hesaplanabilir.

$$F = \frac{\Sigma(c\Delta l + W \cos\alpha \tan\phi)}{\Sigma W \sin\alpha} \quad (2.3)$$

F = Emniyet katsayısı

c = Kohezyon

Δl = Dilim kayma yüzeyi uzunluğu

α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

ϕ = Sürtünme açısı

W = Ağırlık

Emniyet katsayısı, efektif gerilmeler cinsinden (2.4)'teki denklem ile bulunabilir.

$$F = \frac{\Sigma(c'\Delta l + (W \cos\alpha - u\Delta l) \tan\phi')}{\Sigma W \sin\alpha} \quad (2.4)$$

F = Emniyet katsayısı

Δl = Dilim kayma yüzeyi uzunluğu

α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

c' = Efektif kohezyon

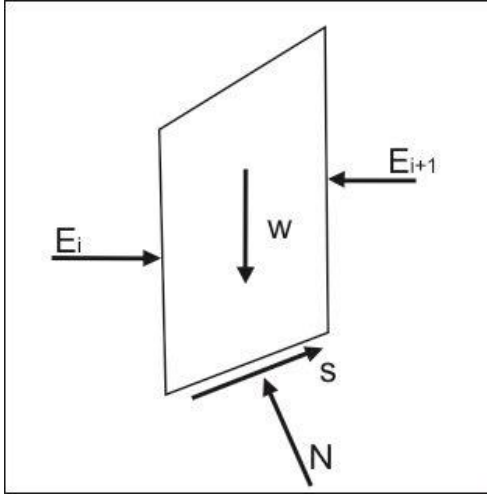
ϕ' = Efektif sürtünme açısı

u = Boşluk suyu basıncı, W = Ağırlık

Bu yöntemde; kayma yüzeyinin dairesel olduğu kabul edilir, dairenin merkezi etrafındaki momentler toplanır; yöntem sadece moment dengesini sağlar. Bu yöntemin doğruluk derecesi, efektif gerilme analizlerinde düşük olmakta ve boşluk suyu basıncının artmasıyla daha da düşmektedir. (Duncan ve Wright 2005).

2.2.2.2. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi

Bu yöntemde dilimler arasında kesme gerilmelerinin sıfır olduğu varsayılır. Her bir dilim tabanındaki normal gerilmeyi bulmak ve düşey yöndeki dengeyi sağlamak için düşey kuvvetler toplanır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Basitleştirilmiş Bishop yöntemindeki dilim kuvvetleri (Duncan ve Wright 2005)

Daire merkezi etrafındaki momentler, efektif gerilmeler için denge denkleminde yerine konulup gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra emniyet katsayısı aşağıda verilen (2.5)'teki denklem ile bulunabilir.

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c' \Delta l \cos \alpha + (W - u \Delta l \cos \alpha) \tan \phi'}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi') / F} \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.5)$$

F = Emniyet katsayısı

Δl = Dilim kayma yüzeyi uzunluğu

α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

c' = Efektif kohezyon

ϕ' = Efektif sürtünme açısı

u = Boşluk suyu basıncı

W = Ağırlık

Toplam gerilmeler için bir emniyet katsayısı denklemi, efektif gerilme kesme dayanımı parametreleri (c' , ϕ') yerine toplam gerilme parametrelerini (c , ϕ) yazarak ve boşluk suyu basıncını (u) sıfır alarak oluşturulur. Basitleştirilmiş Bishop Yönteminde toplam gerilmeler için emniyet katsayısı, (2.6)'daki denklem ile bulunabilir.

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c \Delta l \cos \alpha + W \tan \phi}{\cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F} \right]}{\sum W \sin \alpha} \quad (2.6)$$

F = Emniyet katsayısı

Δl = Dilim kayma yüzeyi uzunluğu

α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

c = Kohezyon

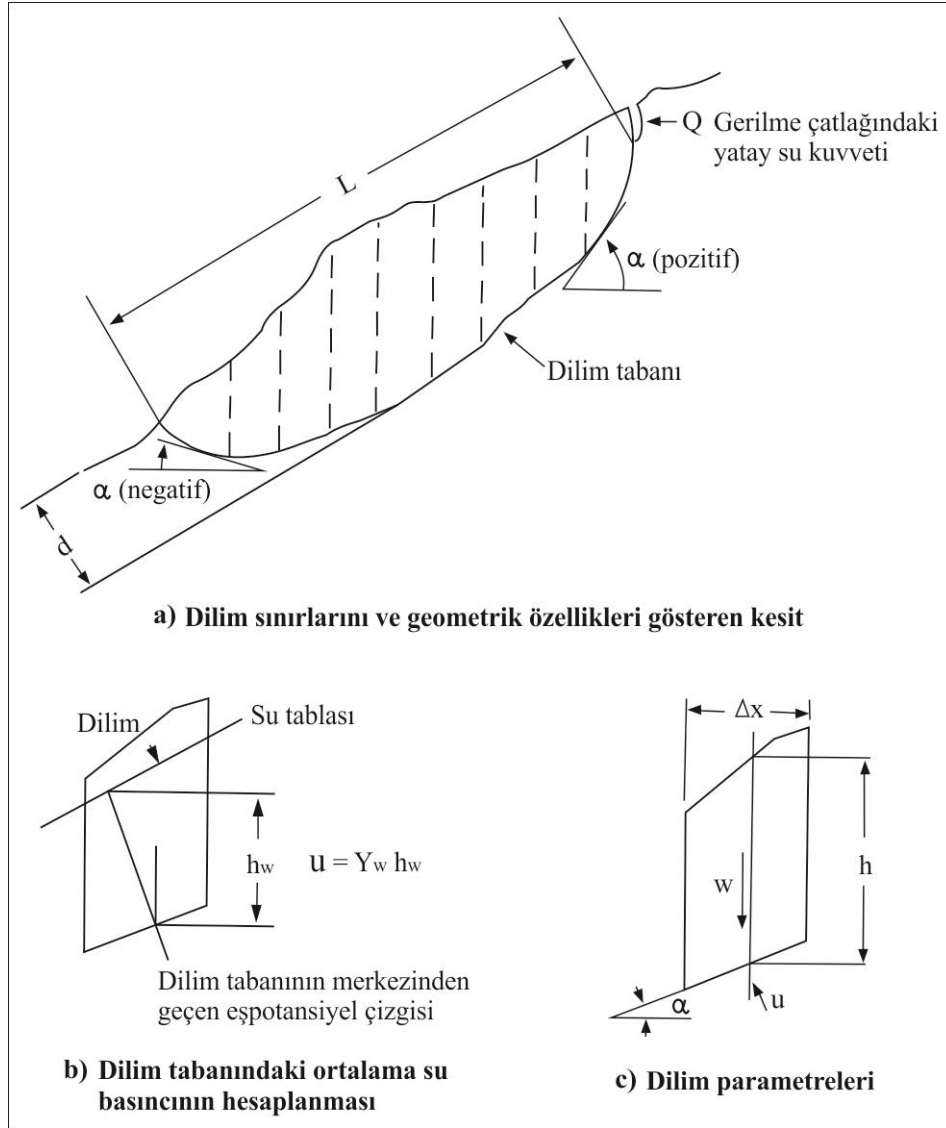
ϕ = Sürtünme açısı

W = Ağırlık

Bu yöntemde dilimler arası kuvvetlerin yatay, kayma yüzeyinin ise dairesel olduğu kabul edilmektedir. Basitleştirilmiş Bishop yöntemi, her dilim için düşey yöndeki kuvvetlerin dengesini ve dairenin merkezi etrafındaki moment dengesini sağlamaktadır. Ayrıca, boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu analizlerde Basitleştirilmiş Bishop yöntemi, Basit Dilim yönteminden daha güvenilir sonuçlar vermektedir (Duncan ve Wright 2005).

2.2.2.3. Janbu yöntemi

Bir şev oluşturulan zeminin özellikleri farklılık gösteriyorsa, zemin-kaya dokanağı gibi yapısal bir zayıflık veya kütle içinde, düşük dayanımlı düzlemsel seviyeler varsa dairesel kayma analiz yöntemleri uygulanamayabilir. Bu durumlarda kaymalar, ya dairesel olmayan şekilde devam eder ya da şev tepesinde dairesel başlayıp, derinlere doğru düzlemsel olarak gelişir. Kayma yüzeylerinin bu şekilde geliştiği şevlerin incelenmesi için Janbu yöntemi (Janbu 1973) kullanılmaktadır. Yöntemde, yine kayan kütle dilimlere ayrılır ve grafikler yardımıyla emniyet katsayısı hesaplanır. Yöntemle ilgili şev geometrisi Şekil 2.12'de gösterilmiş olup, yöntemle elde edilen emniyet katsayısı, (2.7)'deki denklem ile bulunabilir (Ulusay 2010).



Şekil 2.12. Janbu tarafından önerilen yöntemde kullanılan parametreler (Hoek ve Bray 1977; Ulusay 2010'dan alınmıştır)

$$F = f_0 \frac{\sum [c + (p - u) \tan \phi] \Delta x}{\sum w \cdot \tan \alpha + Q} \quad (2.7)$$

Emniyet katsayısı (F), Şekil 2.13'deki grafikten düzeltme faktörü (f_0) değeri bulunabilir (Ulusay 2010).

f_0 = Düzeltme faktörü (Şekil 2.13)

F = Emniyet katsayısı

α = Dilim tabanının yatayla yaptığı açı

p = Her dilim genişliği için ortalama ağırlık

n_α = Geometrik fonksiyonlar

u = Boşluk suyu basıncı

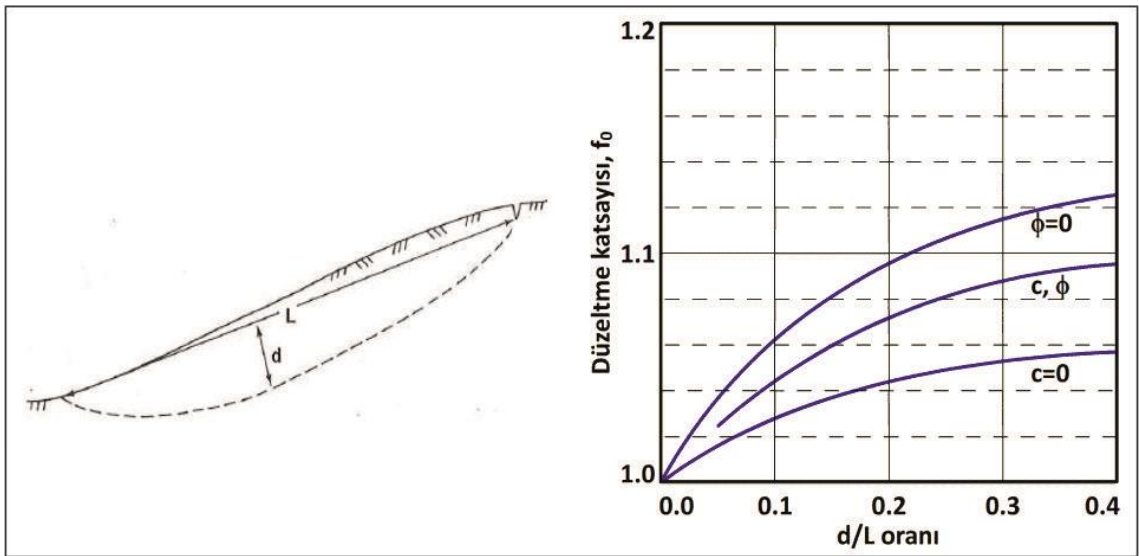
c = Kohezyon

ϕ = Sürtünme açısı

W = Ağırlık

d = Kayma bölgesinin derinliği

L = Kayma bölgesinin uzunluğu



Şekil 2.13. Janbu'nun düzeltme faktörü (Janbu 1973; Tekin 2011'den alınmıştır)

2.2.2.4. Spencer yöntemi

Spencer (1967), moment ve yatay kuvvet dengesini sağlayan yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem, dilimler arası normal ve kayma kuvvetleri arasındaki ilişkiyi sabit alarak, yatay kuvvet ve moment dengelerini sağlayan oranı bulmakta ve bu oranın bulunmasıyla her iki denge koşulu da sağlanmaktadır (Krahn 2004).

$$X = E \lambda f(x)$$

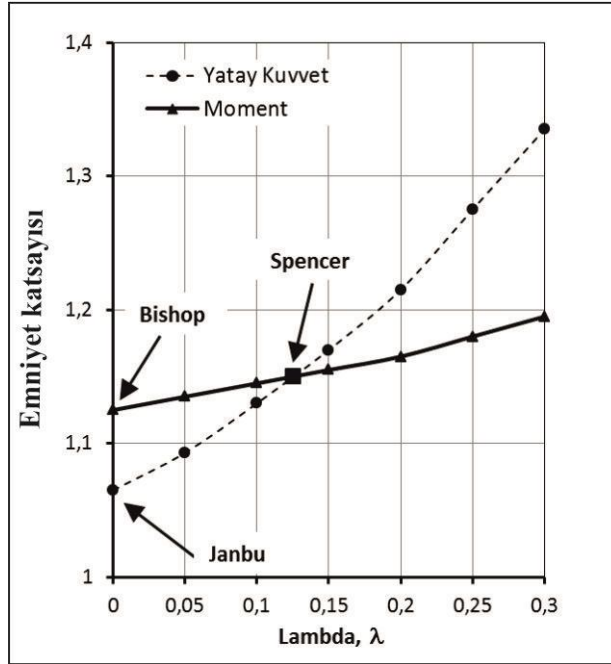
X = Dilimler arası kayma kuvveti

E = Dilimler arası normal kuvvet

λ = X ile E arasındaki oran

Spencer yönteminde lambda (λ), dilimler için sabit tutulduğundan $f(x)=1,0$ olarak kabul edilmektedir. Şekil 2.14'te her lambda (λ) için yatay kuvvet ve moment

denklemlerinin hesaplanması ve her iki denge koşulunun sağlandığı değeri gösterilmektedir.



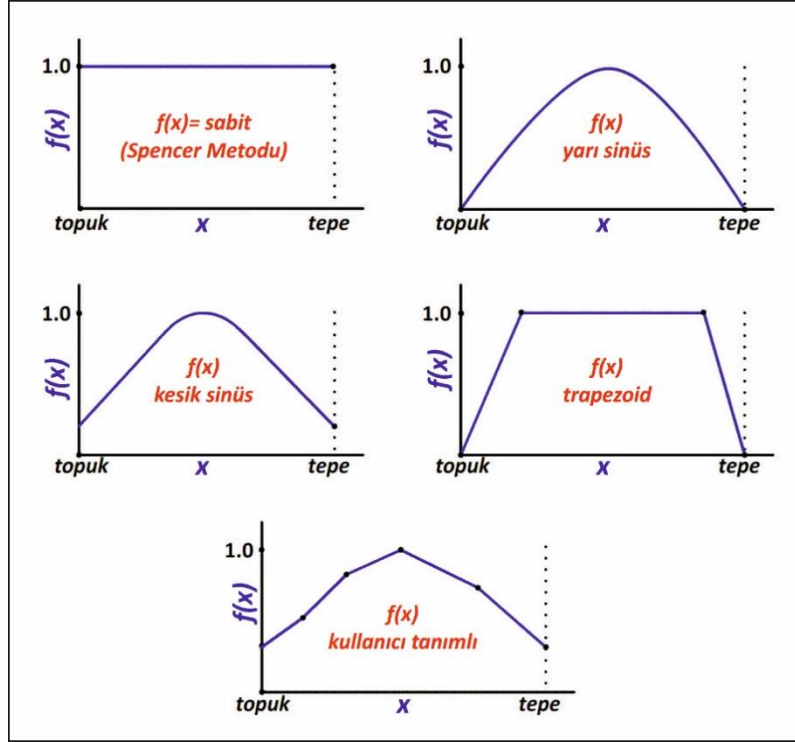
Şekil 2.14. Spencer yönteminde emniyet katsayısı (Krahn 2004)

Ayrıca, Janbu ve Bishop yöntemlerinde kayma kuvveti sıfır alındığından lambdanın sıfır değerini gösterdiği noktalar Bishop ve Janbu yöntemlerinin emniyet katsayısını vermektedir. Özetle, Spencer yöntemi; dilimler arası normal ve kayma kuvvetlerini dikkate almakta, moment ve yatay kuvvet dengesini hesaba katmakta ve lambda (λ) değerini sabit kabul etmektedir (Krahn 2004).

2.2.2.5. Morgenstern – Price yöntemi

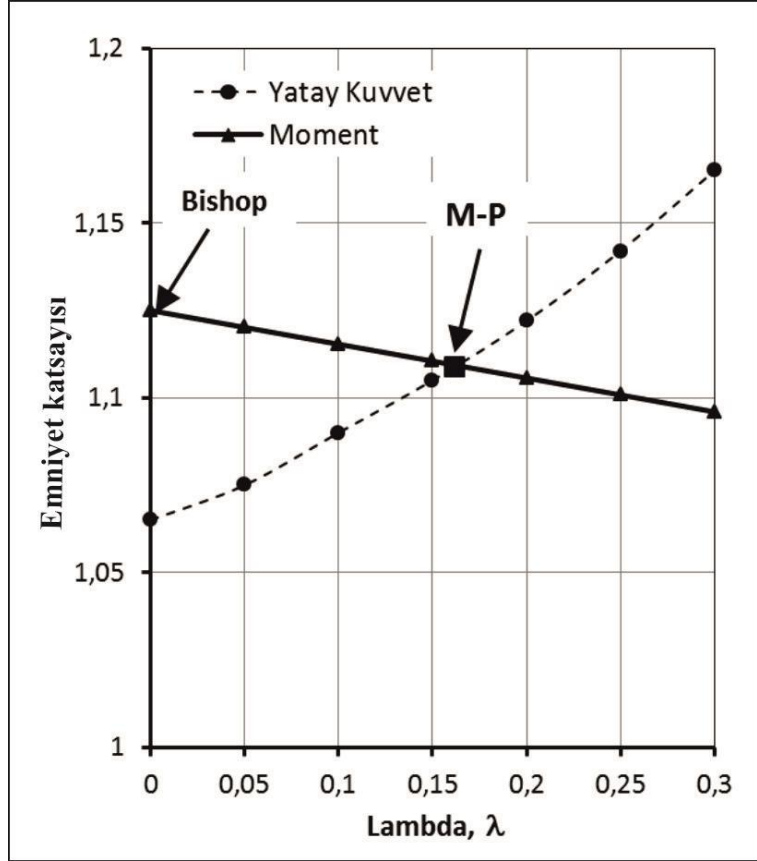
Morgenstern-Price (1965), dilimler arasındaki kayma ve normal kuvvetlerini farklı kuvvet fonksiyonları ile ifade etmiştir.

Morgenstern-Price (1965) yönteminde dilimler arasındaki kuvvetler Şekil 2.15'te gösterildiği gibi sabit, yarı sinüs, kesik sinüs, trapezoid ve kullanıcının ürettiği fonksiyonlara bağlı tanımlanabilmektedir. Morgenstern-Price ve Spencer yöntemlerinin aynı emniyet katsayısını vermesi için dilimler arası kuvvet fonksiyonunun sabit seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.15. Morgenstern-Price yönteminde dilimler arası kuvvetlerin fonksiyon türleri (Morgenstern ve Price 1965; Tekin 2011'den alınmıştır)

Şekil 2.16'daki analiz sonuçları, denge denklemlerinin tümünün aynı anda sağlandığı bir şev stabilitesi analizinin gerekliliğini göstermektedir. Krahn (2004)'den alınan şekilde Bishop ile yapılan analiz sonucunun, Morgenstern-Price yöntemiyle elde edilen sonuçtan daha yüksek değer verdiği görülmektedir. Bu durum moment denge eğrisinin ters eğiminden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda dilimler arası kayma kuvvetlerinin ihmal edildiği Bishop yönteminin, her zaman güvenli sonuçlar vereceğini söylemek mümkün değildir (Krahn 2004). Morgenstern-Price gibi hem dilimler arası kayma hem de dilimler arası normal kuvvetleri dikkate alan bir yöntem, daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır (Tekin 2011).



Şekil 2.16. Bishop ve Morgenstern-Price yöntemlerinin karşılaştırması (Krahn 2004)

Özet olarak Morgenstern-Price yöntemi; dilimler arası normal kuvvet ve kesme kuvvetlerini göz önünde bulundurmakta ve hem moment hem de kuvvet dengesini sağlamaktadır. Ayrıca bu yöntem kullanıcı tarafından seçilen dilimler arası kuvvet fonksiyonunun çeşitliliğine olanak sağlamaktadır (Krahn 2004)

Çizelge 2.3'te şev stabilite analizlerinde sınır denge yöntemlerinin özeti ve faydaları anlatılmıştır.

Çizelge 2.3. Sınır denge yöntemlerinin özeti (Duncan ve Wright 2005)

Yöntem	Kullanımı
Basit Dilim Yöntemi	Homojen olmayan şevlere ve kayma yüzeyinin bir daire ile temsil edilebileceği $c-\Phi$ zeminlere uygulanabilir. Elle hesaplamalar için uygun. Boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu efektif gerilme analizlerinde yanlış sonuç verir.
Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi	Homojen olmayan şevlere ve kayma yüzeyinin bir daire ile temsil edilebileceği $c-\Phi$ zeminlere uygulanabilir. Özellikle boşluk suyu basınçlarının yüksek olduğu duraylılık analizlerinde Basit Dilim Yöntemi'ne göre daha doğru sonuçlar verir. Elle hesaplamalar için uygun.
Basitleştirilmiş Janbu Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir. Dairesel olmayan kayma yüzeyleri için elle hesaplama yapmaya elverişli tek yöntem. Tam denge yöntemlerine göre daha az doğru sonuçlar verir ve sonuçlar dilimler arası kuvvetlerin eğimleri ile ilgili varsayımlara duyarlıdır.
Spencer Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir doğru bir yöntem. Emniyet katsayısının hesaplanması için en basit tam denge yöntemi.
Morgenstern-Price Yöntemi	Tüm şev geometrisi ve zemin profillerine uygulanabilir doğru bir yöntem. Kapsamlı, iyi geliştirilmiş bir tam denge yöntemi.

Türk standartlarına göre (TS 8853/Şubat/1991) limit denge analizleri için önerilen emniyet katsayıları Çizelge 2.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Yamaç ve Şevlerde Emniyet katsayısı (TS 8853/Şubat/1991)

Şart	Emniyet Sayısı (F)		
	Toplam Gerilme	Efektif Gerilme	Deprem
Dolgularda yapım sonu	1,50	-	-
Yarmalar	1,50	1,25	1,00
Barajda sızıntı	1,50	1,25	-
Barajda ani su düşmesi	1,50	1,10	-
Laboratuvar maksimum direnç parametreleri kullanımı (peak) ile	1,50	1,35	1,00
Kalıcı dirence göre	-	1,20	1,00
Uzun vadede duraylılık	-	1,20	-
Yamaç üzerinde yapı bulunması	1,80	1,50	1,20
Fisürlü killer	-	1,50	-

2.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü ve birçok araştırmacı jeolojik çalışmalar yapmıştır (Colin 1962; Tolun 1965; Lefevre 1967; Juteau 1968, 1975; Yüksel 1970; Uysal vd. 1980; Robertson and Woodcock 1980, 1981a,b,c, 1982; Şenel 1980, 1984, 1986a,b, Şenel vd. 1981; Yılmaz 1981; Hayward 1982; Yalçınkaya vd. 1986). Yapılan bu araştırmalarda Antalya naplarının, stratigrafik ve yapısal özelliklerine ilişkin görüş birliğine varılamamıştır. Şenel vd. (1992, 1996), Antalya naplarını, stratigrafik ve yapısal olarak Tahtalıdağ, Çataltepe, Alakırçay, ve Tekirova ofiyolit napları olarak bölümlendirmiştir. Bölge ile ilgili yapılan bu çalışmalara Şenel (1997), Antalya M10-M11 Paftaları adlı yayını ile ulaşılabilmektedir.

Bu tez kapsamında heyelan alanında ve yakın çevresinde bulunan Alakırçay napı içerisindeki Gökdere, Çandır, Ballık, Keçili formasyonları, Tekirova ofiyolit napı içerisindeki Kırkdirek formasyonu, Tahtalıdağ napı içerisindeki Tekedağı formasyonu ve Kuvaterner birimler üzerinde durulmuş, jeolojik özellikleri Şenel (1997)'den özetlenerek alınmıştır. Çalışma alanı ve çevresine ait 1/25.000 ölçekli genel jeoloji haritası Şekil 2.17'de, genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesiti ise Şekil 2.19'da verilmiştir.

2.3.1. Çandır formasyonu (TRaç)

Kalafatçioğlu (1973) tarafından adlandırılan formasyon, gri, yeşil ve sarımsı renklere, kalın-orta-ince tabakalı, silttaşı, kumtaşı ve kilttaşlarından oluşmaktadır. Formasyon içerisinde yersel olarak konglomera, kireçtaşları görülmektedir. Çandır formasyonu, Alakırçay grubundaki formasyonlara göre daha geniş alana yayılmaktadır. Tesbihli ve Gökdere formasyonları ile yanal ve düşey olarak geçişlidir. Formasyon kalınlığı 150-450 metre arasında değişmekte olup, yaşı Üst Aniziyen-Noriyen olarak kabul edilmiştir (Şenel 1997).

2.3.2. Gökdere formasyonu (TRag)

Bu birim yine Kalafatçioğlu (1973) tarafından adlandırılmıştır. Açık gri, krem, bej renkli, orta-ince tabakalı, mitritik dokuda, radyolaryalı ve halobia fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Alakırçay napında yer alan Kumluca ve Alakırçay istiflerinin her ikisinde de görülmektedir. Formasyon düşey ve yanal yönde Çandır ve Tesbihli formasyonları ile geçişlidir. Formasyon, Kumluca biriminde üstte Ballık formasyonu ile geçiş göstermekte ve kalınlığı 10-350 metre arasında değişmektedir. İçerisinde bol halobia ve yersel ammonit izi bulunmasından dolayı, yaşı Üst Aniziyen-Noriyen olarak kabul edilmektedir (Şenel 1997).

2.3.3. Ballık formasyonu (JKba)

Robertson ve Woodcock (1981b) tarafından isimlendirilmiştir. Kumluca biriminin hakim formasyonudur. Bu formasyon kızılımsı, yeşilimsi gri ve sarı renkli şeyl, radyolarit ve tabakalı çörtlerden oluşmaktadır. Üstte Keçili formasyonu ile uyumsuz örtülen birim, geçişli olarak Gökdere formasyonu üzerinde bulunmaktadır. Birim 130 metre kalınlığa ulaşmakta ve yaşı Jura-Kretase olarak kabul edilmektedir (Şenel 1997).

2.3.4. Tekedağı formasyonu (JKt)

Tekedağı formasyonu Tahtalıdağ napı içerisinde yer almakta ve Tahtalıdağ napı, yapısal olarak Alakırçay napı üzerinde bulunmaktadır. Şenel vd. (1981) tarafından adlandırılan formasyon, kalın-orta tabakalı, krem, gri, bej renkli neritik kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Birim içerisinde bölgesel olarak dolomit seviyeleri görülmektedir. Formasyonda yer yer gastropod, mercan ve alg izleri bulunmaktadır.

Gökdere formasyonu üzerine geçişli olarak gelen birim, üstte uyumsuz olarak Keçili formasyonu ile örtülmektedir. Ayrıca birimin kalınlığı 700-1000 metre arasında değişmekte, yaşı ise Resiyen-Senomaniyen olarak kabul edilmektedir (Şenel 1997).

2.3.5. Keçili formasyonu (Kk)

İlk olarak, Juteau (1975) tarafından Keçili dentritikleri, daha sonra Şenel vd. (1981) tarafından Keçili formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Birim kalın-orta-ince tabakalı, kahve, krem, kırmızı, yeşilimsi gri, sarı renklere silttaşı, konglomera, kiltası ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Formasyona hakim olan kayalar kumtaşı ve yuvarlak, köşeli çakıllı konglomeralardır. Birimin kalınlığı 0-670 metre arasında değişmekte olup,

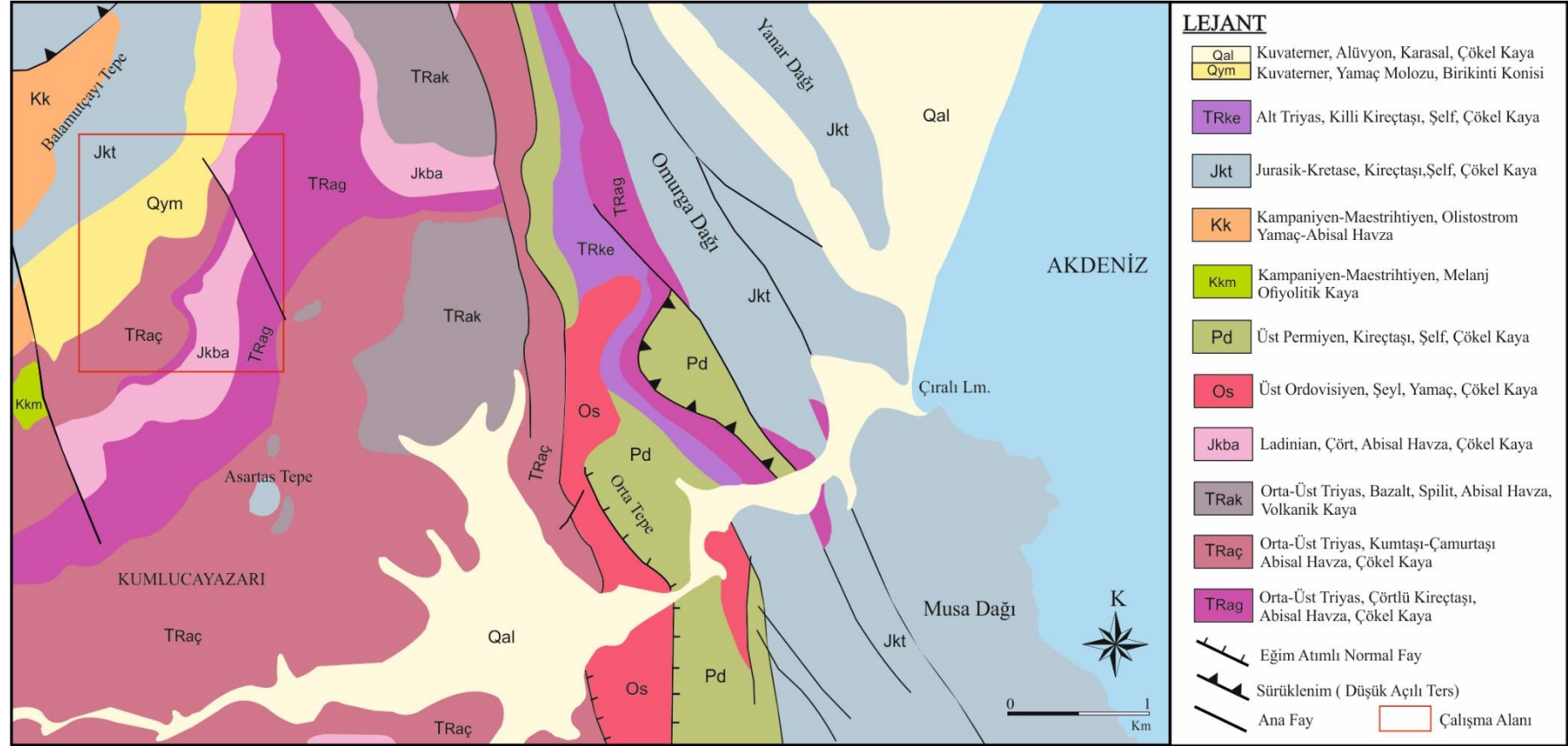
yaşı Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, Antalya napını oluşturan bütün yapısal birimler, Keçili formasyonu ile sonlanmaktadır (Şenel 1997).

2.3.6. Kırkdirek formasyonu (Kkm)

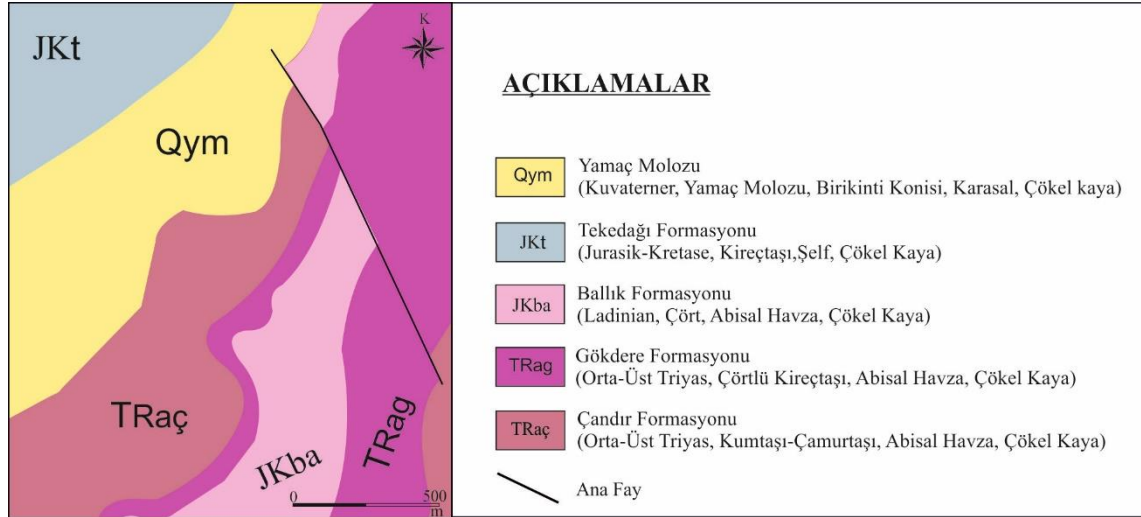
Şenel vd. (1981) tarafından isimlendirilen formasyonun büyük bir kısmı serpantinitle temsil edilmekte olup, serpantinitle hamuru içinde, farklı boyutta halobia fosilli kireçtaşı, radyolarit, bitkili kumtaşı, tabakalı çört, neritik kireçtaşı, şeyl ve ofiyolit kökenli bloklar bulunmaktadır. Antalya naplarında tektonik parçalar halinde yer alan Kırkdirek formasyonu, 0-600 metre arasında değişen kalınlıklar göstermekte olup, yaşı Üst Senoniyen olarak kabul edilmiştir (Şenel 1997).

2.3.7. Yamaç molozu ve birikinti konileri (Oym)

Kuvaterner yaşlı birim olan yamaç molozu ve birikinti konileri dağ yamaç ve eteklerinde görülmektedir. Birimi oluşturan malzemeler yer yer gevşek veya tutturulmuş olabilir (Şenel 1997).



Şekil 2.17. Çalışma alanı ve çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası (Juteau 1969 ve Şenel 1978)



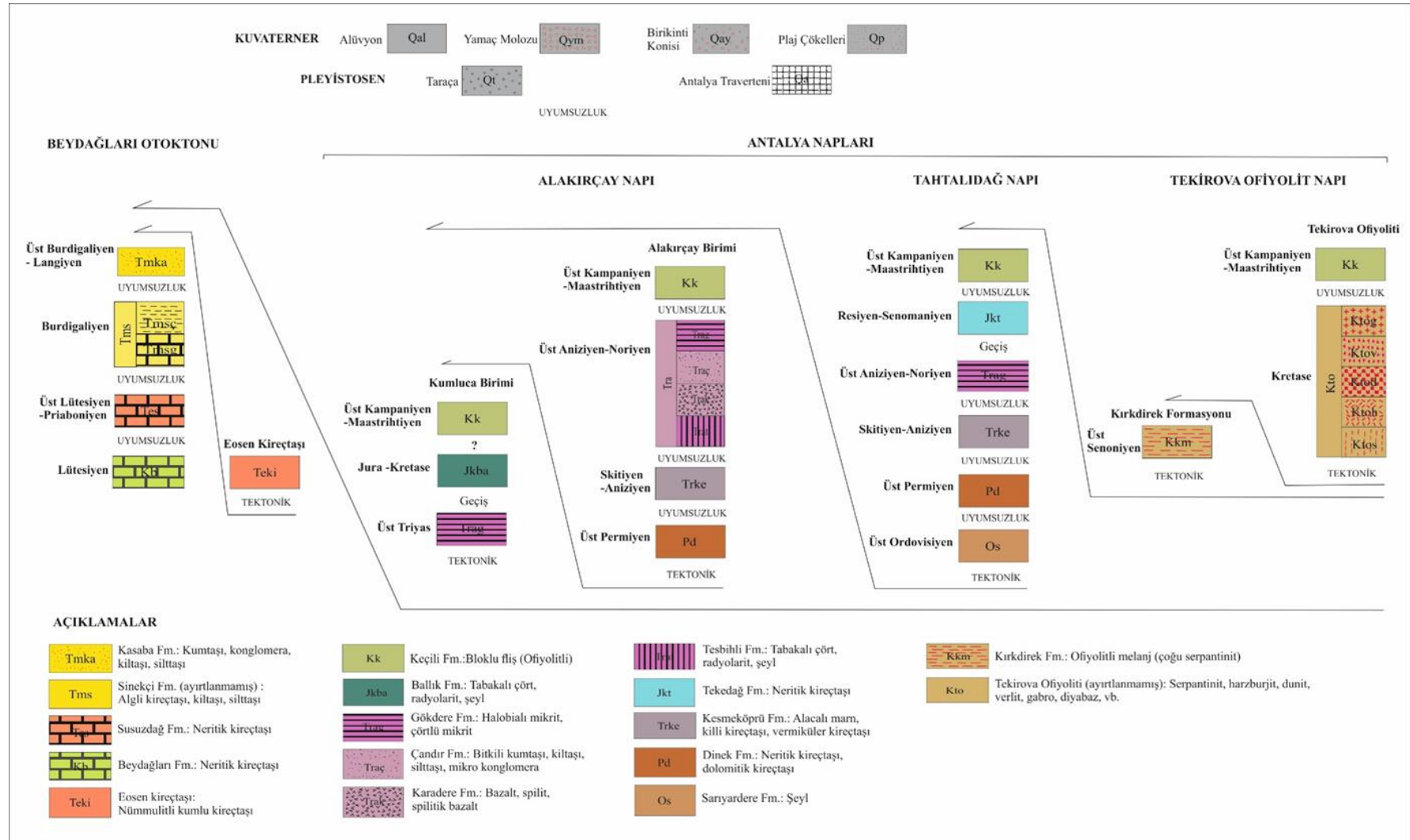
Şekil 2.18. Heyelan alanının jeoloji haritası (Juteau 1969 ve Şenel 1978)

2.3.8. Bölgenin stratigrafisi

Antalya Körfezi batısı, Beydağları otoktonu ve Antalya naplarından oluşmaktadır. Beydağları otoktonu platform tipi çökellerden, Antalya napları ise havza, yamaç ve okyanus kabuk kökenli kayalardan oluşmaktadır. Antalya napları, alttan üste doğru sırasıyla Çataltepe, Alakırçay, Tahtalıdağ ve Tekirova ofiyolitik naplarından meydana gelmektedir. Antalya naplarından biri olan Alakırçay napı, stratigrafik özellikleri nispeten farklı, Alakırçay ve Kumluca istifini oluşturan birimlerden oluşmaktadır (Şekil 2.19). Alakırçay napını oluşturan Alakırçay ve kumluca birimlerinin üzerinde ise Keçili formasyonu (Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen) uyumsuz olarak yer almaktadır (Şenel 1997).

2.3.9. Bölgenin tektonik özellikleri

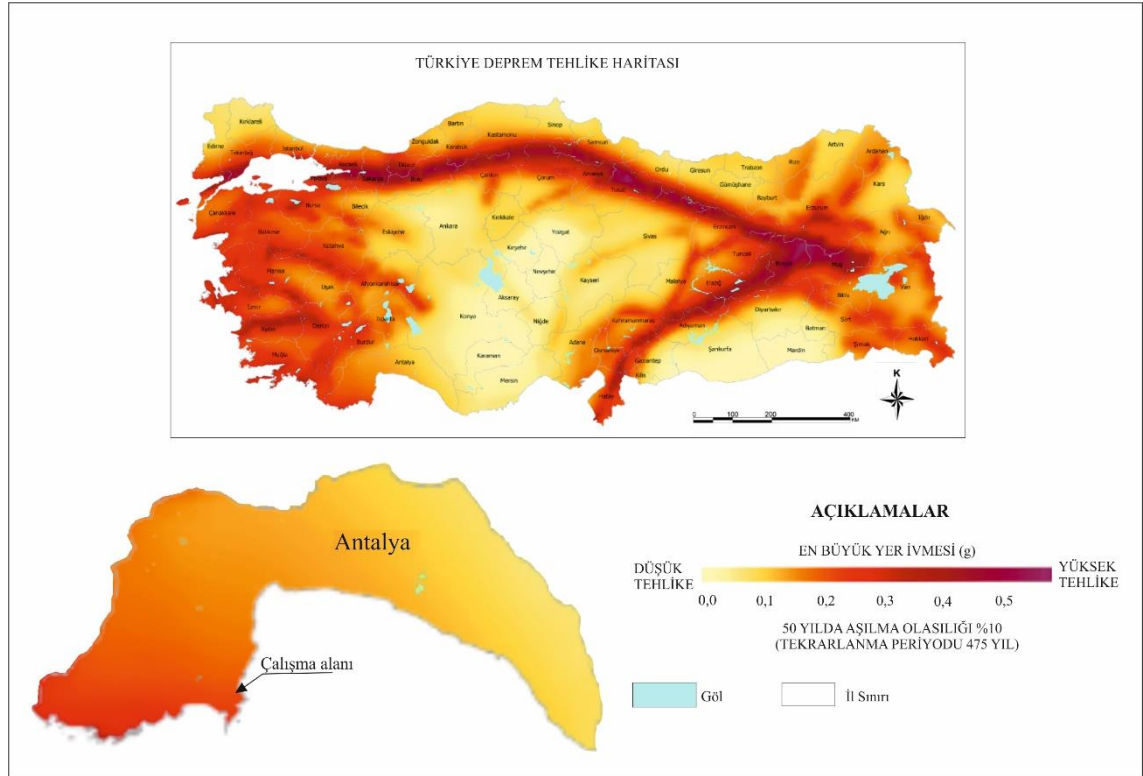
Antalya napları (Tekirova ofiyolitik, Alakırçay, Tahtalıdağ ve Çataltepe napları) kendi aralarındaki yapısal uyum içerisindedir. Antalya naplarını, Üst Senoniyen'de alttan üstte doğru sırasıyla Çataltepe, Alakırçay, Tahtalıdağ ve Tekirova ofiyolitik napları bir araya gelerek oluşturmuştur. Daniyen jeolojik zamanda Antalya napları, Beydağları otoktonu üzerine doğu/kuzeydoğudan gelerek yerleşmişlerdir. Hareket Langiyen'de devam etmiş ve Antalya napları, doğudan batıya hareket ile Beydağları otoktonu üzerine yeniden sürüklenmiştir. Bölgede doğrultu atımlı ve normal faylar ile ciddi anlamda kırılmalar meydana gelerek, farklı boyutta çöküntü ve yükselti alanları oluşmuştur (Şenel 1997).



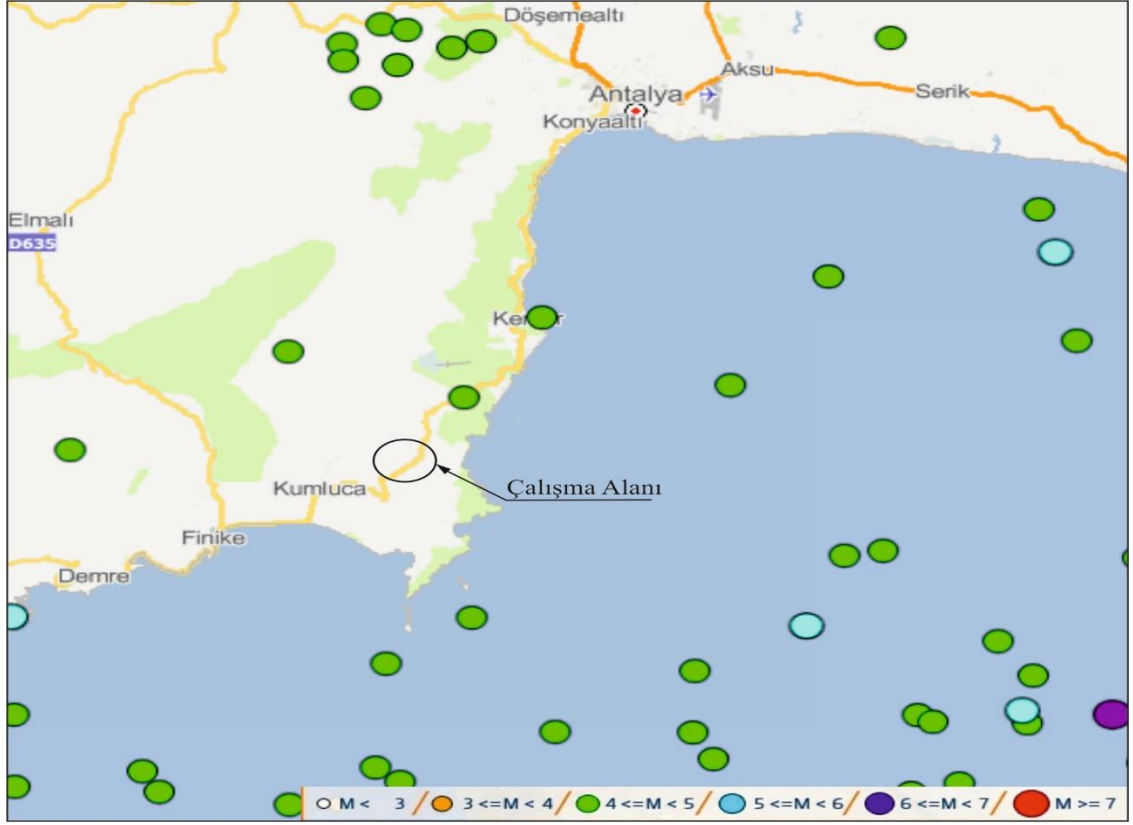
Şekil 2.19. Beydağları otoktonu ile Antalya naplarının genelleştirilmiş stratigrafik kesitleri (Şenel 1997)

2.3.10. Çalışma bölgesinin depremselliği

1 Ocak 2019 tarihinde yürürlüğe giren ve en büyük yer ivmesi değerlerini gösteren ‘‘Türkiye Deprem Tehlike Haritası’’nda, Antalya ili Kumluca ilçesinde yer alan çalışma alanı için en büyük yer ivmesi değeri 0,20 g olarak görülmektedir (Şekil 2.20). Buna ek olarak; çalışma alanı çevresinde son yıllarda gerçekleşen depremler Şekil 2.21’de sunulmaktadır.



Şekil 2.20. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2018)



Şekil 2.21. Çalışma alanı çevresinde meydana gelmiş depremler(2000 yılından itibaren) (AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı - Deprem Kataloğu)

3. MATERYAL VE METOT

Çalışma alanı, Kemer-Kumluca D-400 karayolunun KM 74+410 – 74+700 arasında meydana gelen heyelan alanını kapsamaktadır. Heyelan, Antalya ile batı ilçelerini (Kemer, Kumluca, Finike, Demre, Kaş gibi...) birbirine bağlayan ana geçiş yolu üzerinde bulunmaktadır. Tezin ana çalışması; söz konusu heyelan ve çevresinin jeolojik yapısı incelenerek birimlerin mühendislik parametrelerinin ortaya konulması, meydana gelen heyelanın oluşum mekanizmasının araştırılması ve olası iyileştirme yöntemlerinin irdelenmesidir.

Çalışma aşağıda detayları anlatılan 3 aşamada yürütülmüştür. Bunlar; arazi öncesi çalışmalar, arazi çalışmaları ve büro çalışmalarıdır.

3.1. Önceki Çalışmalar

Bu aşamada; hem çalışma alanı ve çevresi hem de şev duraylılığı ile ilgili literatür taraması yapılmıştır. Çalışma alanının topografik haritası temin edilmiş ve bölgenin Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından yapılan 1/100.000 ve 1/25.000 ölçekli jeolojik haritaları derlenerek jeolojik birimlerin tanımlamaları, yayılımları, yapısal ve tektonik özellikleri hakkında ön bilgiler edinilmiştir.

3.2. Arazi ve Laboratuvar Çalışmaları

Çalışma alanı D-400 Kemer-Kumluca karayolu üzerinde bulunan arazi çalışmaları, mevcut topografik ve jeolojik haritalar temel alınarak yapılmıştır. Birimlerin mühendislik özellikleri tanımlanmış, jeoteknik amaçlı yapılmış mevcut kuyu lokasyonları haritaya işlenmiş ve kuyu loglarının korelasyonu yapılmıştır. T.C. Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü tarafından özel bir firmaya yaptırılan sondajların, arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen verilerinden faydalanılmıştır.

3.3. Büro Çalışmaları

Yapılan tüm çalışmaların bir araya getirildiği ve elde edilen verilerin yorumlanmasını kapsayan bu aşamada şu çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

- İnceleme alanı ve çevresine ait 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası ve jeolojik birimlerin stratigrafik dizilimi, yapılan literatür ve arazi incelemeleri sonucunda ortaya konmuştur.
- Çalışma alanındaki jeolojik birimlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü tarafından özel bir firmaya yaptırılan sondajlar, arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenmiştir. Bu bağlamda çalışmada kullanılacak mühendislik parametreleri, mevcut verilerden seçilerek kullanılmıştır.
- Arazide yapılan çalışmalar ışığında mevcut durumdaki heyelanın geometrisi ve oluşum mekanizması, GEO5 bilgisayar programında modellenmiştir. Bunun için birimlerin mühendislik parametreleri programda kullanılarak, heyelan analizi ve şev stabilite sorunları değerlendirilmiştir.

- Çalışma alanının heyelan öncesi durumu, GEO5 programında değerlendirilmiş, heyelanın oluşum nedeni ortaya konulmuştur.
- Tez içerisinde kullanılan şekiller AutoCad ve CoralDraw; çizelgeler ise Microsoft Excell ve Word programları aracılığıyla hazırlanmıştır.

3.3.1. GEO5 programının tanıtımı

GEO5 bilgisayar programı, jeoteknik problemlerin çözümü için geleneksel analitik yöntemler ve sonlu elemanlar yöntemi (Finite Element Method) ile analiz yapan programlardan oluşmaktadır.

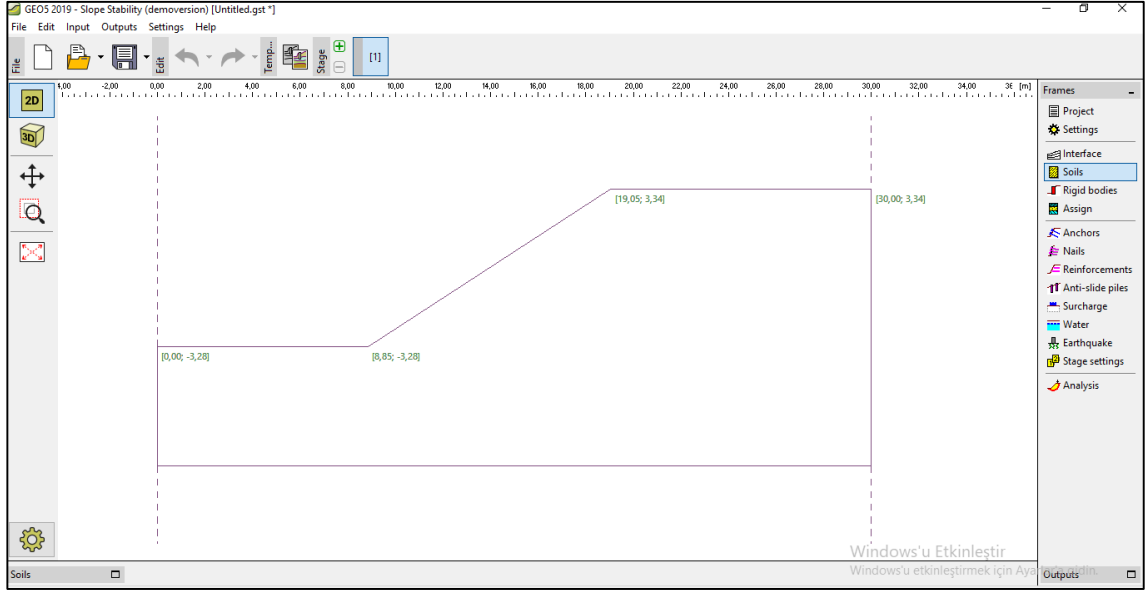
GEO5 Yazılım programda farklı jeoteknik ve temel inşaatı problemlerine uygun 29 program (Şev Stabilitesi, Kaya Stabilitesi, Çivili Şevler, Kazık-Minikazık, Kiriş, İstinad, Konsol Duvar, Ağırlık Duvarı, Perde Tasarımı gibi...) bulunmaktadır. Bu bağlamda GEO5 yazılım programı, analizi yapılacak jeoteknik probleme göre uygun programı seçme imkanı sunabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında kullanılan Geo5(2019)/Slope Stability analiz programı; “File”, “Edit”, “Input”, “Outputs” ve “Settings” ana başlıklar altında 5 bölümden oluşmaktadır. “Input” ve “Outputs” bölümlerine ait komutlara pencerenin sağında bulunan çerçeveler kısmından da kolaylıkla ulaşılabilir. Aşağıda programın kullanımına ait bazı önemli noktalar hakkında kısa bilgiler verilmektedir.

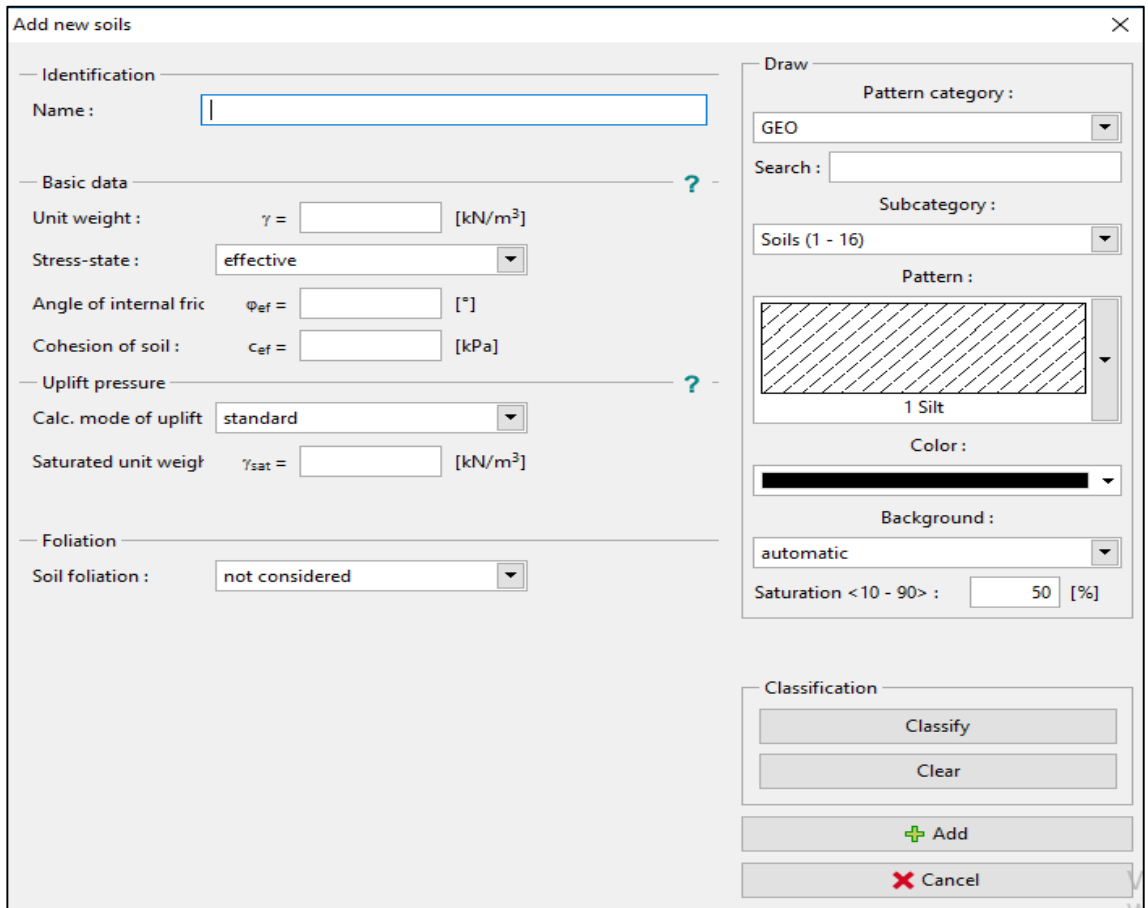
“Input” ana başlığı altında bulunan “Project” bölümüne proje ile ilgili bilgiler (bölüm, açıklama, proje numarası, müşteri bilgisi gibi...) verilebilmektedir.

Programın kullanımı için öncelikle geometrinin oluşturulması gerekmektedir. Bu bağlamda “Interface” komutuyla çalışma alanının geometrisi çizgisel olarak belirlenebilir. Birden fazla zemin üzerinde çalışıldığı durumda yine “Interface” komutuyla çalışma alanının geometrisi istenilen noktalardan, ayrılarak zemin bölgeleri oluşturulabilir (Şekil 3.1).

“Soils” komutuyla çalışma alanında bulunan zemin ya da zeminler için birim hacim ağırlık, içsel sürtünme açısı, kohezyon gibi jeolojik birimlerin mühendislik parametreleri programa tanıtılmaktadır (Şekil 3.2). “Assign” komutuyla programa tanıtılan jeolojik birimler daha önceden çalışma alanı içerisinde oluşturulmuş bölgelere atanmaktadır.



Şekil 3.1. “GEO5 Slope Stability” programı genel görünüşü



Şekil 3.2. Mühendislik parametrelerinin girildiği “Soils” komutunun genel görünüşü

Çalışma alanında yeraltı suyu varsa “Water” komutu ile programda oluşturulan modele tanımlanabilir. Bu seçenek sayesinde boşluk suyu basıncı da hesaplamalara dahil edilir.

Program herhangi bir yapısal elemanı tanımlamayı mümkün kılmaktadır. Ankraj elemanlarını tanımlamak için “Anchors” komutuyla ankrajların serbest boyu (l), kök boyu (l_k), eğimi (α), kuvveti (F); çiviler için “Nails” komutuyla çivilerin uzunluk (l), eğim (α), çekme mukavemeti (R_t); kazıklar için “Anti-Slide piles” komutuyla kazık aralığı, en-kesit türü, kazık çapı (d), maksimum taşıma kapasitesi (V_u) değerleri program girdileri kısmında verilmelidir. Ayrıca arazi üzerindeki ilave yükler için “Surcharge” komutuyla sürşarj çeşidi, eylem türü, eğimi (α), büyüklüğü (q) ve dinamik etkiler için “Earthquake” komutuyla yatay-dikey sismik katsayı (K_h , K_v) değerleri de programa girilerek hesaplara dahil edilebilmektedir.

Program tarafından önerilen analiz yöntemleri aşağıda sıralanmıştır.

- ✓ Bishop Yöntemi
- ✓ Fellenius / Peterson Yöntemi
- ✓ Spencer Yöntemi
- ✓ Janbu Yöntemi
- ✓ Morgenstern-Price Yöntemi

Programda istenilen model oluşturulduktan sonra analiz için “Input” ana başlığı altında bulunan “Analysis” bölümü kullanılır. Model hangi analiz yöntemi ile analiz edilecek ise seçilir; model üzerinde bir kayma dairesi merkezi ve yüzeyi oluşturulur; son olarak “Analysis” komutuyla şev analizi başlatılır. Analiz sürecinde modelde tanımlanan zeminlerin taraması yapılarak kritik kayma dairesi ve yüzeyi belirlenebilir. Ayrıca belirlenen bir kayma dairesi üzerinde yukarıda belirtilen şev stabilitesi analiz yöntemleri ayrı ayrı gerçekleştirilerek, elde edilen emniyet katsayılarının karşılaştırılması da mümkündür.

4. BULGULAR

4.1. Fizyografi ve İklim

İnceleme alanı Antalya ili, Kumluca ilçesinde yer almaktadır. Kumluca ilçesi Antalya iline yaklaşık 71 Km uzaklıkta olup, Antalya Körfezi ile Fethiye Körfezi arasındaki Teke Yarımadası üzerinde yer almaktadır. İlçe, güneyden Akdeniz, doğudan Kemer, kuzeyden Korkuteli, batıdan Elmalı ve Finike ilçeleri ile çevrili ve yüzölçümü 1253 km² dir.

Bölge yer yer sert olmakla birlikte, genellikle yumuşak bir topoğrafyaya sahiptir. Bölgenin başlıca tepe ve yükseltileri şöyledir: Ortaca Dağı (1141 m.), Eren Dağı (1169 m.), Omurga Dağı (550 m.), Musa Dağı (568 m.), Yangılı Tepe (1233 m.), Kara Tepe (461 m.), Ballık Sırtı (491 m.), Karacapınar Sırtı (250 m.), Tülü Tepe (243m.), Hatice Tepe (290 m.), Hotuşlarköyü Sırtı (200 m.), Asartaş Tepe (316 m.), Uzundere Sırtı (450 m.), Göl Tepe (537 m.).

Bölgede yer alan başlıca akarsu ve dereler şunlardır: Perçin Deresi, Devrent Deresi, Dingillik Deresi, Ulupınar Çayı, Tülü Dere, Yığırcık Dere, Kerkez Dere, Gökcar Dere, Koca Dere, Taşarası Dere, Çay Dere, Hacımehmet Dere, Sarıyar Dere, Ak Dere.

Çalışma bölgesinde bulunan belli başlı yerleşim yerleri şunlardır: Çalışma alanının kuzeyinde Hacılarıyeri ve Yenbeğe mahalleleri, doğusunda Sarmaşık Mahallesi, güney doğusunda Çay ve Kiliseyaka mahalleleri, güneyinde Kumlucayazarı mevki, güney batısında Işıkpınar ve Tekke Mahalleleri ve batısında Asarpınar mahallesi yer almaktadır.

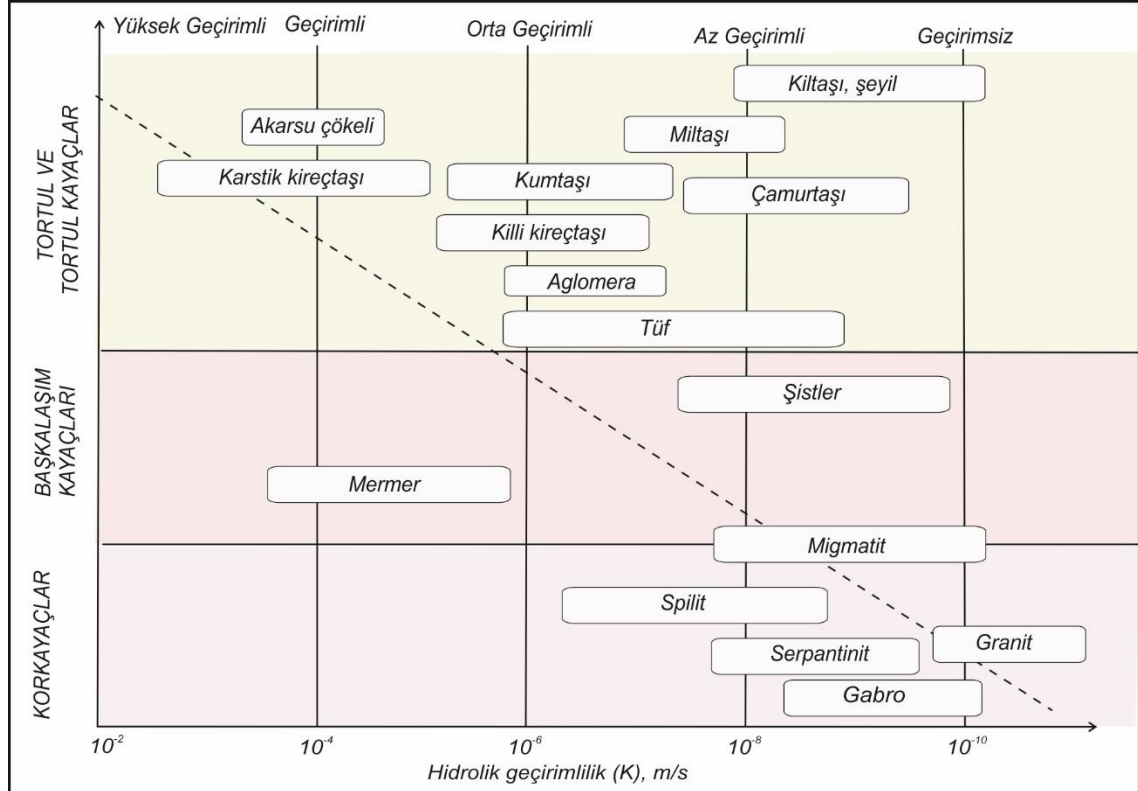
Kumluca ilçesinde Akdeniz iklimi görüldüğü için yazlar sıcak, kışlar ılık geçmektedir. Kış aylarında ortalama sıcaklık 10 °C'nin altına düşmemekte, yaz aylarında ortalama sıcaklık 30 °C dolaylarında olmaktadır. İlçede maksimum yağışlar kış aylarında düşerken, minimum yağışlar yaz aylarında düşmektedir. Ortalama olarak; Kumluca ilçesinde yılda 950 mm yağış düşmektedir. Deniz suyu sıcaklığı kış aylarında yaklaşık 15-16 °C, yaz aylarında ise yaklaşık 28 °C dir.

İlçenin turizm açısından ülke ekonomisine katkısı da oldukça fazladır. İlçede; Olympos, Corydella, Rhodiapolis, İdebessiois, Gagae gibi önemli antik kentler bulunmaktadır. Özellikle, Olympos çok fazla yerli ve yabancı turist tarafından ziyaret edilmektedir. İlçenin sahil şeridi 30 km olup, sahil şeridindeki Adrasan koyu ile Olympos Koyu üzerindeki tesisler ve Mavikent Kasabası Karaöz Koyu'ndaki tatil siteleri ile yerli ve yabancı turistlere hizmet verilmektedir.

4.2. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Yeraltı suyu hareketi, suyun içinde bulunduğu birimin geçirimsizliği, gözenekliliği ve kil içeriğine bağlı olarak değişmektedir (Şekil 4.1). İnceleme alanında yer alan formasyonlar litolojik özelliklerine bağlı olarak yeraltı suyu taşırlar. Neritik kireçtaşları geçirimsiz; kiltası içeren seviyeler ise az geçirimsiz - geçirimsiz kabul edilebilir. Birimler, içermiş oldukları çatlak sistemleri ve fay hatları boyunca yeraltı suyu dolaşımına imkan sağlayabilir. Buna ek olarak, bölgede örtü niteliğindeki genç

birimler ile kaya dokanağı arasında yeraltı suyu dolaşımı mümkündür. Ayrıca inceleme alanında heyelanın topuk bölümündeki daha düşük kotlarda yüzeylenen güncel yamaç molozu ve alüvyon birimler yeraltı suyu bakımından zengindir. Bölgede Tekedağı formasyonu (JKt) olarak adlandırılan kireçtaşlarının geçirimsizliği (K, m/s) yaklaşık 10^{-3} - 10^{-5} arasında değişmektedir. Kırdirek formasyonunun (Kkm) geçirimsizliği (K, m/s) kıltaşı-siltaşı seviyeleri için yaklaşık 10^{-8} - 10^{-10} , serpantinit seviyeleri için yaklaşık 10^{-8} - 10^{-9} arasında değişmektedir. Çandır formasyonunun (TRaç) geçirimsizliği ise kıltaşı/silttaşı seviyeleri için yaklaşık 10^{-8} , kumtaşı seviyeleri için yaklaşık 10^{-5} - 10^{-7} arasında değişmektedir.



Şekil 4.1. Litolojik birimlerin su geçirimsizliğine (K, m/s) göre sınıflandırılması (Yılmaz vd. 1999)

4.3. Birimlerin Mühendislik Özellikleri

4.3.1. Çandır formasyonu (TRaç)

Bölgede Çandır formasyonu olarak adlandırılan birim; yol güzergahının alt kotlarında geniş yayılım göstermektedir. Birim, açık sarımsı-bej, grimsi, renkli, ince-orta tabakalı, çekiç darbesi ile dağılan, ayrılmış, zayıf dayanımlı, kıltaşı/silttaşı şeklinde gözlenmiştir (Şekil 4.2). Ayrıca birime, düşük kotlarda yaklaşık 300-309 m. kotlarında sarımsı-bej renkli, zayıf dayanımlı, ayrılmış, bol çatlak-eklem içeren kumtaşı seviyeleri olarak da rastlanılmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.2. Triyas yaşlı kıltaşı-silttaşı birimi (TRaç)



Şekil 4.3. Çandır formasyonuna (TRaç) ait kumtaşı seviyeleri

4.3.2. Tekedağı formasyonu (JKt)

Çalışma alanında Tekedağı formasyonu olarak adlandırılan birim; krem-bej, koyu gri renkli, yüzeyi pürüzlü, bol miktarda kırıklı ve çatlaklı yapıda, yer yer kalsit dolgulu, orta dayanımlı, ayrışma derinliği az, kalsit dolgulu kireçtaşlarından oluşmaktadır. Genellikle dik yamaçlarda kütleli görünümü olarak gözlenmektedir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Jura-Kretase yaşlı kireçtaşları (JKt)

4.3.3. Kırkdirek formasyonu (Kkm)

Bölgede Kırkdirek formasyonu olarak belirtilen ofiyolitik melanj birimi; yol güzergahında bulunan mevcut yarmalarda görülmekte olup, heyelan topuğunun sol tarafında yaklaşık 316 m kotunda da mostra vermektedir (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6). Birim, sarımsı-gri-yeşilimsi renkli elle ufalanabilen, zayıf dayanımlı, çok ayrışmış, kıltaşı, silttaşı; kızılımsı-bordo renkli tümüyle ayrışmış radyolarit; zayıf-çok zayıf dayanımlı, çok ayrışmış serpantin; yer yer Jura - Kretase yaşlı kireçtaşı ve yersel olarak gözlenen grafit seviyelerinden (Şekil 4.7) oluşmaktadır. Ayrıca birim, düşük kotlarda ince-orta tabakalı, zayıf dayanımlı, orta - çok derece ayrışmış olarak da yüzlek vermekte olup, yamaç tabanında ince taneli serbest malzemelerin birikimi ve tabanda su çıkışı gözlenmektedir.



Şekil 4.5. Kretase yerleşim yaşlı ofiyolitik melanj (Kkm)



Şekil 4.6. Düşük kotlarda gözlenen ofiyolitik melanjdan bir görünüm (Kkm)



Şekil 4.7. Ofiyolitik melaj içerisinde yer alan grafit seviyesi

4.3.4. Yamaç Molozu (Qym)

Kuvaterner yaşlı bu birim, çalışma alanımızda sarı, bej, kırmızımsı renkli olarak görülmektedir. Birimin ana bileşenini; ince-orta taneli kumlu, çakıllı, siltli, kil ve ana kayadan koparak gelen kireçtaşı kökenli, köşeli-yarı köşeli kayaç parçaları ve blokları oluşturmaktadır. Söz konusu olan bu kayaç parçaları ve bloklar, çalışma alanımızın kuzey batısındaki yamaçta bulunan yüksek dayanımlı kayaçlardan türemiştir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Çalışma alanında gözlenen Kuvaterner yaşlı yamaç molozu (Oym)

4.4. Jeoteknik Çalışmalar

Kemer-Kumluca yolu üzerinde gerçekleşen heyelan; yol güzergahının Km:74+600 kesiminde, yolun sağından yaklaşık 50.00 metre gerisinde ve yaklaşık 522.00 kotlarındaki yamaçta oluşan taçtan GD istikametinde yamaç aşağıya ilerleyerek yaklaşık 314.00 metre kotlarına kadar ulaşmıştır (Şekil 4.9, Şekil 4.10). Heyelanın sol yamaç şev tepesi üzerinde gelişen çatlaklar ve su çıkışları Şekil 4.11’de, gelişen kütle hareketinin topuğunda gözlenen su çıkışları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.9. Gerçekleşen kütle hareketi sonrası görünüm (Yüksel Proje 2018)



Şekil 4.10. Gelişen kütle hareketine karşıdan bakış (Yüksel Proje 2018)



Şekil 4.11. Sol yamaç şev tepesi üzerinde gelişen çatlaklar ve su çıkışı



Şekil 4.12. Gelişen kütle hareketinin topuğunda gözlenen su çıkışları

Topoğrafya ve eski uydu görüntülerine bakıldığında bölgenin potansiyel heyelan alanı olduğu görülebilmektedir. Şekil 4.13'te bölgenin farklı tarihlerdeki uydu görüntüleri verilmiştir.

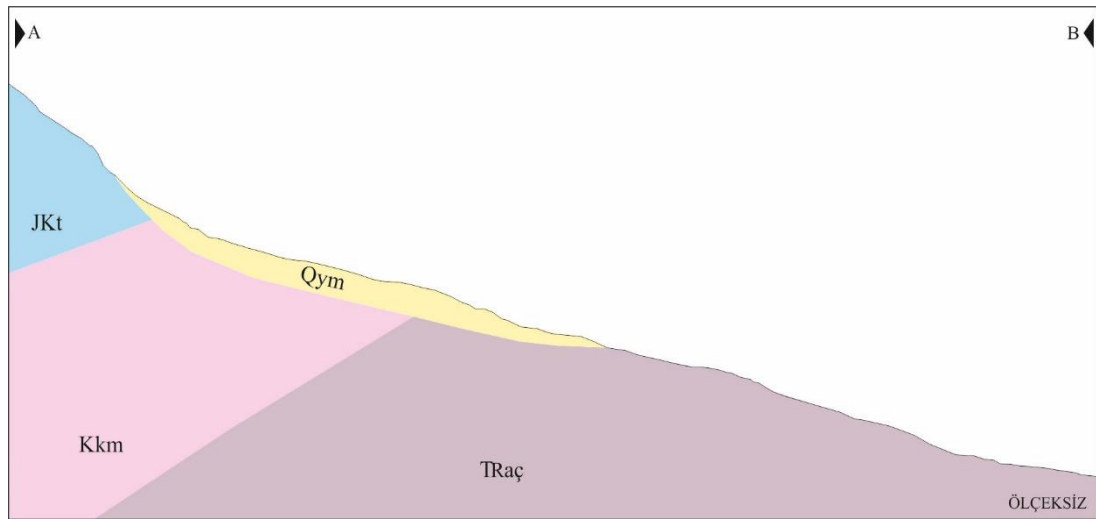


Şekil 4.13. Bölgenin farklı tarihlerdeki uydu görüntüleri

Bölgede meydana gelen heyelanı araştırmak için Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü 32 sondaj çalışması yaptırmıştır. Bu çalışmalar içerisindeki 9 sondaj çalışması, heyelanın tepe kısmından topuk kısmına doğru aks boyunca uygulanmış (Şekil 4.14) ve heyelan alanında türetilen düşey kesit Şekil 4.15'te verilmiştir. Bu çalışmalar ışığında, heyelan alanının dayanım değerleri Çizelge 4.1'de; ayrışma değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Heyelan üzerinde uygulanan sondaj çalışmaları



Şekil 4.15. Heyelan alanının düşey kesiti

Çizelge 4.1. Heyelan alanında yapılan sondajlardan elde edilen dayanım değerleri

DERİNLİK (m)	SONDAJ NO															
	KKH-1i	KKH-2i	KKH-3i	KKH-4i	KKH-5i	KKH-6i	KKH-7i	KKH-8i	KKH-9i							
1,50	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
3,00																
4,50																
6,00																
7,50																
9,00	R1	-	-	R1	R2-R1	-	-	-								
10,50																
12,00																
13,50	R2-R1	R2-R1	-	R2-R1	R2	R2-R1	-	-								
15,00																
16,50																
18,00		R2-R1		R3-R2					R2	R2-R1	-	-				
19,50																
21,00		R2-R1		R3-R2					R2	R3-R2	R2	R2-R1	-	-		
22,50																
24,00																
25,50																
27,00																
28,50	30 m Kuyu Sonu	R2-R1	R2-R1	R3	R3-R2	R2-R1	R2	24 m Kuyu Sonu								
30,00																
31,50																
33,00																
34,50																
36,00				36 m Kuyu Sonu			R2-R1		R4-R3	R2	R2-R1	R2	R2-R1			
37,50																
39,00																
40,50																
42,00																
43,50	42 m Kuyu Sonu	R3-R2	-	-	-	-	R2-R1									
44,50																
45,00																
46,50																
48,00								48 m Kuyu Sonu	-	-	-	-	-	-		
49,50																
51,00																
52,50																
54,00																
55,50																
57,00																
58,50																
DAYANIM (ISRM)																
	R0	Aşırı Derecede Zayıf Kayaç													$q_u = 0.25-1.0$ Mpa	
	R1	Çok Zayıf Kayaç						$q_u = 1.0-5.0$ Mpa								
	R2	Zayıf kayaç						$q_u = 5.0-25$ Mpa								
	R3	Orta Derecede Sağlam Kayaç						$q_u = 25-50$ Mpa								
	R4	Sağlam Kayaç						$q_u = 50-100$ Mpa								
	R5	Çok Sağlam Kayaç						$q_u = 100-250$ Mpa								
	R6	Aşırı Derecede Sağlam Kayaç						$q_u > 250$ Mpa								

Çizelge 4.2. Heyelan alanında yapılan sondajlardan elde edilen ayrışma değerleri

DERİNLİK (m)	SONDAJ NO								
	KKH-1i	KKH-2i	KKH-3i	KKH-4i	KKH-5i	KKH-6i	KKH-7i	KKH-8i	KKH-9i
1,50									
3,00									
4,50	-			-	-	-			-
6,00									
7,50		-							
9,00			-		IV				
10,50	V			IV-V					
12,00									
13,50									
15,00						IV-V			
16,50		IV-V		III-IV					V
18,00									
19,50				IV					
21,00									
22,50	IV-V	III-IV		III-IV	III-IV				
24,00						IV		IV	24 m Kuyu Sonu
25,50		III-IV		III				IV-V	
27,00						IV-V		V	
28,50							IV-V		
30,00	30 m Kuyu Sonu								30 m Kuyu Sonu
31,50		IV-V		II-III					
33,00			IV-V			IV			
34,50							IV		
36,00					36 m Kuyu Sonu				
37,50									
39,00									
40,50		III-IV						IV-V	
42,00		42 m Kuyu Sonu							
43,50									
45,00									45 m Kuyu Sonu
46,50									
48,00			48 m Kuyu Sonu						
49,50									
51,00									
52,50									
54,00									
55,50									
AYRIŞMA (ISRM)									
							I	Taze	
							II	Az Ayrışmış	
							III	Orta Derece Ayrışmış	
							IV	Çok Ayrışmış	
							V	Tamamen Ayrışmış	

Karayolları Genel Müdürlüğü ve Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü kontrolünde Yüksel Proje bölgede etüt çalışması yapmıştır. Yamaç molozu, Kırkdirek, Çandır formasyonları ve yapay dolgu için stabilite analizlerinde kullanılan parametreler, Yüksel Proje tarafından hazırlanan ‘‘Km:74+500-74+720 ve 74+100 Aralığı Heyelan Modellemesi ve Tasarımına Ait Jeoteknik Proje Raporu’’ ‘ndan alınmıştır. Tekedağı formasyonu için stabilite analizlerinde kullanılan parametreler ise arazi gözlemleri, Schmith deneyi sonuçları ve literatürde kabul görmüş bağıntılar kullanılarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

4.4.1. Çandır formasyonu (TRaç)

Çalışma alanında yapılan temel araştırma sondajlarında Çandır formasyonu; radyolarit, kıltaşı-kireçtaşı ardalanması, kıltaşı-silttaşı, kıltaşı birimlerinden oluşmaktadır. Ayırışma derecesine göre birim, Çandır formasyonu'nun çok-tümüyle ayırışmış (TRaç-W5) ve ayırışmamış seviyeleri (TRaç) olarak iki kısımda değerlendirilmeye alınmıştır.

Çandır formasyonunun çok - tümüyle ayırışmış seviyeleri (TRaç-W5) içerisinde SPT deneyleri yapılmış; örselenmiş örnekler alınmış ve laboratuvar deneylerine ait sonuçlar Çizelge 4.3'de sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Çandır formasyonu ayırışmış seviyelerinin (TRaç-W5) deney sonuçları

SPT (N)	$28 \leq \text{SPT (N)} \leq R$
Su içeriği (W _n)	$\% 9.9 \leq W_n \leq \% 18.9$
Likit limit (LL)	$\% NP \leq LL \leq \% 64.8$
Plastisite İndeksi (PI)	$NP \leq PI \leq 36.5$
4 nolu elek üstünde kalan (+4)	$\% 5.5 \leq +4 \leq \% 47.7$
200 nolu elekten geçen (-200)	$\% 16.9 \leq -200 \leq \% 66.2$
Zemin sınıfı (USCS)	CH, CL/CH, GM, GC, GP – GM, SM

Çandır formasyonuna (TRaç) ait karot yüzdesi (TCR), kaya kalite göstergesi (RQD) ile nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$), tek eksenli basınç dayanımı (q_u) ve birim hacim ağırlık (γ) değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Çandır formasyonuna (TRaç) ait deney sonuçları

Karot Yüzdesi (TCR)	$\% 16 \leq \text{TCR} \leq \% 100$
Kaya Kalitesi (RQD)	$\% 0 \leq \text{RQD} \leq \% 73$
Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$)	$0.25 \text{ MPa} \leq I_{s(50)} \leq 6.86 \text{ MPa}$
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (q_u)	$1.3 \text{ MPa} \leq q_u \leq 64.4 \text{ MPa}$
Birim Hacim Ağırlık (γ)	$2.16 \text{ gr / cm}^3 \leq \gamma \leq 2.68 \text{ gr / cm}^3$

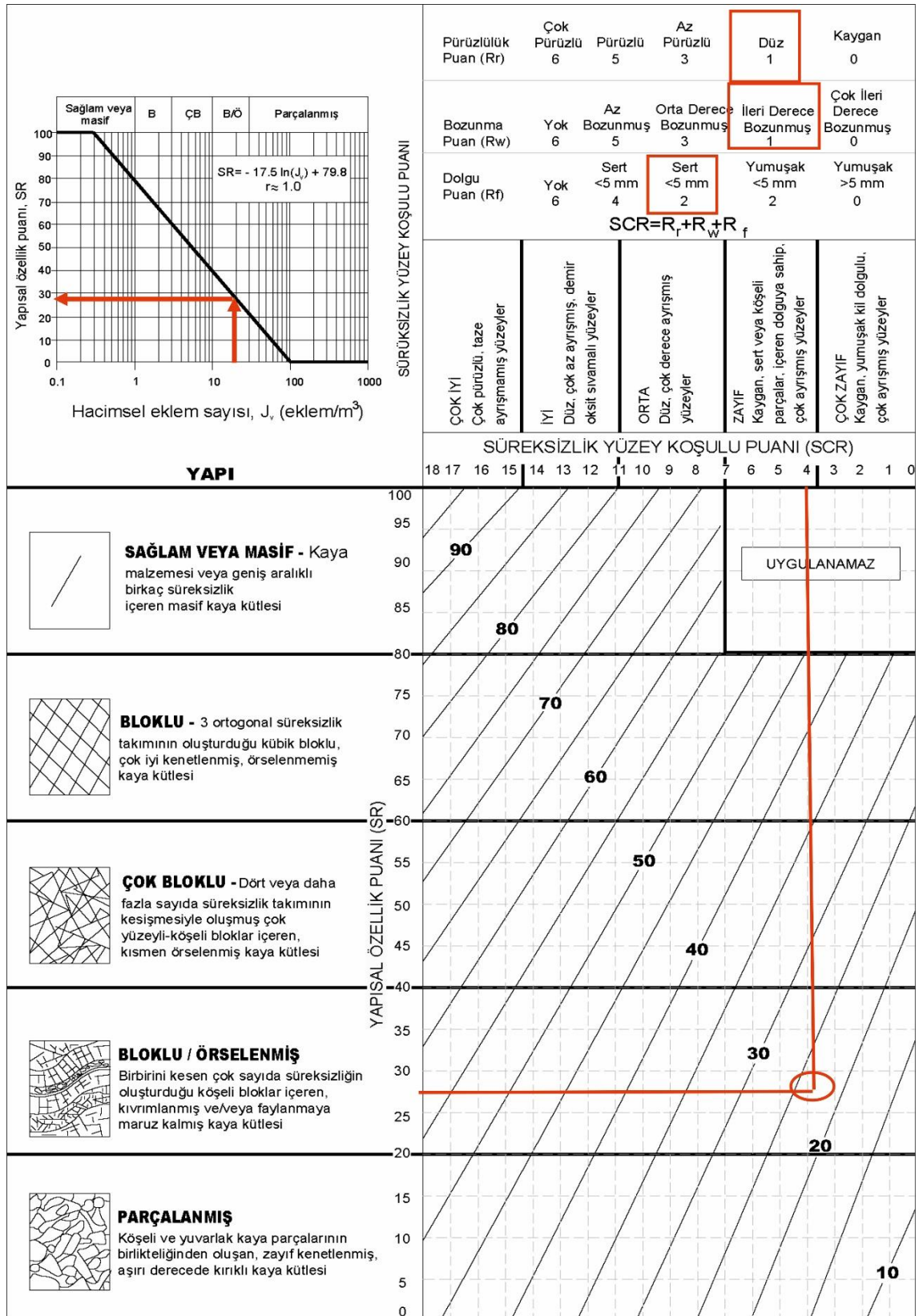
Çandır formasyonunun çok-tümüyle ayırışmış (TRaç-W5) ve ayırışmamış seviyeleri (TRaç) için öngörülen kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi aşağıda anlatılmıştır.

Kaya birimleri için hesaplanan jeolojik dayanım indeksi (GSI); süreksizlik yüzey koşulu (SCR) ve yapısal özellik (SR) puanları dikkate alınarak niceliksel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan bu değerlendirmelerde Hacimsel eklem sayısı, $J_v = \text{Süreksizlik takım sayısı} / \text{süreksizlik aralığı (metrede)}$ eşitliği kullanılarak Çandır formasyonu (TRaç) için $2/(1/10) = 20$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer ile birimin yapısal özellik puanı (SR), çizelgede verilen grafik yardımıyla 28 olarak bulunmuştur. Bu bağlamda birimler için; seçilen tek eksenli basma dayanımı, GSI puanı (Çizelge 4.6; Çizelge 4.7), kayaç malzeme sabiti (mi), örselenme modülü (df), elastisite modülü ve birim hacim ağırlık verileri (Çizelge 4.5) Roclab bilgisayar programı ile değerlendirilerek, birimlere ait normal gerilme-kesme dayanımı grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.16; Şekil 4.17).

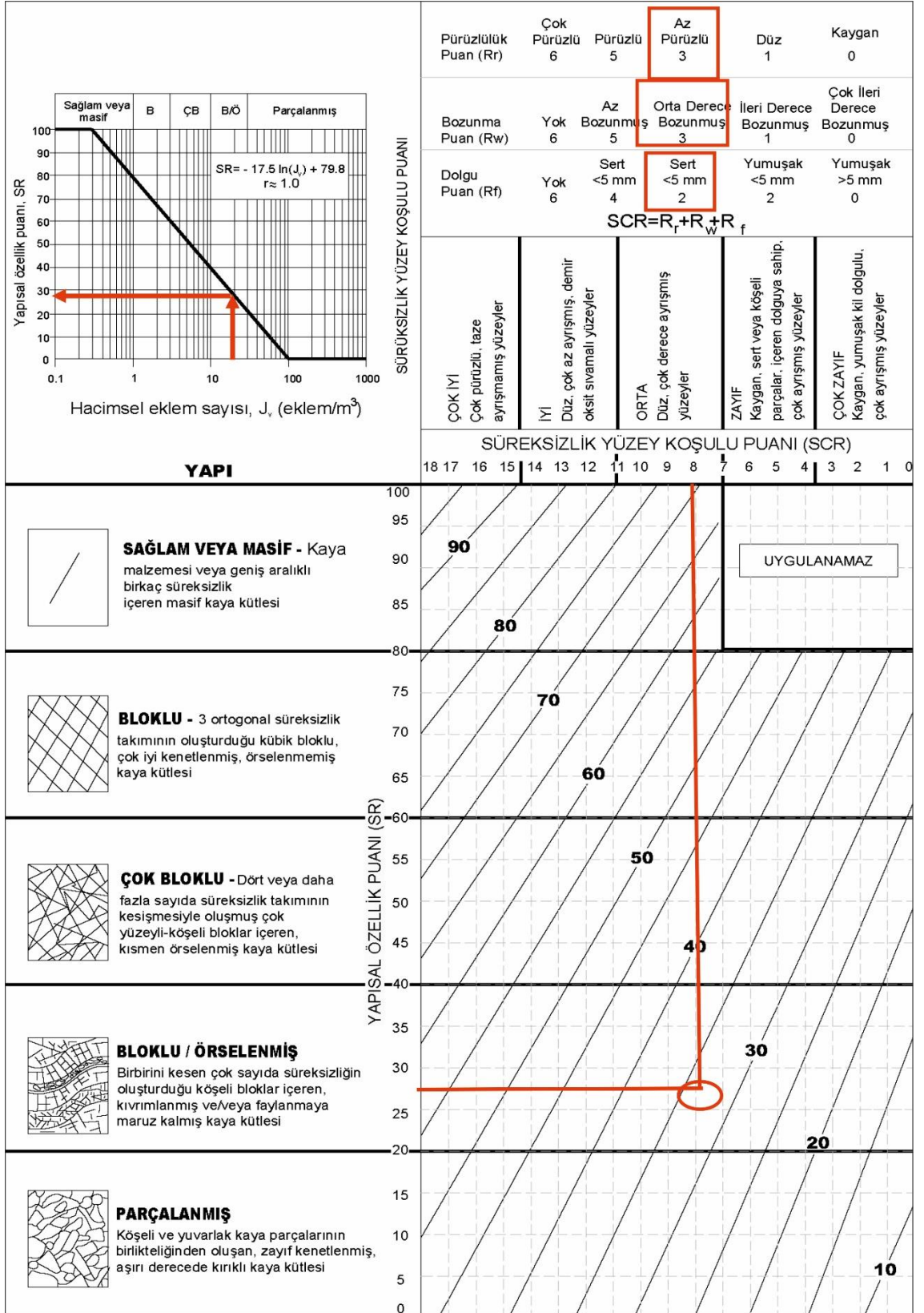
Çizelge 4.5. Çandır formasyonuna ait kaya kütle parametreleri

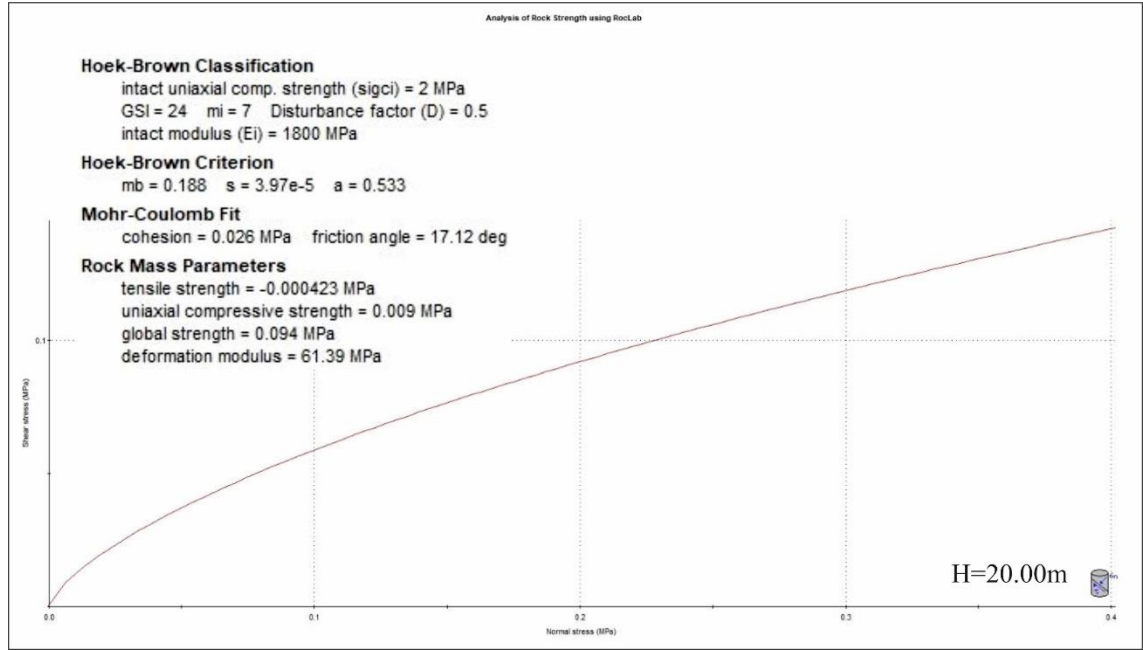
Jeolojik Birim	Tek eksenli basma dayanımı(MPa)	GSI	Kayaç malzeme sabiti(mi)	Elastisite modülü (MPa)	Örselenme faktörü (df)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
TRaç-W5	2	24	7	1800	0,5	23
Traç	5	34	7	3000	0,3	24

Çizelge 4.6. Çandır formasyonu ayrılmış seviyesine (TRaç-W5) ait GSI puanlaması (Sönmez ve Ulusay 2002)

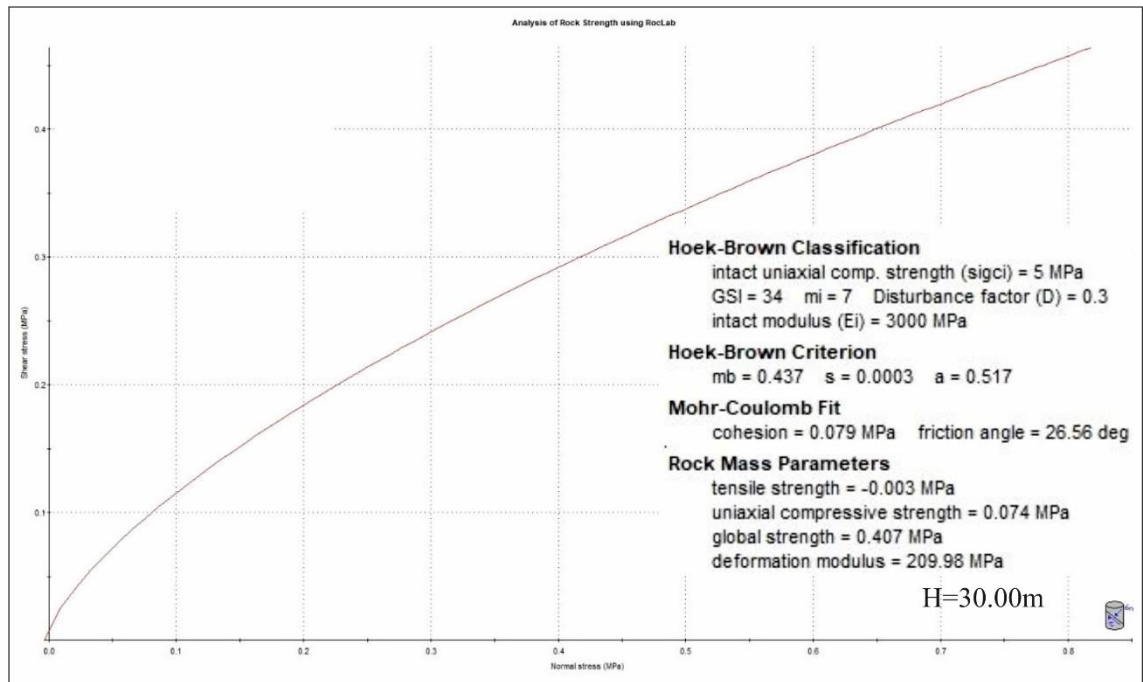


Çizelge 4.7. Çandır formasyonuna (TRaç) ait GSI puanlaması (Sönmez ve Ulusay 2002)





Şekil 4.16. Çandır formasyonunun ayrılmış seviyelerine (TRaç-W5) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği



Şekil 4.17. Çandır formasyonuna (TRaç) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği

4.4.2. Tekedağı formasyonu (JKt)

Çalışma alanında Tekedağı formasyonu olarak bilinen Jura-Kretase yaşlı kireçtaşı biriminin jeoteknik parametreleri aşağıda anlatıldığı gibi elde edilmiştir. Arazi çalışmaları sonrasında elde edilen veriler şunlardır:

RQD (%): 61,5 (Orta)

Eklem Set Sayısı (Jn): 2 (Bir set+Düzensiz süreksizlikler)

Eklem Pürüzlülük (Jr): 1,5 (Kayma çizikli, dalgalı)

Su Durumu (Jw): 0,6 (Orta Akış veya basınç)

Eklem Alterasyonu (Ja): 10 (Ayrışmış, ufalanmış kaya parçalı ve killi dolgu bantları)

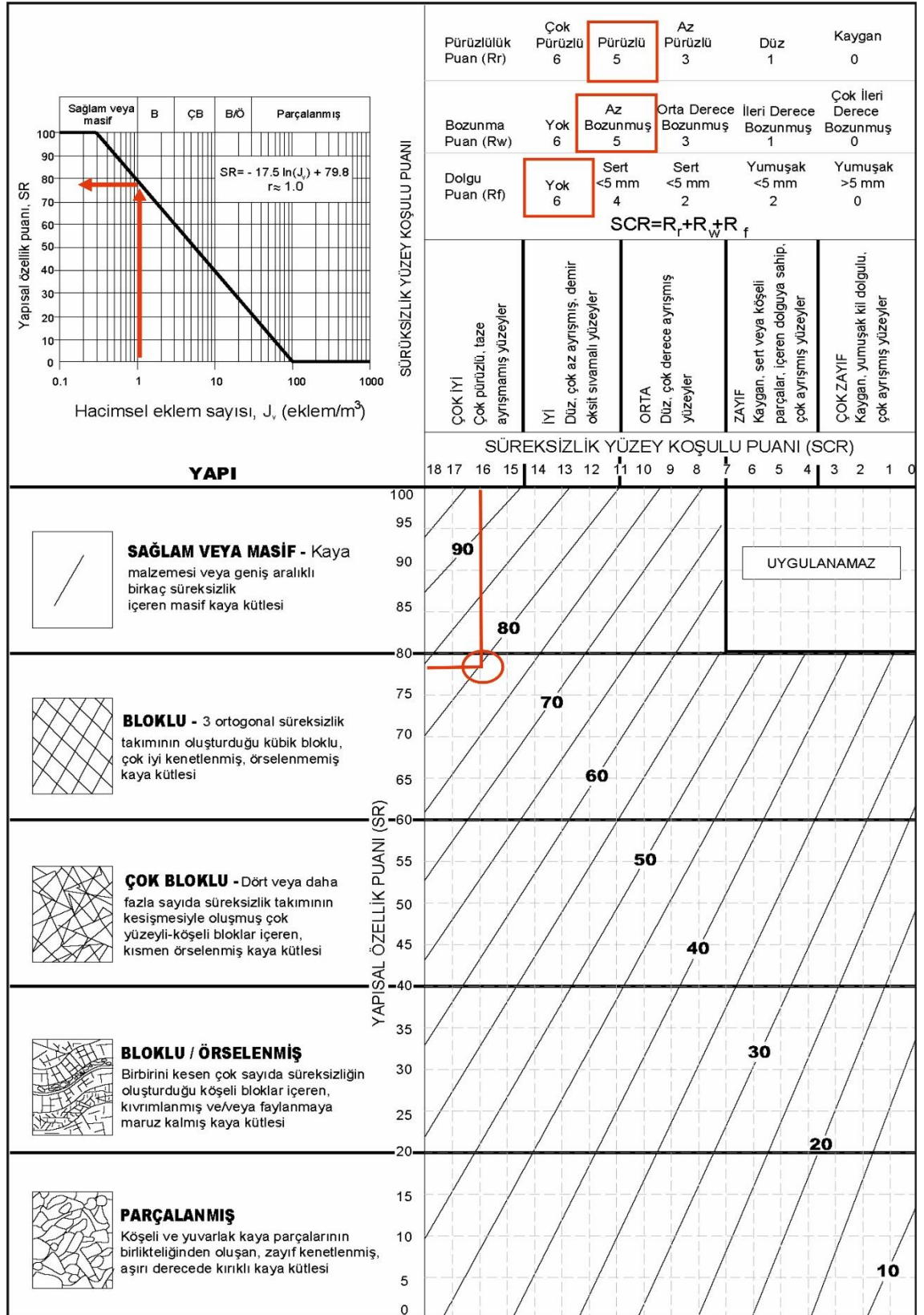
Stres İndirgeme Değeri (SRF): 1 (Orta stres, uygun stres koşulları)

Bu verilere göre kaya kütle değeri (Q) 2,768 ($Q=(RQD/Jn)*(Jr/Ja)*(Jw/SRF)$); kaya sınıfı değeri (RMR) 53,2; Elastisite modülü (Em) 12 GPa ($Em=10^{(RMR-10)/40}$) olarak bulunmuştur (Çizelge 4.8). Bu birimde ölçülen Schmidth değerlerinin ortalaması alınarak Schmidth değeri 36,9 olarak belirlenmiş, birim hacim ağırlığı (γ) 24 kN/m³ alınmıştır. Birimin tek eksenli basma dayanımı, Schmidth değeri ve birim hacim ağırlık değeri kullanılarak (Deere ve Miller 1966, Hoek ve Bray 1977'den) 60 MPa olarak belirlenmiştir. Hacimsel eklem sayısı (Jv), Tekedağı formasyonu (JKt) için 1 olarak hesaplanmıştır. Bu değer ile birimin yapısal özellik puanı (SR), 77 olarak bulunmuştur (Çizelge 4.9). Birim için; tek eksenli basma dayanımı, GSI puanı (Çizelge 4.9), kayaç malzeme sabiti (mi), örselenme modülü (df), elastisite modülü ve birim hacim ağırlık verileri Çizelge 4.10'da verilmiş ve Roclab bilgisayar programı ile değerlendirilerek, birime ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.18).

Çizelge 4.8. Tekedağı biriminin (JKt) kaya kütle sınıflaması

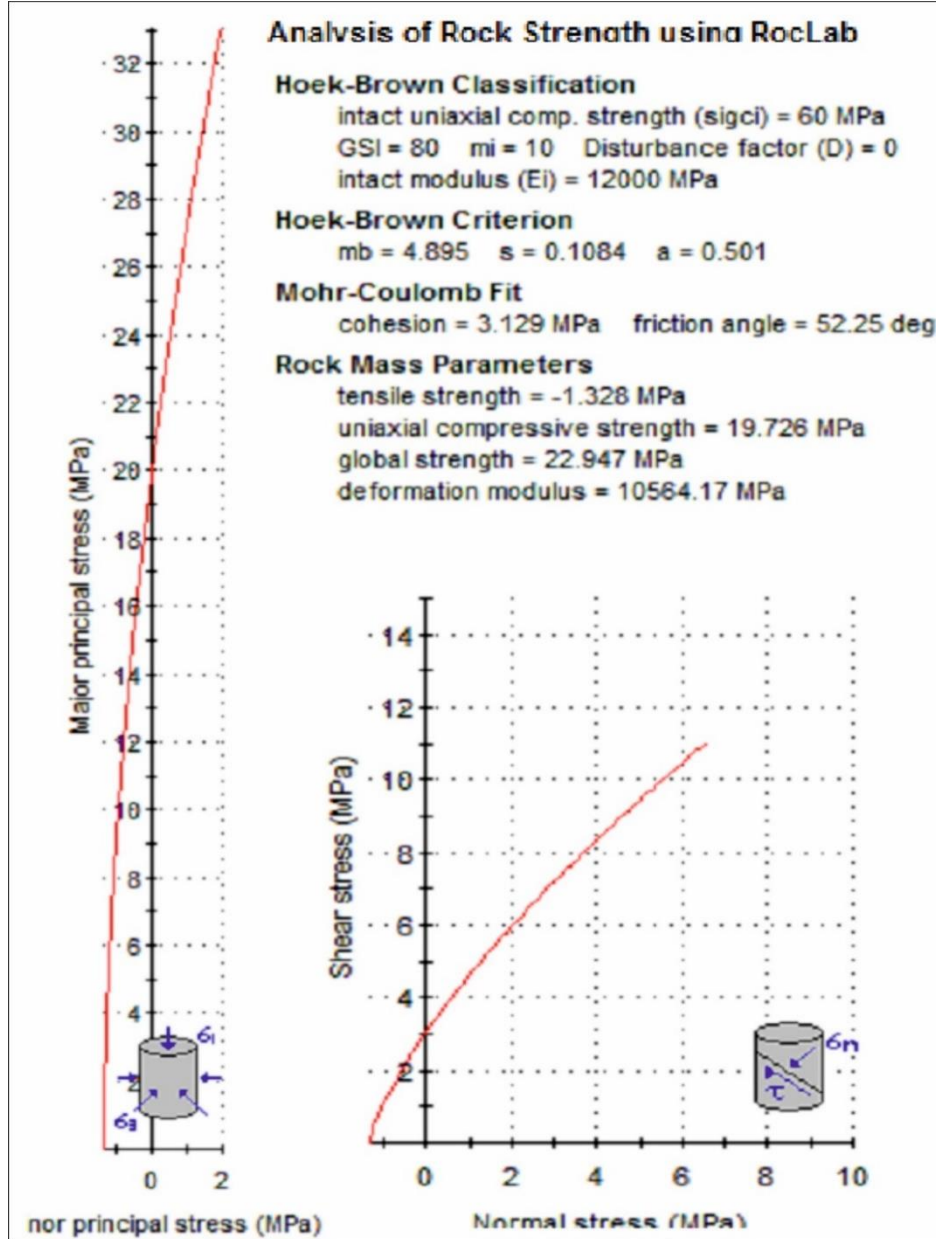
Sembol	Tanım	Birim	Değer	Açıklama
Q	Kaya Kütle Değeri	–	2,768	Barton vd. (1974)
RMR	Kaya Sınıfı Değeri	–	53,2	Bieniawski (1989)
Em	Elastisite Modülü	GPa	12	Serafim ve Pereira (1983)

Çizelge 4.9. Tekedağı formasyonuna ait GSI puanlaması (Sönmez ve Ulusay 2002)



Çizelge 4.10. Tekedağı formasyonuna (JKt) ait kaya kütle parametreleri

Jeolojik Birim	Tek eksenli basma dayanımı(MPa)	GSI	Kayaç malzeme sabiti(mi)	Elastisite modülü (MPa)	Örselenme faktörü (df)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
JKt	60	80	10	12000	0	24

**Şekil 4.18.** Tekedağı formasyonuna (JKt) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği

4.4.3. Kırkdirek formasyonu (Kkm)

Çalışma alanında yapılan temel araştırma sondajlarında izlenen Kırkdirek formasyonu (Kkm); ofiyolitik melanj, kireçtaşı, radyolarit, kıltaşı/silttaşı birimlerinden oluşmaktadır. Ayrışma derecesine göre birim, çok-tümüyle ayrılmış (Kkm-W5) ve ayrışmamış seviyeleri (Kkm) olarak ikiye ayrılmıştır. Kırkdirek formasyonunun çok-tümüyle ayrışmış seviyeleri (Kkm-W5) genel olarak kumlu çakıllı kil birimleri ile temsil edilmektedir.

Kırkdirek formasyonunun çok – tümüyle ayrışmış seviyelerinde (Kkm – W5) SPT deneyleri yapılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır. Bu örneklerde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerine ait sonuçlar Çizelge 4.11’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Kırkdirek formasyonu ayrışmış seviyelerinin (Kkm-W5) deney sonuçları

SPT (N)	$18 \leq \text{SPT (N)} \leq 41$
Su içeriği (W _n)	$\% 11.7 \leq W_n \leq \% 21.1$
Likit limit (LL)	$109.1 \leq LL \leq \% 153.2$
Plastisite İndeksi (PI)	$81.0 \leq PI \leq 118.9$
4 nolu elek üstünde kalan (+4)	$\% 0 \leq +4 \leq \% 7.7$
200 nolu elekten geçen (-200)	$\% 72.6 \leq -200 \leq \% 98.6$
Zemin sınıfı (USCS)	CL, CH

Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait karot yüzdesi (TCR), kaya kalite göstergesi (RQD) ile nokta yükü dayanım indeksi ($I_{s(50)}$) değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

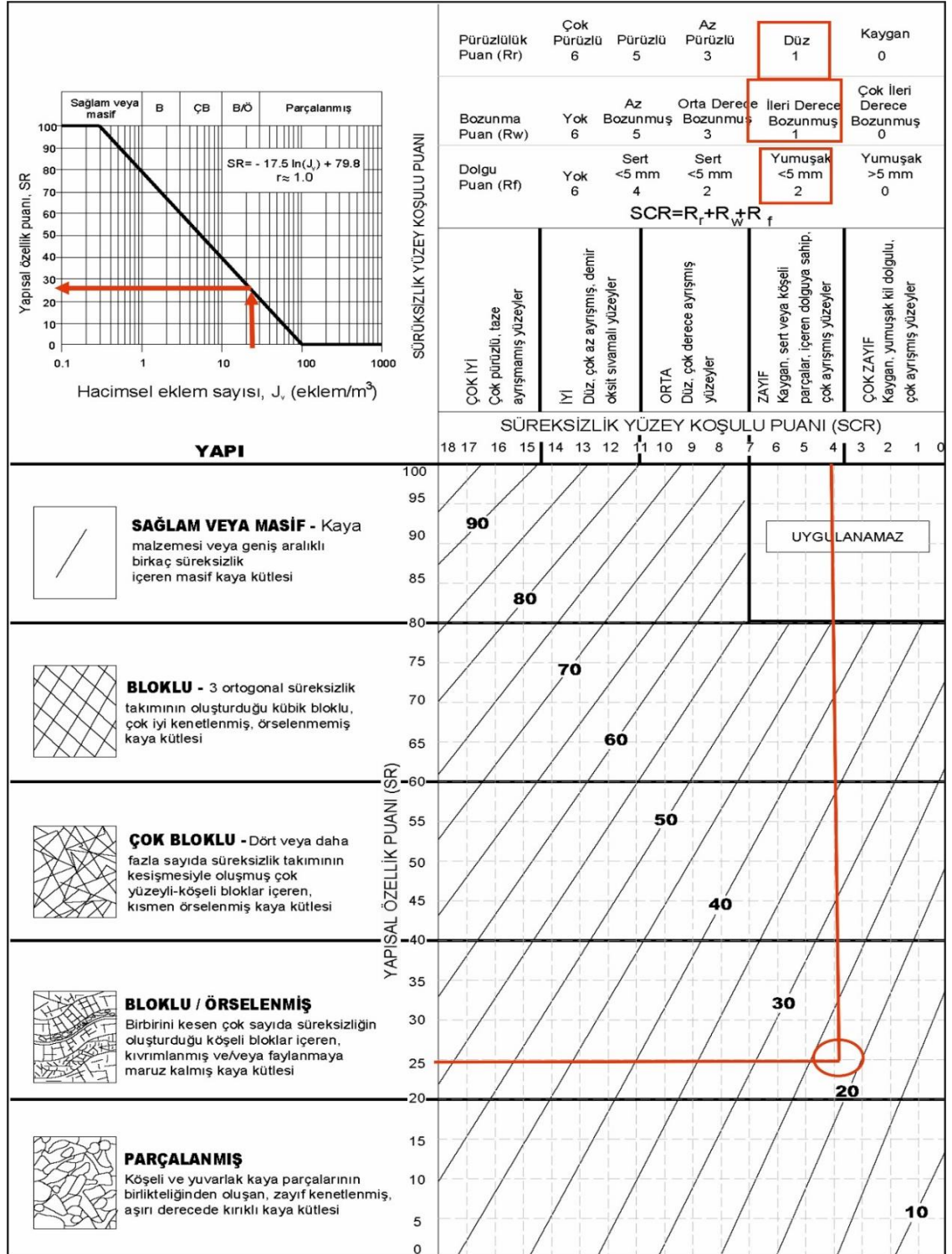
Çizelge 4.12. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait deney sonuçları

Karot Yüzdesi (TCR)	$\% 37 \leq \text{TCR} \leq \% 100$
Kaya Kalitesi (RQD)	$\% 0 \leq \text{RQD} \leq \% 44$
Nokta Yükü Dayanım İndeksi ($I_{s(50)}$)	$0.23 \text{ MPa} \leq I_{s(50)} \leq 7.54 \text{ MPa}$

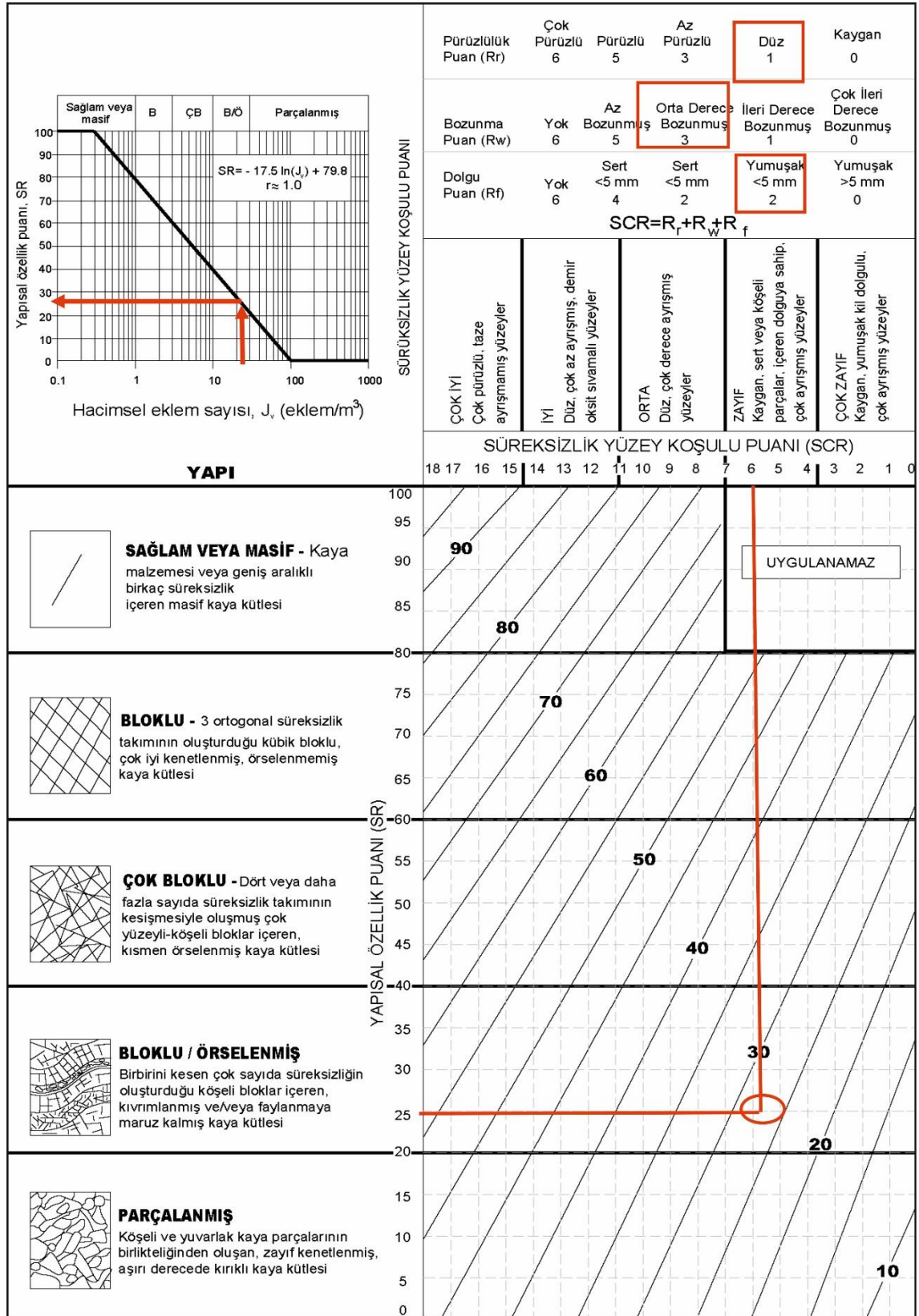
Kırkdirek formasyonunun çok-tümüyle ayrışmış (Kkm-W5) ve ayrışmamış seviyeleri (Kkm) için öngörülen kaya kütle parametrelerinin belirlenmesi için yapılan değerlendirmelerde; hacimsel eklem sayısı, $J_v = \text{Süreksizlik takım sayısı} / \text{süreksizlik aralığı (metrede)}$ eşitliği kullanılarak Kırkdirek formasyonu Kkm için $2/(1/12) = 24$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu değer ile birimin yapısal özellik puanı (SR), tablolarda verilen grafik yardımıyla 25 olarak bulunmuştur. Bu bağlamda birimler için; seçilen tek eksenli basma dayanımı, GSI puanı (Çizelge 4.13; Çizelge 4.14), kayaç malzeme sabiti (mi), örselenme modülü (df), elastisite modülü ve birim hacim ağırlık

verileri (Çizelge 4.15) Roclab bilgisayar programı ile değerlendirilerek, birimlere ait normal gerilme-kesme dayanımı grafikleri elde edilmiştir (Şekil 4.19; Şekil 4.20).

Çizelge 4.13. Kırkdirek formasyonu ayrışmış seviyesine (Kkm-W5) ait GSI puanlaması (Sönmez ve Ulusay 2002)

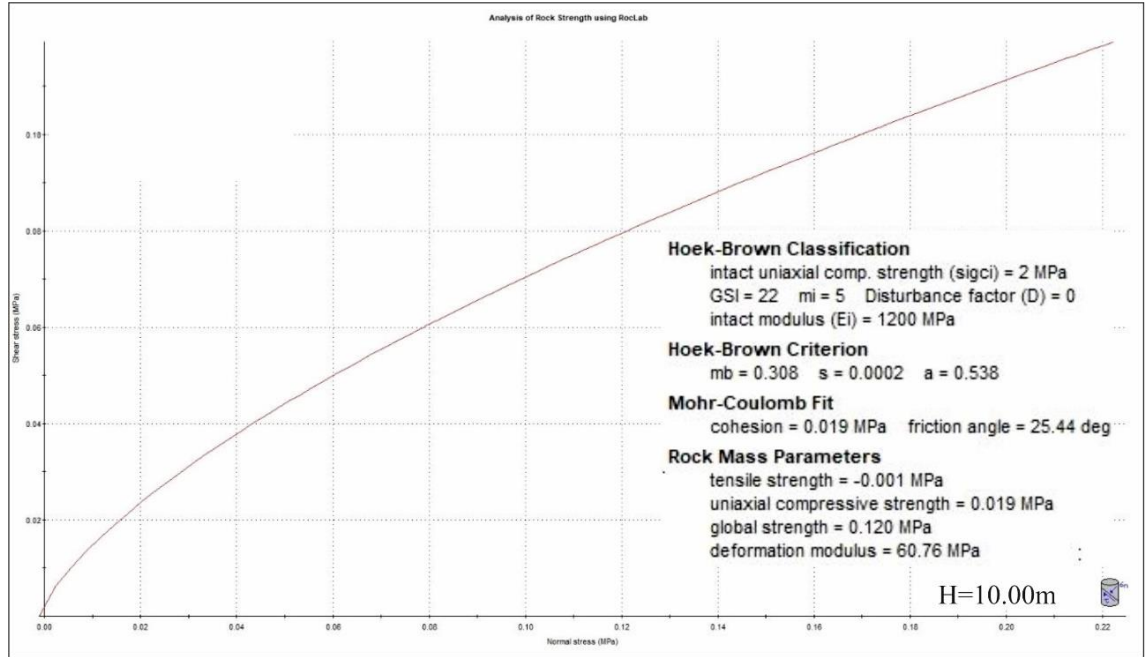


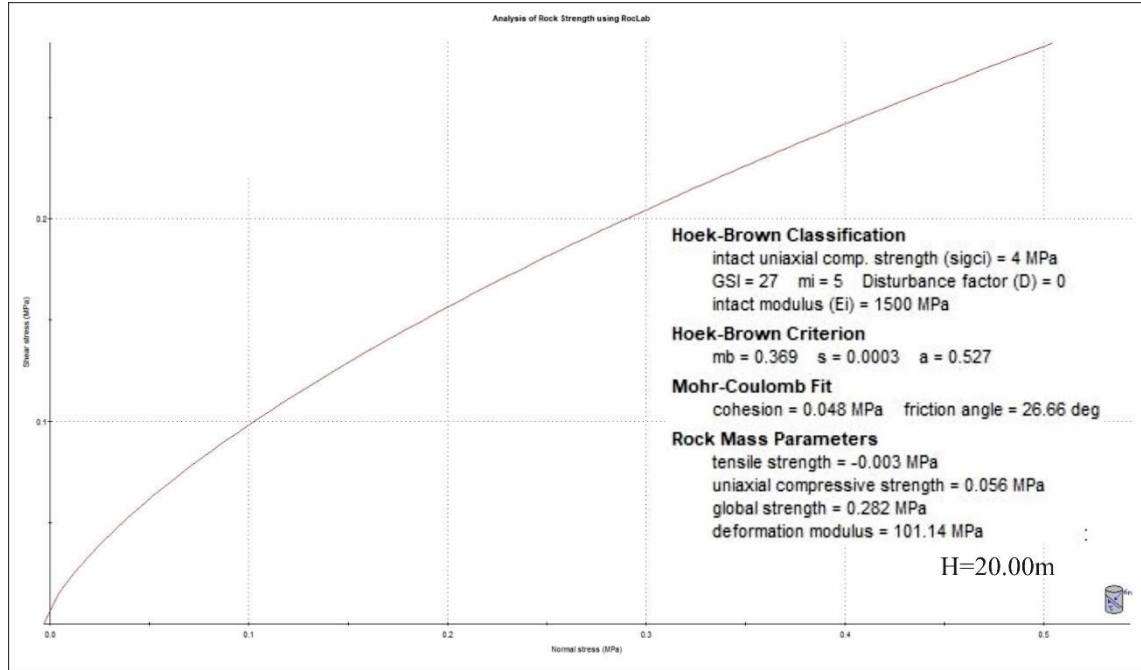
Çizelge 4.14. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait GSI puanlaması (Sönmez ve Ulusay 2002)



Çizelge 4.15. Kırkdirek formasyonuna ait kaya kütle parametreleri

Jeolojik Birim	Tek eksenli basma dayanımı(MPa)	GSI	Kayaç malzeme sabiti(mi)	Elastisite modülü (MPa)	Örselenme faktörü (df)	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)
Kkm-W5	2	22	5	1200	0	20
Kkm	4	27	5	1500	0	22

**Şekil 4.19.** Kırkdirek formasyonunun ayrılmış seviyelerine (Kkm-W5) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği



Şekil 4.20. Kırkdirek formasyonuna (Kkm) ait normal gerilme-kesme dayanımı grafiği

4.4.4. Yamaç Molozu (Oym)

Proje alanında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonuçlarına göre, yamaç molozu (Qym) birimi, orta sıkı-sıkı siltli çakıl niteliğindedir. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Yamaç molozuna (Qym) ait deney sonuçları

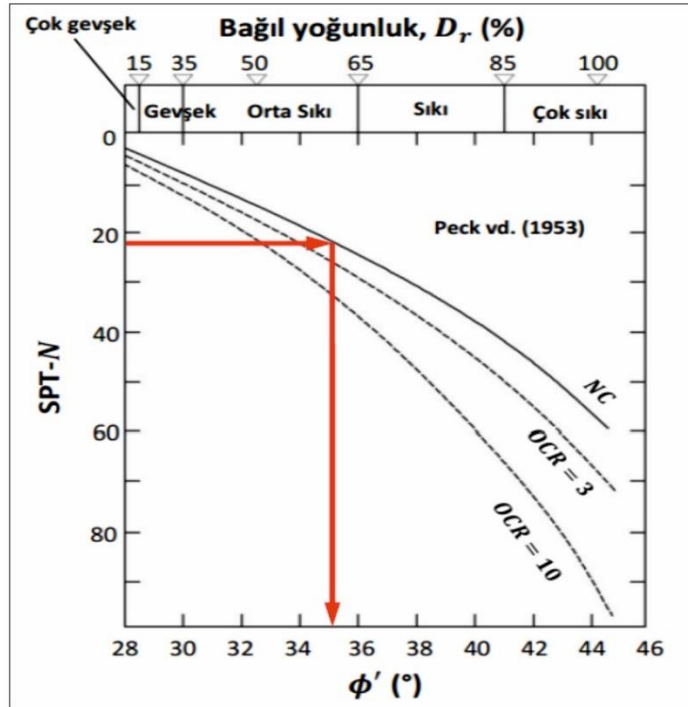
SPT (N)	$11 \leq \text{SPT (N)} \leq R$
Su içeriği (Wn)	$\% 1.3 \leq Wn \leq \% 21.1$
Likit limit (LL)	$NP \leq LL \leq \% 48.0$
Plastisite İndeksi (PI)	$NP \leq PI \leq 30.0$
4 nolu elek üstünde kalan (+4)	$\% 5.1 \leq +4 \leq \% 97.5$
200 nolu elekten geçen (-200)	$\% 0.3 \leq -200 \leq \% 61.4$
Zemin sınıfı (USCS)	CL, GC, GM, GW, GP, GP-GM, SC

Yamaç molozu (Qym) biriminin SPT(N) değeri 22 (düşük değerlerin ortalaması) olarak alınmış ve orta sıkı-sıkı granüler birim olarak belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak birim hacim ağırlık (γ): 20 kN/m^3 (Çizelge 4.17); içsel sürtünme açısı (ϕ°): 35° (Şekil 4.21); birimin içerdiği ince malzeme yüzdesi dikkate alınarak efektif

kohezyon değeri (c'): 5 kPa ve doymun birim hacim ağırlık (γ') 21 kN/m³ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.17. Zeminlerin sıklığı / katılığı ile doğal birim hacim ağırlık arasındaki ilişki (Carter ve Bentley 1991)

Zemin Tipi		Doğal yoğunluk (kg/m ³)	
		Yığın Yoğunluk	Kuru yoğunluk
Kumlar ve çakıllar	Çok gevşek	1700 – 1800	1300 – 1400
	Gevşek	1800 – 1900	1400 – 1500
	Orta sıkı	1900 - 2100	1500 – 1800
	Sıkı	2000 – 2200	1700 – 2000
	Çok sıkı	2200 – 2300	2000 – 2200
Kötü derecelenmiş kumlar		1700 – 1900	1300 – 1500
İyi derecelenmiş kumlar		1800 – 2300	1400 – 2200
İyi derecelenmiş kumlu çakıllı zemin		1900 – 2300	1500 – 2200
Konsolide olmamış çamur		1600 – 1700	900 – 1100
Killler	Yumuşak, açıklıklı yapılı	1700 – 1900	1100 – 1400
	Normal konsolide tipik killler	1800 – 2200	1300 – 1900
	Aşırı konsolide killler	2000 – 2400	1700 – 2200
	Kırmızı tropik zemin	1700 – 2100	1300 - 1800



Şekil 4.21. Granüler zeminlerde SPT (N) - ϕ' - OCR ilişkisi (Peck vd. 1974)

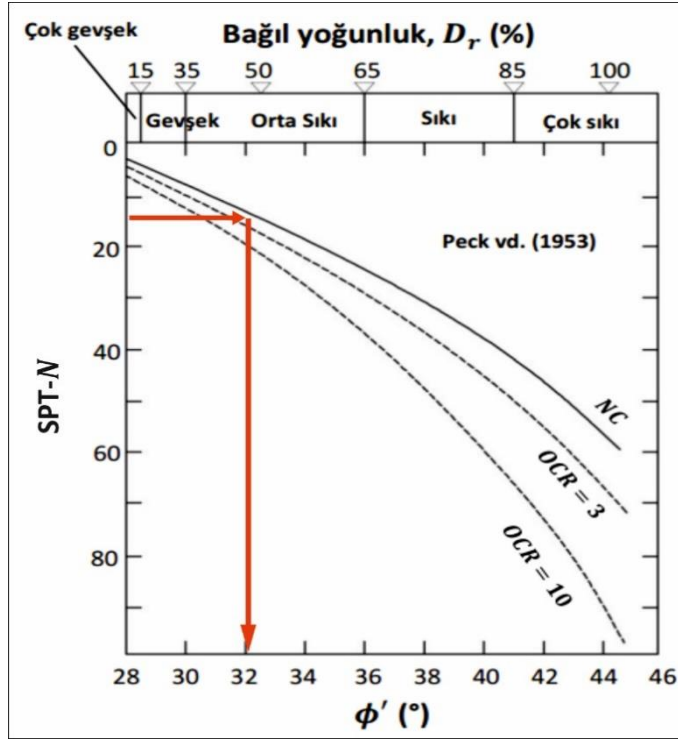
4.4.5. Yapay dolgu (Yd)

Proje alanında gerçekleştirilen sondaj çalışmaları sonuçlarına göre, yapay dolgu (Yd); killi kumlu çakıl niteliğinde olup, kullanılacak parametreler aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Yapay dolgu (Yd) için SPT (N) değeri 14 (düşük değerlerin ortalaması) olarak alınmış ve orta sıkı-sıkı granüler birim olarak belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak birim hacim ağırlık (γ): 19 kN/m³ (Çizelge 4.18); içsel sürtünme açısı (ϕ'): 32⁰ (Şekil 4.22); birimin içerdiği ince malzeme yüzdesi dikkate alınarak efektif kohezyon değeri (c'): 5 kPa ve doygun birim hacim ağırlık (γ') 20 kN/m³ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.18. Zeminlerin sıklığı / katılığı ile doğal birim hacim ağırlık arasındaki ilişki (Carter ve Bentley 1991)

Zemin Tipi		Doğal yoğunluk (kg/m ³)	
		Yığın Yoğunluk	Kuru yoğunluk
Kumlar ve çakıllar	Çok gevşek	1700 – 1800	1300 – 1400
	Gevşek	1800 – 1900	1400 – 1500
	Orta sıkı	1900 - 2100	1500 – 1800
	Sıkı	2000 – 2200	1700 – 2000
	Çok sıkı	2200 – 2300	2000 – 2200
Kötü derecelenmiş kumlar		1700 – 1900	1300 – 1500
İyi derecelenmiş kumlar		1800 – 2300	1400 – 2200
İyi derecelenmiş kumlu çakıllı zemin		1900 – 2300	1500 – 2200
Konsolide olmamış çamur		1600 – 1700	900 – 1100
Killer	Yumuşak, açıklıklı yapılı	1700 – 1900	1100 – 1400
	Normal konsolide tipik killer	1800 – 2200	1300 – 1900
	Aşırı konsolide killer	2000 – 2400	1700 – 2200
	Kırmızı tropik zemin	1700 – 2100	1300 - 1800



Şekil 4.22. Granüler zeminlerde SPT (N) - ϕ' - OCR ilişkisi (Peck vd. 1974)

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları ile literatürde kabul görmüş bağıntılar kullanılarak elde edilen birimlere ait jeoteknik parametreler Çizelge 4.19'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.19. Heyelan analizinde kullanılan birimlere ait jeoteknik parametreler

Birim	Birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Kohezyon (kPa)	İçsel sürtünme açısı (°)	Doygun birim hacim ağırlık (kN/m ³)
TRaç-W5	23	26	17,12	24
TRaç	24	79	26,56	25
Kkm-W5	20	19	25,44	22
Kkm	22	48	26,66	23
JKt	24	3129	52,25	25
Qym	20	5	35	21

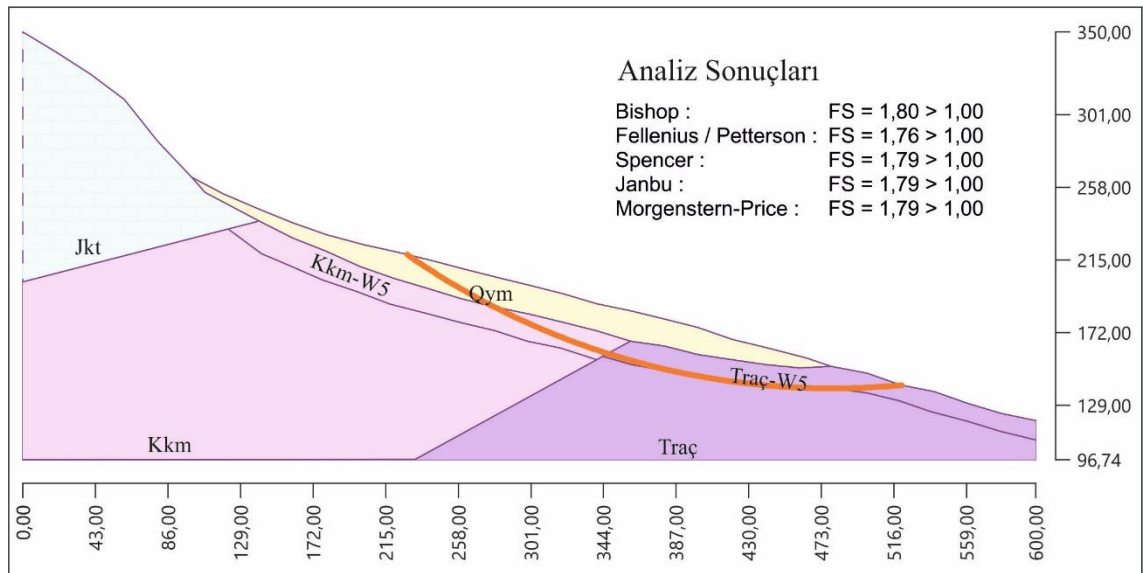
4.5. Km:74+410-74+700 Arası Heyelan Analizi

Stabilite analiz çalışmaları, heyelan alanında bulunan ve farklı mühendislik parametrelerine sahip; yamaç molozu (Qym), Tekedağı formasyonu (JKt), Kırkdirek formasyonunun ayrılmış (Kkm-W5) ve ayrılmamış seviyeleri (Kkm), Çandır formasyonunun ayrılmış (TRaç-W5) ve ayrılmamış seviyeleri (TRaç) üzerinde yapılmıştır. Yapılan analizlerle heyelan öncesi şev kuru durumu, yeraltı su seviyesi değişim durumu ve dolgu eklenmesi durumu hem statik hem de dinamik koşullar altında incelenmiştir. Dinamik durumda şev stabilite analizleri yapılırken, yatay deprem katsayısı (k_h), 0,10 ($k_h = 0,5 \cdot a_{max}/g$) (Kramer 2003); dikey deprem katsayısı (k_v) 0,05 olarak alınmıştır.

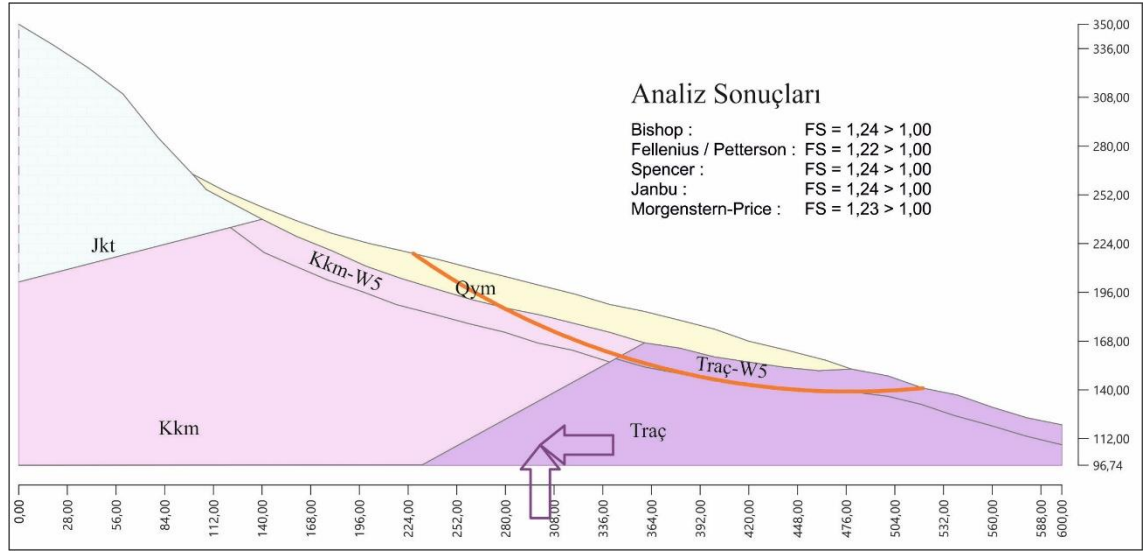
Bu tez kapsamında GEO5 (2019)/Slope Stability analiz programı kullanılmıştır. Programda yapılacak analizler için kayma yüzeyi dairesel kabul edilmiş ve birden fazla birim olması nedeniyle Janbu yöntemi tercih edilerek, en kritik kayma yüzeyleri ve bu yüzeylere ait emniyet katsayıları bulunmuştur. Ayrıca programda yer alan diğer dilim yöntemleri (Bishop, Fellenius/Peterson, Spencer, Morgenstern-Price yöntemleri) ile de analizler gerçekleştirilerek bulunan emniyet katsayıları karşılaştırılmıştır.

Senaryo 1

Şevi oluşturan birimlerin kuru olması (yeraltı su seviyesinin olmaması), hem statik (yatay/düsey yönde birimlere etkiyen bir deprem kuvvetinin bulunmaması) hem de dinamik (yatay/düsey yönde birimlere etkiyen bir deprem kuvvetinin bulunması) durumunda analiz edilmiştir. Statik durumun analiz sonuçları Şekil 4.23'te, dinamik durumun analiz sonuçları ise Şekil 4.24'te verilmiştir.



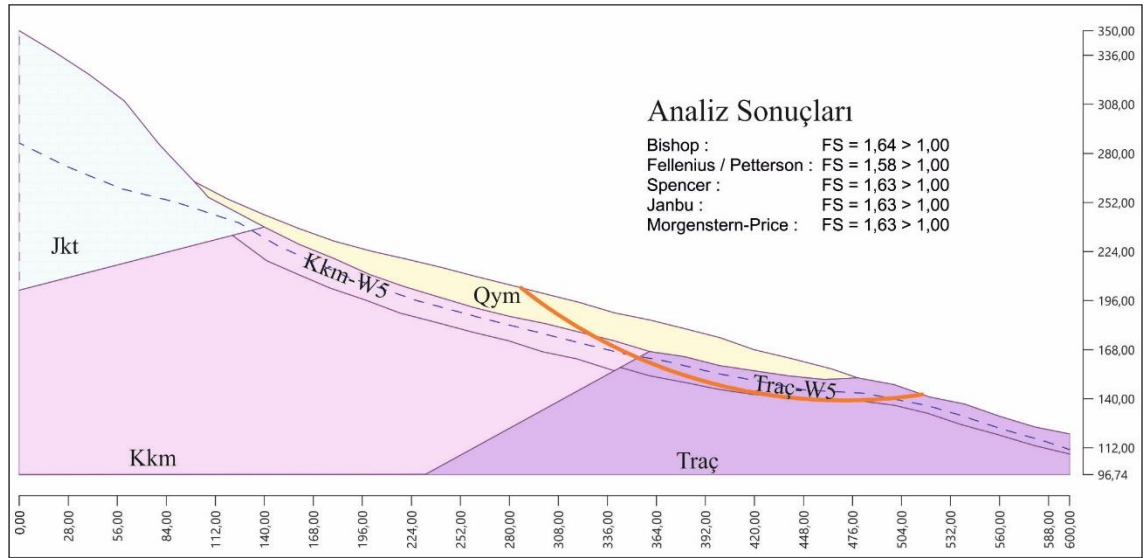
Şekil 4.23. Senaryo 1: Kuru-statik durum analiz sonuçları



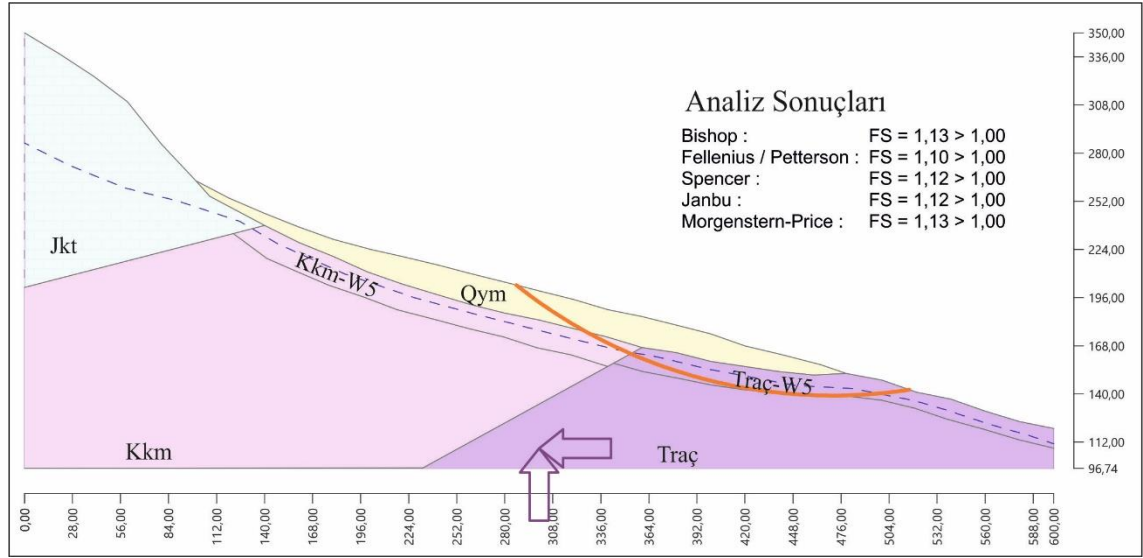
Şekil 4.24. Senaryo 1: Kuru-dinamik durum analiz sonuçları

Senaryo 2

Yeraltı su seviyesinin Kırkdirek ve Çandır formasyonunun ayrılmış seviyeleri (Kkm-W5 ve Traç-W5) içerisinde yüzeyden yaklaşık 25 metre derinlikte olduğu durum dikkate alınarak, statik ve dinamik koşul altında analizi yapılmıştır. Bu senaryonun statik durum analiz sonuçları Şekil 4.25'te, dinamik durumun analiz sonuçları Şekil 4.26'da verilmiştir.



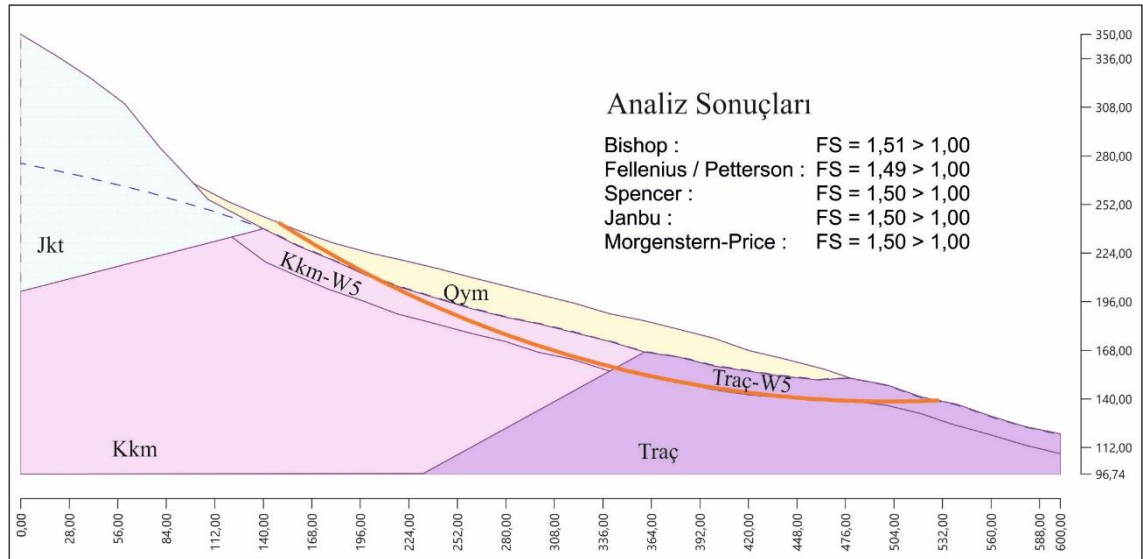
Şekil 4.25. Senaryo 2: Yeraltı su seviyesi 25 metrede-statik durum analiz sonuçları



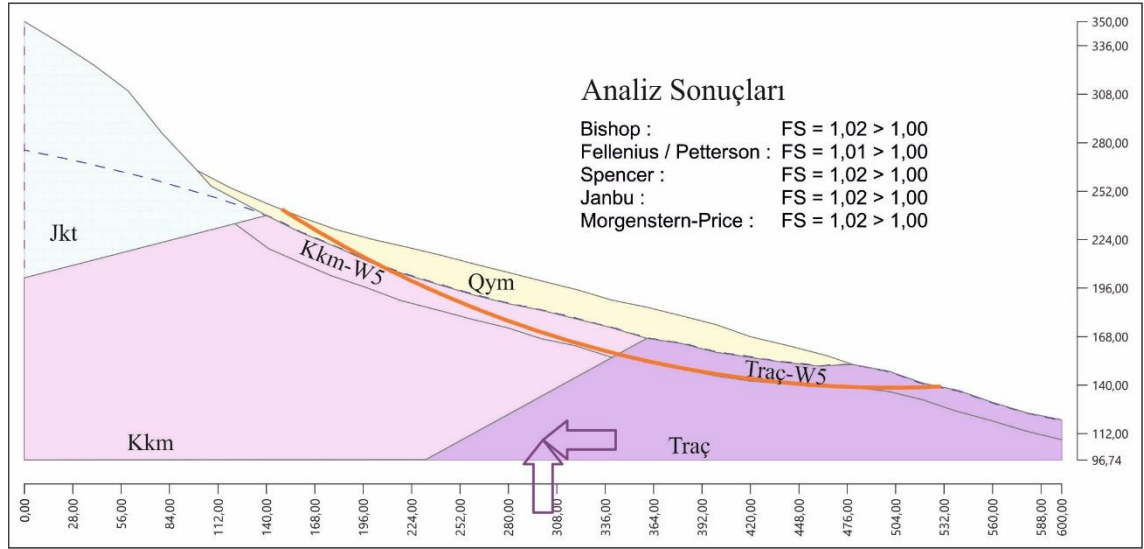
Şekil 4.26. Senaryo 2: Yeraltı su seviyesi 25 metrede-dinamik durum analiz sonuçları

Senaryo 3

Yeraltı su seviyesinin yamaç molozu ile altında bulunan formasyonlar arasındaki dokanakta olduğu durum ile birlikte suyun topukta yamaç molozundan yüzeysel olarak çıkma durumunun statik ve dinamik koşul altında analizi yapılmıştır. Statik durum analiz sonuçları Şekil 4.27’de, dinamik durumun analiz sonuçları Şekil 4.28’de verilmiştir.



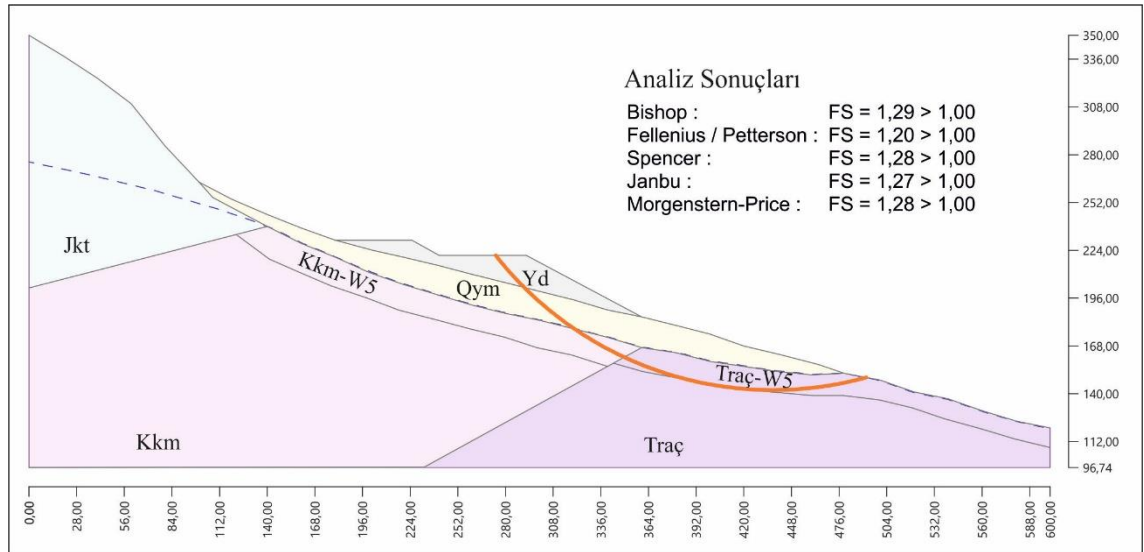
Şekil 4.27. Senaryo 3: Yeraltı su seviyesi dokanakta-statik durum analiz sonuçları



Şekil 4.28. Senaryo 3: Yeraltı su seviyesi dokanakta-dinamik durum analiz sonuçları

Senaryo 4

Yeraltı su seviyesinin yamaç molozu ile altında bulunan formasyonlar arasındaki dokanakta olduğu durum ile birlikte suyun topukta yamaç molozundan yüzeysel olarak çıkma durumuna (senaryo 3), bu senaryoda şev üzerine inşa edilen dolgu konulmuştur. Bu senaryonun statik durumu analiz sonuçları Şekil 4.29'da verilmiştir.

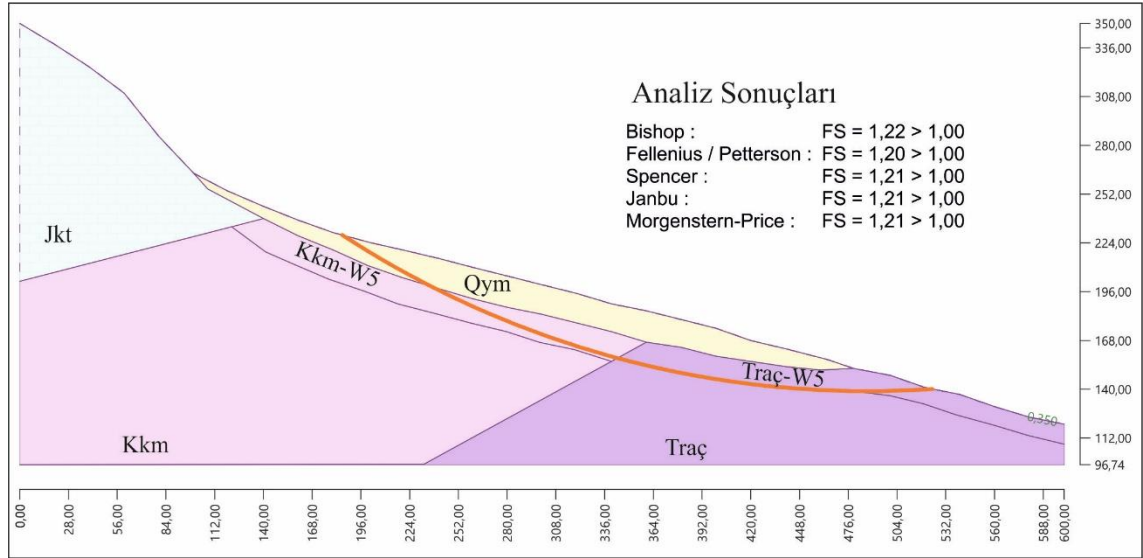


Şekil 4.29. Senaryo 4: Yeraltı su seviyesi dokanakta-dolgulu-statik durum analiz sonuçları

Senaryo 5

Bölgenin fazla yağış aldığı aylarda (Şubat-Mart-Nisan) yamaç molozu ve Çandır formasyonunun yeraltı suyuna doymun olduğu arazi çalışmalarıyla gözlenmiştir. Bu nedenle boşluk suyu basınç katsayısı (ru) hesaba katılmıştır. Boşluk suyu basınç

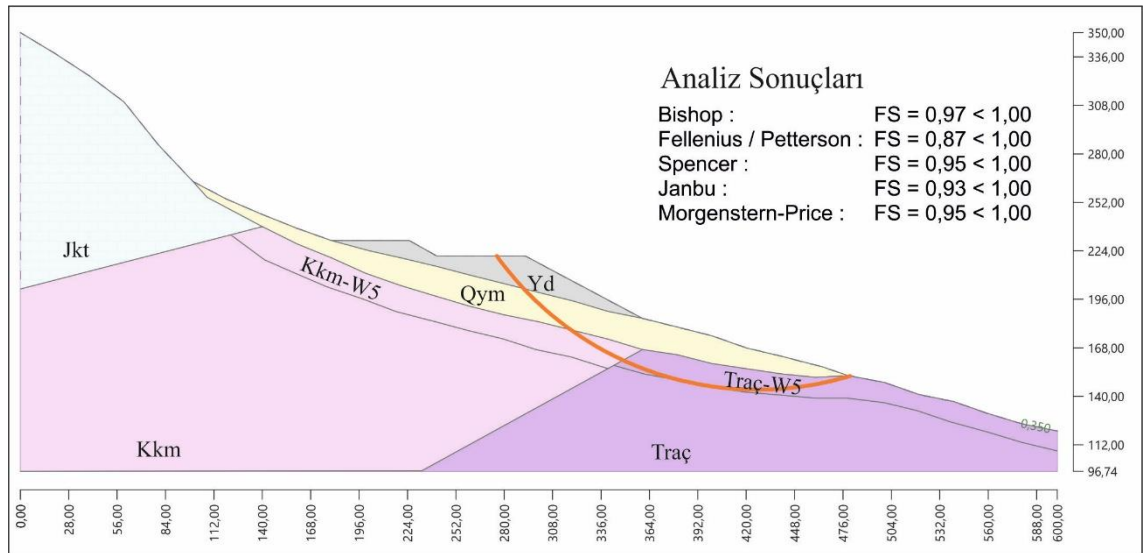
katsayısı (r_u) değerinin elde edilen deneyimler sonucunda 0,3-0,45 arasında yer aldığı ve genellikle 0,35 olduğu belirlenmiştir (Frenlund 1986 ve Sarsby 2000). Bu senaryonun statik durum analiz sonuçları Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Senaryo 5: Yeraltı su seviyesi yüzeyde-statik durum analiz sonuçları

Senaryo 6

Senaryo 5'te bahsedildiği gibi heyelanlı bölgedeki birimlerin yeraltı suyuna doymun olduğu duruma bölgede yapılan dolgu çalışması eklenerek statik durum analizi yapılmıştır. Bu senaryonun statik durum analiz sonuçları Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. Senaryo 6: Yeraltı su seviyesi yüzeyde-dolguolu-statik durum analiz sonuçları

5. TARTIŞMA

Bu bölümde Kemer-Kumluca D-400 Karayolu Km: 74+410 – 74+700 arasında meydana gelen heyelanın araştırılması için bölgede yapılan arazi incelemelerine bağlı olarak türetilen senaryoların analiz sonuçları irdelenmiştir.

5.1. Senaryo 1 için Değerlendirme

Şevde yeraltı suyu olmadığı koşulda hem statik hem de dinamik durumda elde edilen emniyet katsayıları Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Senaryo 1 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları

Analiz Yöntemi	Statik Durum	Dinamik Durum
Bishop Yöntemi	1,80	1,24
Fellenius/Petterson Yöntemi	1,76	1,22
Spencer Yöntemi	1,79	1,24
Janbu Yöntemi	1,79	1,24
Morgenstern-Price yöntemi	1,79	1,23

Bu senaryo için statik ve dinamik durumlarda elde edilen emniyet katsayılarının 1,0’in üzerinde olduğu görülmüş ve şevnin duraylı olduğu belirlenmiştir.

5.2. Senaryo 2 için Değerlendirme

Şevde yeraltı su seviyesinin yüzeyden yaklaşık 25 metre derinlikte olduğu koşulda, statik ve dinamik durumda elde edilen emniyet katsayıları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Senaryo 2 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları

Analiz Yöntemi	Statik Durum	Dinamik Durum
Bishop Yöntemi	1,64	1,13
Fellenius/Petterson Yöntemi	1,58	1,10
Spencer Yöntemi	1,58	1,12
Janbu Yöntemi	1,63	1,12
Morgenstern-Price yöntemi	1,63	1,12

Bu senaryonun statik ve dinamik durumlarda elde edilen emniyet katsayılarının 1,0'in üzerinde olduğu görülmüş ve şevin duraylı olduğu belirlenmiştir.

5.3. Senaryo 3 için Değerlendirme

Yeraltı su seviyesinin yamaç molozu ile altında bulunan formasyonlar arasındaki dokanakta olduğu durum ile birlikte suyun topukta yamaç molozundan yüzeysel olarak çıkma durumunun statik ve dinamik durum emniyet katsayıları Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Senaryo 3 için statik ve dinamik durum emniyet katsayıları

Analiz Yöntemi	Statik Durum	Dinamik Durum
Bishop Yöntemi	1,51	1,02
Fellenius/Petterson Yöntemi	1,49	1,01
Spencer Yöntemi	1,50	1,02
Janbu Yöntemi	1,50	1,02
Morgenstern-Price yöntemi	1,50	1,02

Bu senaryoda statik durum için elde edilen emniyet katsayılarının 1,0'in üzerinde olduğu, dinamik durum için ise elde edilen emniyet katsayılarının tam denge sınırında ($F=1.0$) olduğu görülmüş ve şevin hala duraylı olduğu belirlenmiştir.

5.4. Senaryo 4 için Değerlendirme

Bu senaryoda; Senaryo 3'e ek olarak, şev üzerinde yol geçişi için uygulanan dolgu çalışması değerlendirilmiştir.

Statik durum

Bu senaryonun statik durumu için emniyet katsayısı, Janbu yöntemi ile 1,27 olarak bulunmuştur. Diğer analiz yöntemleri ile elde edilen emniyet katsayıları ise Bishop ile 1,29, Fellenius/Petterson ile 1,20, Spencer ile 1,28 ve Morgenstern-Price ile 1,28 olarak elde edilmiştir.

Bu senaryoda statik durum için elde edilen emniyet katsayılarının 1,0'in üzerinde olduğu ve şevin duraylı olduğu belirlenmiştir.

5.5. Senaryo 5 için Değerlendirme

Senaryo 5'te bölgenin fazla yağış aldığı dönem göz önünde tutularak, boşluk suyu basınç katsayısı (r_u) değeri 0,35 alınmıştır. Senaryo 5'in değerlendirilmesi şu şekildedir:

Statik durum

Bu senaryonun statik durumu için emniyet katsayısı, Janbu yöntemi ile 1,21 olarak bulunmuştur. Diğer analiz yöntemleri ile elde edilen emniyet katsayıları ise Bishop ile 1,22, Fellenius/Petterson ile 1,20, Spencer ile 1,21 ve Morgenstern-Price ile 1,21 olarak elde edilmiştir.

Bu senaryoda belirtildiği gibi; bölgenin fazla yağış aldığı aylarda, formasyonların yeraltı suyuna doymun oldukları durum için elde edilen emniyet katsayılarının 1,0'ın üzerinde olduğu görülmüştür.

5.6. Senaryo 6 için Değerlendirme

Bu senaryoda; bölgenin fazla yağış aldığı döneme (Senaryo 5) ek olarak, şev üzerinde yol geçişi için uygulanan dolgu çalışması değerlendirilmiştir.

Statik durum

Bu senaryonun statik durumu için emniyet katsayısı, Janbu yöntemi ile 0,93 olarak bulunmuştur. Diğer analiz yöntemleri ile elde edilen emniyet katsayıları ise Bishop ile 0,97, Fellenius/Petterson ile 0,87, Spencer ile 0,95 ve Morgenstern-Price ile 0,95 olarak elde edilmiştir.

Bu senaryoda; bölgenin fazla yağış aldığı aylarda, formasyonların yeraltı suyuna doymun oldukları duruma, yol geçişi için yapılan dolgu çalışması da eklenerek analiz yapılmıştır. Fakat bu durum için yapılan analizlerin sonucunda elde edilen emniyet katsayılarının 1,0'ın altına düştüğü ve şevin duraylılığını kaybettiği belirlenmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması; 26 Şubat 2018 tarihinde Kemer-Kumluca D-400 karayolu üzerinde Km:74+410-74+700 arasında meydana gelen heyelanın oluşum nedeninin, yeraltı su seviyesi değişimleri altında statik ve dinamik durum analizleriyle şevin davranışının, analiz sonuçlarına göre en uygun iyileştirme yönteminin ve heyelan bölgesinde bulunan zemin ve kayaçların jeoteknik özelliklerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Tez çalışması sonucunda ortaya çıkan bulgular ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

1. Çalışma alanında Üst Triyas yaşlı silttaşı, kiltası ve kumtaşından oluşan Çandır formasyonu (TRaç); Üst Kretase yaşlı neritik kireçtaşından oluşan Tekedağı formasyonu (JKt); Kretase yaşlı ofiyolitik melanj birimlerinden oluşan Kırdirek formasyonu ve Kuvaterner yaşlı yamaç molozu gözlenmiştir.
2. Birimlerin hidrojeolojik özellikleri bakımından geçirimsizliği (K, m/s), Çandır formasyonunun kiltası/silttaşı seviyeleri için yaklaşık 10^{-8} , kumtaşı seviyeleri için yaklaşık $10^{-5} - 10^{-7}$; Kırdirek formasyonunun kiltası/silttaşı seviyeleri için yaklaşık 10^{-8} , serpantin nit seviyeleri için yaklaşık $10^{-8} - 10^{-9}$; kireçtaşlarından oluşan Tekedağı formasyonu için yaklaşık $10^{-3} - 10^{-5}$ arasında olduğu belirlenmiştir.
3. Bölgede meydana gelen heyelanın araştırılması amacıyla KGM 13. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ tarafından derinlikleri 24-48 metre arasında değişen 32 adet sondaj çalışması yaptırılmıştır. Sondaj çalışmaları ve heyelan bölgesinde yapılan arazi çalışmalarından elde ettiğimiz veriler sonucunda bölgede bulunan birimlerin mühendislik ve jeoteknik özellikleri belirlenmiştir. Birimlerin sırasıyla birim hacim ağırlık (γ , kN/m³), içsel sürtünme açısı (ϕ , °), kohezyon (c, kPa) ve doygun birim hacim ağırlık (γ' , kN/m³) değerleri Tekedağı formasyonu için (JKt) için 24 kN/m³, 52,25°, 3129 kPa, 25 kN/m³; Kırdirek formasyonunun ayrılmış seviyeleri (Kkm-W5) için 20 kN/m³, 25,44°, 19 kPa, 22 kN/m³; Kırdirek formasyonu (Kkm) için 22 kN/m³, 26,66°, 48 kPa, 23 kN/m³; Çandır formasyonunun ayrılmış seviyeleri (TRaç-W5) için 23 kN/m³, 17,12°, 26 kPa, 24 kN/m³; Çandır formasyonu (TRaç) için 24 kN/m³, 26,56°, 79 kPa, 25 kN/m³ ve yamaç molozu (Qym) için 20 kN/m³, 35°, 5 kPa, 21 kN/m³ olarak bulunmuştur.
4. Senaryo 1'de öncelikle şevi oluşturan birimlerin kuru olduğu yani yeraltı suyunun bulunmadığı kabul edilmiştir. Bu durumda yapılan statik ve dinamik koşullardaki analizlerde şevin duraylı olduğu görülmüştür.
5. Senaryo 2'de yeraltı su seviyesinin yüzeyden yaklaşık 25 metre derinlikte olduğu koşulda, yine hem statik hem dinamik durum analizleri yapılmış ve şev yine duraylı halde kalmıştır.
6. Senaryo 3'de ise; su çıkışının yamaç molozu ile altında bulunan diğer litolojiler arasındaki dokanak kaynağı şeklinde olduğu kurgulanmıştır. Bu durumda da statik koşullarda şevin duraylı olduğu; dinamik durum analizinde ise şevin tam denge koşulunu ($F=1.0$) sağladığı görülmüştür.
7. Senaryo 3'deki koşullara, şev üzerinde yol geçişi için uygulanan dolgu çalışması eklenerek, Senaryo 4 oluşturulmuştur. Bu koşullarda ve statik durum analizinde de şev duraylıdır.
8. Bölgenin fazla yağış aldığı dönem göz önünde tutularak oluşturulan ve yeraltı suyunun en üst düzeyde yani şev yüzeyinde olduğu Senaryo 5'de statik durum

analizinde şev yine duraylılığını korumuştur.

9. Bölgenin fazla yağış aldığı döneme, (Senaryo 5) şev üzerinde yol geçişi için uygulanan dolgu çalışması eklenerek elde edilen Senaryo 6'nın statik durum analizi yapılmıştır. Diğer senaryoların aksine, bu senaryoda şevin duraylı olmadığı görülmüştür.
10. Çalışma alanı ve çevresinde, yakın tarihlerde kayıt altına alınmış herhangi bir sismik yer hareketi olmadığı göz önüne alındığında, heyelanın oluşmasında dinamik durumun etkili olmadığı belirlenmiştir.
11. Olası farklı koşulların dikkate alınarak kurgulanan senaryolar sonucunda; karayolu dolgusu öncesi, bölgede fazla yağışların etkili olduğu dönemde şev duraylıyken; şev üzerinde dolgu çalışması yapıldıktan sonra yeraltı suyunun eskisi gibi drene olamadığı ve artan hidrostatik basınç nedeniyle hareketin oluştuğu sonucuna ulaşılmıştır.
12. Bu durumda; benzer ulaşım projeleri öncesinde yeterli jeolojik ve jeoteknik etüd yapıp, uygun nitelikte ve ölçekte drenaj sistemlerinin yerleştirilmesi en uygun çözüm önerisi olacaktır. Çünkü "önlem, iyileştirme yapmaktan çok daha mühendisçe ve daha profesyonel bir yaklaşımdır".
13. Söz konusu heyelanın iyileştirme çalışmaları ilgili kurum ve kurumlarca devam etmektedir. Her ne kadar bu tez kapsamında iyileştirme için herhangi bir analiz, teknik gerekçelerle yapılamadıysa da, gözleme dayalı incelemelerde kazıklı bir destek ve iyi bir drenaj sistemi ile hareketlerin kontrol altına alınabileceği öngörülmektedir.
14. Heyelan bölgesini kapsamayan yeni bir karayolu güzergahı belirlemek olası çözümler arasında önerilebilir.

7. KAYNAKLAR

- Aksoy, R. ve Aksarı, S. 2008. Elmalı (Antalya, Batı Toroslar) kuzeyinde likya naplarının jeolojisi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 23(2): 45-58.
- Akçakal, Ö. 2009. Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve bir vaka analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 245 s.
- Alacantara and Ayala, İ. 2002. Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries. *Geomorphology*, 47, 107-124.
- Akçelik, N., Etkesen, Z. and Aksoy, S. 1998. The effects of landslides on roads and remedial measures in Turkey. Natural Disaster Reduction For Roads In Mediterranean Countries-International Seminar. Yollar Türk Milli Komitesi, İstanbul.
- AFAD 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı.
- AFAD. Deprem Kataloğu. <https://deprem.afad.gov.tr/depremkatalogu> [Son erişim tarihi: 21.05.2019]
- Anonim 1: Türkiye’de doğal afetler konulu ülke strateji raporu. Japon Uluslar Arası İşbirliği Ajansı ve TC. İçişleri Bakanlığı Raporu, 164 s., Ankara. http://www.spo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=379 [Son erişim tarihi: 21.05.2019]
- Bıçakçı, O. ve Özgür, Ö. 1995. Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki karayolu heyelanları ve önleme metotları. 3.Ulaştırma Kongresi, 393-406, İstanbul.
- Bağcı, U., Parlak, O., and Höck, V. 2006. Geochemical character and tectonic environment of ultramafic to mafic cumulate rocks from the Tekirova (Antalya) ophiolite (southern Turkey). *Geological Journal*, 41(2): 193-219.
- Baştuğ, G. 2018. Adrasan ve Olimpos (Antalya) Bölgelerinin heyelan duyarlılık haritasının hazırlanması. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 105 s.
- Barton, N., Lien, R., and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock mechanics*, 6(4): 189-236.
- Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering Rock Mass Classification. Mc. Graw Hill, New York, 237 p.
- Broms, B. B. 1975. Landslides, Foundation Engineering Handbook. Van Nostrand Reinhold Company, 1, 975.
- Bromhead, E. N. 1986. The Stability Of Slopes. Surrey University Press, London.
- Canik, B. 2006. Şev stabilitesinde kullanılan kazıkların deprem etkisi altındaki davranışları. Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 194 s.
- Can, Y. 2012. Taşlıtepe açık işletmesinde jeomekanik parametrelerin belirlenmesi ve şev stabilitesi çalışmaları. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 169 s.

- Carter, M. and Bentley, S. P. 1991. Correlations of Soil Properties. Pentech press publishers, London, 130 p.
- Coduto, D.P. 2006. Geoteknik Mühendisliği İlkeler ve Uygulamalar (çeviri: K. Kayabalı ve M. Mollamahmutoğlu). Gazi Kitabevi, Ankara, 759 s.
- Colin, J.H.1962. Fethiye-Antalya-Kaş-Finike (Güneybatı Türkiye) bölgesinde yapılan jeolojik etüdler. *MTA Dergisi*, 59: 19-59.
- Collin, A. 1846. Recherches experimentales sur les glissements spontanés des terrains Argileux, accompagnées de considerations sur quelques principes de la mécanique terrestre, Carilian-Goery and Dalmont. Paris (in French).
- Çelik, Ö.F. 2009. Alakırçay melanjı içinde yüzeylenen volkanik kayaların petrografik ve jeokimyasal özellikleri (GB Türkiye). *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 8 (1): 49-60.
- Demiryürek, Ü.A. 2002. Şev kayma potansiyelinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 111 s.
- Duncan, J.M. ve Wright, S.G. 2005. Zemin Şevlerinin Duraylılığı (çeviri: K. Kayabalı ve M. Mollamahmutoğlu). Gazi Yayınları, Ankara, 303 s.
- Deere, D. U. And Miller, R. P. 1966. Engineering classification and index properties for intact rock. Illinois Univ At Urbana Dept Of Civil Engineering.
- Ersoy, Ş. 1990. Batı Toros (Likya) naplarının yapısal öğelerinin ve evriminin analizi. *Jeoloji Mühendisliği*, 37(5-16).
- Fredlund, D.G. 1986. Slope stability analysis incorporating the effect of soil suction. Slope Stability. John Wiley and Sons Ltd., pp.105-136.
- Geo (2019). Geotechnical Software Geo5 for Windows, Spring Update Version, Czech Republic
- Gökcan, S. 2014. Şev stabilitesi analizinde geri hesap yöntemi ve tekke heyelanının geri hesap yöntemiyle incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 142 s.
- Goodman, R. E. and Bray, J.W. 1976. Toppling of Rock Slopes. In Proceedings of the Specialty Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes, vol.2, 201-234.
- Hayward, A. B. 1982. Türkiye'nin güneybatısındaki Beydağları ve Susuz dağ masiflerinde Miyosen kırıntılı tortullarının stratigrafisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 25(2): 82-90.
- Hoek, E. and Bray, J. W. 1977. Rock Slope Engineering. The Institute of Mining and Metallurgy, Stephen Austin and Sons Ltd., 402 p.
- Ildır, B. 1995. Türkiye'de heyelanların dağılımı ve afetler yasası ile ilgili uygulamalar. İkinci Ulusal Heyelan Sempozyumu, 1-9, Adapazarı.
- Janbu, N. 1973. Slope stability computations. Publication of: Wiley (John) and Sons, Incorporated.
- Juteau, T. 1968. Kumluca (Güney Türkiye, Likya Torosları) bölgesinin ofiyolitlerine ait jeolojik haritanın açıklanması. *MTA Dergisi*, 70:83-103.

- Juteau, T. 1975. Les ophiolites des nappes Antalya (Taurides occidentalis, Turquie). These Sc., Nancy Men. 32, 692 p.
- Juteau, T. 1969 and Şenel, M. 1978. 1/25 000 Ölçekli sayısal jeoloji haritaları, Antalya P24-b2 paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Kara, H. B., Elcuman, H., Haktanır, T. ve Özel, Ö. 2005. Antalya ve çevresinin depremselliğinin istatistiksel olarak incelenmesi.
- Kramer, S.L. 2003. Geoteknik Deprem Mühendisliği (çeviri: K. Kayabalı), Gazi Yayınları, Ankara, 708 s.
- Kara, H.B. 2010. Zemin Mekaniği II Ders Notları. Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı, Kayseri.
- Kalafatçıoğlu, A. 1973. Antalya Körfezi batı kısmının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 81: 82-131.
- Keskin, M.Ö. 2008. Çukurova yöresi kuvarsit işletmelerinde bilgisayar destekli şev dizaynı ve şev stabilite analizleri. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 256 s.
- Krahn, J. 2004. Stability modeling with Slope/W. An Engineering Methodology. First Edition, Revision, 1, 396.
- Keleşoğlu, K. 2016. Şevlerin stabilitesi. <https://docplayer.biz.tr/38021985-Sevlerin-stabilitesi.html> [Son erişim tarihi: 21.05.2019]
- Leventeli, Y. 2010. Hydrogeological future of Tahtalı Mountain (Antalya, Turkey). BIBAD, *Biyoloji Bilimleri Arastırma Dergisi*, 3 (1): 147-152.
- Lefevre, R. 1967. Nouvel element de la geologie du Taurus Lyccien Les nappes d'Antalya (Turquie). GR.A.S. 263, 1365-1368.
- Morgenstern, N. R. and Price, V. E. 1965. The analysis of the stability of general slip surfaces. Geotechnique, Nonlinear Failure Criteion International Journal, 15(1): 79-93.
- Özgül, N. 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. Bulletin of the Geological Society of Turkey, 19: 65-78.
- Özsoy, C. 1998. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde şev stabilitesi ve uygulama yöntemleri. Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 92 s.
- Öz, E. 2007. Şev stabilitesi ve mühendislik uygulamaları. Yüksek lisans tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 171 s.
- Önalp, A. ve Arel, E. 2004. Geoteknik Bilgisi II Yamaç ve Şevlerin Mühendisliği. Birsen Yayınevi, İstanbul, 414 s.
- Özmen, B., Nurlu, M., Kuterdem, K. ve Temiz, A. 2005. Afet yönetimi ve afet işleri genel müdürlüğü. Deprem Sempozyumu, 23-25.
- Peck, R. B., Hanson, W. E. and Thornburn, T. H. 1974. Foundation Engineering. John Wiley and Sons. Ins., 410 p.

- Robertson, A. H. F. and Woodcock, N. H. 1980. Strike-slip related sedimentation in the Antalya Complex, SW Turkey. *Spec. Publ. Ins. Ass. Sediment.* 4:127-145.
- Robertson, A. H. F. and Woodcock, N. H. 1981 a. Alakırçay group, Antalya complex, SW Turkey. a deformed Mesozoic carbonate margin. *Sedimentary Geology*, 30: 95-131.
- Robertson, A. H. F. and Woodcock, N. H. 1981 b. Gödere zonu, Antalya complex: Volcanism and sedimentation of Mesozoic marginal ocean crust. *Geol. Rdsch.* 70, 1177-1214.
- Robertson, A. H. F. and Woodcock, N. H. 1982. Sedimentary history of the southwestern segment of the Mesozoic-Tertiary Antalya continental margin, southwestern Turkey. *Ecolgae Geol. Helv.* 75: 517-562.
- Sarsby, R.W. 2000. *Environmental Geotechnics*. Thomas Telford Publishing, London, 600 p.
- Sassa, K., Fukuoka, H., Wang, F.W. and Wang, G. 2005. *Landslides, Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*, Springer.
- Serafim, J.L. and Pereira, J.P. 1983. Considerations of the Geomechanics Classification of Bieniawski. *Proc. Int. Symp. Eng. Geol. Underground Construction, LNEC, Lisbon, V.1, II.33-II.42.*
- Spratt, T. A. B. and Forbes, E. 1847. *Travels in Lycia, Milyas, and the Cibyratis: In Company with the Late Rev. ET Daniell (Vol. 1)*. J. Van Voorst.
- Sönmez, H. and Ulusay, R. 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Yerbilimleri*, 26(1):77-99.
- Şenel, M. 1980. Finike-Kumluca-Kemer (Teke Toroslari) dolayinin jeolojisi, Antalya. MTA Raporu, No:6874, 114s. (yayinlanmamış), Ankara.
- Şenel, M. 1984. Discussion on the Antalya nappes. *Geology of Taurus belt, Int. Sym.* 26-29 Sept. 1983, Ankara, 41-52.
- Şenel, M. 1986 a. Alakırçay grubu, Kumluca zonunun litostratigrafi özellikleri ve yaşı: Güneybatı Antalya/Türkiye. *MTA Dergisi*, 103/104: 151-153.
- Şenel, M. 1986 b. Tahtalıdağ (Antalya) ve dolayinin jeolojisi. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 232 s.
- Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M. ve Gözle, M. Z. 1981. Teke Toroslari güneydoğusunun jeolojisi. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 95: 95-96.
- Şenel, M. 1985. Alakırçay grubu, Kumluca zonunun litostratigrafi özellikleri ve yaşı: Güneybatı Antalya-Türkiye. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 103 (103-104).
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, İ., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Korucu, M. ve Özgül, N. 1992. Eğirdir-Yenişar-Bademli-Gediz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi. TPAO Raporu No:3132, MTA Raporu No:9390 (yayinlanmamış), Ankara.

- Şenel, M., Gedik, İ., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A. Z., Uğuz, M. F., Bölükbaşı, A.S., Korucu, M. ve Özgül, N. 1996. Isparta büklümü doğusunda, otokton ve allakton birimlerin stratigrafisi (Batı Toroslar). MTA Dergisi, 118, 111-160.
- Şenel, M. 1997. 1/100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:6 Antalya-M10-M11 Paftaları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara. 17 s.
- Spencer, E. 1967. A method of analysis of the stability of embankments assuming parallel inter-slice forces. *Geotechnique*, 17(1): 11-26.
- Taşkıran, T., Yavuz, V. S. ve Keskin, M. S. 2015. Şev stabilitesinin iki ve üç boyutlu modeller ile incelenmesi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 6(1): 1-8.
- Tekin, A. 2011. Sonlu elemanlar ve limit denge yöntemleri ile şev stabilitesi analizi. Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 154 s.
- Tokgözoğlu, K. 2014. Anamur-Kaledran Devlet Karayolu işaatında açılan derin yarmaların şev stabilitesi açısından değerlendirilmesi. Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 132s.
- Tolun, N.1965. 1/25.000 ölçekli Antalya P24 a2 ve a3 paftalarının jeolojik incelenmesi. MTA Raporu, No:3627, 47s. (yayınlanmamış), Ankara.
- Tietze, E. 1885. Beiträge zur Geologie von Lykien. Alfred Hölder.
- TS 8853, 1991. Yamaç ve şevlerin dengesi ve hesap metodları. Türk Standartları Enstitüsü, 36 s.
- Ulusay R. 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Türkiye Mimarlar Mühendisler Odası Başkanlığı Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 385 s.
- Ulusay R. 2010. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. Türkiye Mimarlar Mühendisler Odası Başkanlığı Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 458 s.
- Ulusay, R. 2007. Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: Türleri etkileri ve zararların azaltılması. Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu, Samsun, 157-185.
- Uçar, F., Aktürk, Ö., and Azak, T. E. 2016. Estimation of the seismic hazard parameters of the city of Antalya, Southwest Turkey. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM: Surveying Geology & mining Ecology Management, 3, 483-490.
- Uysal, S., Dumont, J.F. ve Poisson, A. 1980. Batı Toros platformları. MTA Raporu, No: 6861, 227s. (yayınlanmamış), Ankara.
- Ünsal, N. 2005. İnşaat mühendisleri için jeoloji. Alp Yayınevi, Ankara, 376 s.
- 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. J. 1978. Slope movement types and processes. Special report, 176, 11-33.
- Yalçınkaya, S., Engin, A., Taner, K., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H. ve Özgönül, E. 1986. Batı Torosların jeolojisi. MTA Raporu, No:7898 (yayınlanmamış), Ankara.

- Yardımcı, E. 2018. Ağrı-Kağızman yolu boyunca meydana gelen heyelanların anatomisi ve uygulanabilir çözüm önerileri. Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 211 s.
- Yalcin, M. G. and Unal, S. 2018. Natural radioactivity levels and associated radiation hazards in ophiolites around Tekirova, Kemer, and Kumluca Touristic Regions in Antalya, Turkey. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 316 (1): 321-330.
- Yamak, S. 2017. Karayolu şevlerinde boşluk suyu basınç değişikliklerinin şev stabilitesine etkisinin incelenmesi. Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 111 s.
- Yılmaz, İ., Yılmaz, Ö., ve Özkök, D. 1999. Jeoteknik Tasarıma Giriş. Bileşim Yayıncılık, Ankara, 210 s.
- Yılmaz, P.O. 1981. Geology of the Antalya Complex, SW Turkey. PhD Thesis, The University of Texas, Austin, 268 p.
- Yüksel Proje 2018. Km:74+500-74+720 ve 74+100 aralığı heyelan modellemesi ve tasarımına ait jeoteknik proje raporu. (yayınlanmamış), Ankara.
- Yüksel, 1970. Elmalı bölgesinin jeolojisi ve petrol olanakları. MTA Raporu, No:4383 (Yayınlanmamış), Ankara.
- Yiğit, G. 2013. Karayollarında şev stabilitesi (Isparta-Antalya D-685 karayolu örneği) Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 192 s.
- Zanbak, C. 1973. Kaya şevlerinin stabilitesi ve stereografik izdüşüm yöntemi ile stabilite analizi. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 12 (3): 1-12.

ÖZGEÇMİŞ

Ertuğrul AKÇA
ertgrlakca@gmail.com



ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2015-2019	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Antalya
Lisans	Ankara Üniversitesi
2008-2014	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÇALIŞTIĞI KURUMLAR

2017 - 2018	Özkeser Zemin İnşaat
2015 - 2017	Temelsu Uluslararası Mühendislik Hizmetleri A.Ş.
2014 - 2015	Akademi Jeoloji Jeoteknik İnşaat LTD. ŞTİ.

Uluslararası bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitaplarında basılan bildiriler

Akça, E. and Leventeli, Y. (2019).Study of the landslide on highway between Antalya and Finike. International Symposium on Advanced Engineering Technologies, 2-4 May, Kahramanmaraş/Turkey.