

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**ANTALYA KEMER KARAYOLU (D-400) KM:15+100.00– 40+065.64 ARASI
SEÇİLEN ŞEVLERDE KAYA DÜŞME TEHLİKE SINIFLANDIRMA
SİSTEMİ UYGULAMASI**

İlknur AYTEN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MART 2021

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANTALYA KEMER KARAYOLU (D-400) KM:15+100.00– 40+065.64 ARASI
SEÇİLEN ŞEVLERDE KAYA DÜŞME TEHLİKE SINIFLANDIRMA
SİSTEMİ UYGULAMASI

İlknur AYTEN
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 03/03/2021 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ
Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK (Danışman)

ÖZET

ANTALYA KEMER KARAYOLU (D-400) KM:15+100.00– 40+065.64 ARASI SEÇİLEN ŞEVLERDE KAYA DÜŞME TEHLİKE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ UYGULAMASI

İlknur AYTEN

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Mart 2021; 80 sayfa

Bu çalışmanın amacı, bir çok turizm merkezini birbirine bağlayan Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer kesimindeki (15+100.00- 40+065.64 km'ler arası) seçilmiş şevlerde sürüş güvenliğinin kontrolüne yönelik olarak kaya düşme tehlike sınıflandırma sistemi uygulanmasıdır. Tennessee Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi (Rockfall Hazard Rating System, RHRS) (Cain 2004) olarak bilinen sistemde, öncelikli ve ayrıntılı olmak üzere iki tür sınıflandırma yapılmaktadır. Öncelikli sınıflandırma sonucunda tehlikeli öngörülen şevler (A sınıfı) ayrıntılı sınıflandırmaya tabi tutulur. Ayrıntılı sınıflamada, şev yüksekliği, şev önü hendek etkinliği, ortalama araç riski, yol genişliği, düşen bloğun sürücü tarafından algılanma mesafesi, kaya düşme tarihçesi gibi saha ve yol geometrisine ait bilgiler ile gözlemsel olarak saptanan farklı türde şev yenilmeleri (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunmaya bağlı kaya düşmesi, döküntüler) gibi jeolojik karakteristikler arazi çalışmaları kapsamında puanlanır.

Tez çalışması kapsamında yapılan arazi çalışmaları sonunda 8 adet A-sınıfı şev belirlenmiş ve bu şevlerin ayrıntılı sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. Ayrıntılı sınıflandırma sonucunda hem saha ve yol geometrisi hem de jeolojik karakterizasyon aşamalarından 300 ve üzerinde puan alan şevler en tehlikeli şevler olarak değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Antalya, Karayolu, Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi, Şev

JÜRİ: Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin LEVENTELİ

Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

ABSTRACT

IMPLEMENTATION OF ROCK-FALL HAZARD RATING SYSTEM ON SELECTED SLOPES ALONG ANTALYA KEMER HIGHWAY (D-400) KM: 15+100.00 - 40+065.64

İlknur AYTEN

MSc Thesis in Department of Geological Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

March 2021; 80 pages

The aim of this study is to apply a rockfall hazard rating system for the control of driving safety on selected slopes at the Sarısu-Kemer (between 15 + 100.00- 40 + 065.64 km) section of the Antalya-Muğla D400 Highway, which connects many tourism centers. In the system known as Tennessee Rockfall Hazard Rating System (RHRS) (Cain 2004), two types of classification are made, priority and detailed. Slopes that are considered dangerous as a result of priority classification (Class A) are subjected to detailed classification. In detailed classification, information about field and road geometry such as slope height, slope front trench activity, average vehicle risk, road width, distance to the driver's perception of the falling block, history of rockfall, and information about geological characteristics such as different types of slope failures (planar, wedge, overturning, rock fall due to different weathering, raveling) detected observationally are scored within the scope of field studies.

At the end of the field studies carried out within the scope of the thesis study, 8 A-class slopes were determined, and detailed classification studies on these slopes were applied. As a result of the detailed classification, the slopes which get over 300 points in terms of both field and road geometry and geological characteristics were evaluated as very dangerous.

KEYWORDS: Antalya, Highway, Rock fall Hazard Rating System, Slope

COMMITTEE: Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Asst. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

Asst. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

ÖNSÖZ

“Antalya-Kemer Karayolu (D400) km: 15+100- 40+065.64 Arası Seçilen Şevlerde Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi Uygulaması” başlıklı olan bu çalışma, 2017-2021 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

2012 yılında Danışmanım olarak tanıştığım ve yüksek lisans dönemimde de Danışmanlığımı yapan değerli Hocam Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK’e, lisans hayatımın ilk yılında mesleğime hayran olmamı sağlayan değerli Hocam Doç. Dr. Volkan ÖZAKSOY’a, lisans eğitimime başladığım ilk gün tanıştığım ve her zaman “iyi ki tanımışım” dediğim kıymetli hocalarımdan Arş. Gör. Dr. Fatih UÇAR’a, lisansüstü öğrenimimde tanıdığım ve tezim konusunda bana yardımcı olan harika kadın Jeoloji Yüksek Mühendisi Melek Betül YÜREĞİR’e ve tüm zorlukları birlikte yendiğimiz herkese çok teşekkür ederim.

Ve canım Ailem,

Pandemi sürecinde olmamıza rağmen beni arazi çalışmalarında dahi yalnız bırakmadınız. Hayatımın her anında her koşulda yanımda olup, her konuda başarılı olacağıma inandınız. Hayattaki en büyük destekçilerim Babam, Annem ve Kardeşim, en büyük teşekkürlerim size.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı	2
1.2. Çalışmanın Alanının Konumu.....	2
1.2.1. Antalya'nın genel konumu ve ulaşım.....	2
1.2.2. Akarsular	3
1.2.3. İklim ve bitki örtüsü	3
1.2.4. Çalışma yapılan alanların konumları.....	5
2. KAYNAK TARAMASI.....	7
2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi	7
2.1.1. Antalya napları	8
2.1.2. Allohton birimler	9
2.1.3. Otokton birimler	10
2.1.4. Tektonik	12
2.1.5. Depremsellik	12
2.2. Literatür Çalışması	12
2.2.1. Önceki çalışmalar	14
2.3. Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları.....	14
2.4. Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması.....	16
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Materyal	24
3.2. Metot	24
3.2.1. Tennessee kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi	24
3.2.1.1. İlksel Sınıflandırma.....	24
3.2.2. Arazi çalışmaları	28
3.2.2.1. Saha ve yol geometrisi	30

3.2.2.2. Jeolojik değerlendirmeler.....	35
4. BULGULAR VE TARTIşMA	37
4.1. Tennessee Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sisteminin Çalışma Alanında Değerlendirilmesi	37
4.1.1. İlksel sınıflandırma.....	38
4.1.2. Detaylı sınıflandırma.....	41
5. SONUÇLAR	69
6. KAYNAKLAR.....	71
7. EKLER	76
ÖZGEÇMİş	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Antalya-Kemer Karayolu (D400) km: 15+100- 40+065.64 Arası Seçilen Şevlerde Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi Uygulaması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

03/03/2021

İlknur AYTEN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
<	: Küçük
>	: Büyük
h	: Saat
H ₀	: Yükseklik puanı
Km	: Kilometre
M	: Metre

Kısaltmalar

AASHTO	: Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Amerikan Derneği
ADT	: Günlük Trafik Yoğunluğu
AVR	: Araç Risk Ortalaması
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DSD	: Blok Algılama Mesafesi
Ft	: Fit
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Q	: Kaya Kütle Kalitesi
RFHRS	: Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
YOGT	: Ortalama Günlük Trafik Değerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Antalya ilinin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014) ..	3
Şekil 1.2. Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Çalaman İ. ve Çalaman G. 2004)	4
Şekil 1.3. Antalya İli topoğrafik sınırlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014)	5
Şekil 1.4. Antalya İli çalışma alanlarını gösteren uydu görüntüsü (KGM 2019)	6
Şekil 2.1. Toroslar kuşağında coğrafik alt bölümleri (Özgül 1984) (KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KAF: Kuzey Anadolu Fayı)	7
Şekil 2.2. Orta ve Batı Toroslar'daki ana jeolojik birimler (Özgül 1984, Şenel vd. 1997, 2016; Poisson vd. 2013)	8
Şekil 2.3. Antalya naplarına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler (Şenel vd. 2010'dan basitleştirilmiştir, ölçeksizdir)	9
Şekil 2.4. Antalya ve civarının jeolojisini gösteren harita (Akay vd 1985, Dipova ve Doyuran 2006b'den değiştirilmiştir.)	11
Şekil 2.5. Antalya kıyı platoları (Dipova ve Yıldırım 2005)	11
Şekil 2.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2019)	12
Şekil 2.7. Oregon test sahasındaki kaya bloğun düşerken izlediği yolun tipik gösterimi (Wyllie 1996)	13
Şekil 2.8. Japonya'da yapılan kaya düşmesi deneyleri sonucu elde edilen verilere göre belirlenen düşme yolu (Wyllie 1996)	13
Şekil 2.9. Enerji kapasitesi (kJ Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları (Grassl H. 2002)	15
Şekil 2.10. Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi (Escallon vd. 2014)	15
Şekil 2.11. Örnek puanlama grafiği (Pierson 1992)	22
Şekil 3.1. D-400 karayoluna ait 3. bölgede yer alan A-sınıfı şevinin görünümü	26
Şekil 3.2. D-400 karayoluna ait 9. bölgede yer alan B-sınıfı şevinin görünümü	27
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan DISTO D810 TOUCH marka lazer metre	31
Şekil 4.1. Çalışma alanının 1: 100 000 ölçekli jeoloji haritası (MTA 2008)	38
Şekil 4.2. B-sınıfı şevinin genel görüntüsü	39
Şekil 4.3. Devrilen kayaların gösterimi	40
Şekil 4.4. Bölgedeki kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası	41
Şekil 4.5. Bölgedeki kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası	41
Şekil 4.6. 2019 yılı Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü-devlet yolları hacim haritası	42
Şekil 4.7. Çalışma alanına ait 1. bölgede yer alan karayolu şevinin görünümü	45
Şekil 4.8. A1-sınıfı şevinin yenilme türü ve çelik ağların görünümü	46
Şekil 4.9. A2-sınıfı şevine ait destekleme amaçlı yapılan bulonların görüntüsü	48
Şekil 4.10. A2-sınıfı şevine ait destekleme amaçlı yapılan bulonların görüntüsü	49

Şekil 4.11. Tel ağ üzerinde düşen kayanın tutulması.....	51
Şekil 4.12. A3-sınıfı şevin özelliklerini gösteren şekil. sarı kesikli çizgi ile belirtilmiş olan alanda bozunma sebebi ile döküntü şeklinde yenileceği kaya yüzeyini göstermektedir. Mavi renk ile gösterilen oklar tabakalanma yönlerini göstermektedir..	52
Şekil 4.13. A4-sınıfı şevinin genel görünümü	54
Şekil 4.14. A4-sınıfı şevine ait görüntü	54
Şekil 4.15. Eklem takımlarının sebep olmuş olduğu yenilme türü görüntüsü	55
Şekil 4.16. A5-sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti)	57
Şekil 4.17. A5-sınıfı şevi görüntüsü (Kemer istikameti)	58
Şekil 4.18. A6-sınıfı şevine ait genel görünüm.....	60
Şekil 4.19. A6-sınıfı şevine ait devrilme alanının yakından görünümü	61
Şekil 4.20. A7- Sınıfı şevine ait görüntü (Antalya istikameti)	63
Şekil 4.21. A7- Sınıfı şevde iksa duvarı ve eklem çatlakları görünümü.....	64
Şekil 4.22. A8-sınıfı şevi genel görüntüsü.....	66
Şekil 4.23. AVR hesaplamalarında kullanılan hız limiti için kullanılmış olan uyarı levhası ve virajlı yol uyarı levhası	66

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları Andrew, R. D. vd. (2011).....	16
Çizelge 2.2. İlkse Oregon sınıflama sistemi (Pierson 1992).....	19
Çizelge 2.3. Oregon kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin puanlama tablosu (Pierson 1992)	21
Çizelge 2.4. Üstel formüller (Pierson 1992)	22
Çizelge 3.1. İlkse Oregon sınıflandırma sistemi (Pierson 1992)	24
Çizelge 3.2. Tennessee puanlama formunun ön tarafı (CAIN 2004)	29
Çizelge 3.3. Tennessee puanlama formunun arka tarafı (CAIN 2004).....	30
Çizelge 3.4. Hendek etkinliği tablosu	32
Çizelge 3.5. Tennessee kapsamında uygulanan yenilme türleri ve jeolojik karakter parametreleri Cain (2004)	35
Çizelge 3.6. Yenilme türlerine karşılık gelen jeolojik karakter parametreleri Cain (2004).....	36
Çizelge 4.1. “A1-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	46
Çizelge 4.2. “A1-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	47
Çizelge 4.3. “A2-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	50
Çizelge 4.4. “A2-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	50
Çizelge 4.5. “A3-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	53
Çizelge 4.6. “A3-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	53
Çizelge 4.7. “A4-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	56
Çizelge 4.8. “A4-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	56
Çizelge 4.9. “A5-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	59
Çizelge 4.10. “A5-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	59
Çizelge 4.11. “A6-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	62

Çizelge 4.12. “A6-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	62
Çizelge 4.13. “A7-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	65
Çizelge 4.14. “A7-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	65
Çizelge 4.15. “A8-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	67
Çizelge 4.16. “A8-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları	67



1. GİRİŞ

Ülkemizde ve dünyada nüfusun hızla artışı birçok alanda gelişimi ve değişimi beraberinde getirmektedir. Tarih boyunca inşaat sektörü ve ulaşım sektörü de bu gelişime uyum sağlamak zorunda kalmıştır. Artan nüfusa bağlı olarak yeni yapılar inşa etmek ve zamandan tasarruf etmek için ulaşımı kolay hale getirmek teknolojinin gereği olmuştur. Buna bağlı olarak doğanın zorlu fiziksel unsurları teknolojinin gelişimi ile kullanımı kolaylaştırmıştır. Öyle ki, dağlık ve engebeli alanlarda yol yapımı engel tanımamaktadır. Yerleşim yeri olarak zor araziler üzerinde altyapı sektörüne yapılan yeni talepler gelecek yıllarda ulaşım ağları boyunca kaya yarmaları sayısını artıracaktır (Dai vd. 2002).

Engibeli arazilerde sorunları kaçınılmaz olmakla birlikte en sık karşılaşılan sorun kaya düşmeleridir. Dağları kesen ya da eteği boyunca uzanan otoyollar ve demiryolları gibi ulaşım sistemleri kaya düşmeleri için korunaksızdır (Brawner ve Wyllie 1976; Bunce vd. 1997; Hungr vd. 1999). Karayolları günlük kaya düşmesi oluşturabilir, ancak düşen bu kayalar yola gelmediği sürece bu durum tehlikeli olarak algılanmaz (Chau vd. 2003, 2004). Toplum, kaya düşmesinin öneminin genellikle yolun ulaşımına kapanması, can ya da mal kaybı olması durumunda tehlikeli olarak algılar. Yola düşen kaya parçaları sürücüler için ciddi tehlikeler arz etmektedir.

Bir kaya düşmesi yeni ya da önceden var olan süreksizlikler (tabaka, eklem veya çatlak gibi) boyunca ana kayadan ayrılan kaya parçasıdır ki bunlar düşey ya da düşeye yakın yamaç boyunca ve parabolik yörünge boyunca sıçrayarak ya da yuvarlanarak kayar, devrilir veya düşer ve yamacın dibinde birikirler (Varnes 1978; Cruden ve Varnes 1996). Trafik akışının yoğun olmasına bağlı olarak meydana gelen titreşimler, depremlerin neden olduğu kuvvetli yer hareketleri ve atmosferik etkiler kaya şevlerinde duraysızlıklara neden olmaktadır.

Ülkemizde ilkbahar ve kış mevsimlerinde kaya düşmesi maksimum seviyede olmasının nedeni, bu mevsimlerde çatlakların içerisinde suyun bulunması ve sık sık donma çözünmeye uğramasıdır.

Ülkemizde de yerleşim yerleri ve mühendislik yapılarının bulunduğu birçok yerde kaya düşmesi riski bulunuyor. Zaman zaman kaya düşmelerinden kaynaklanan ciddi zararlar ve hatta insan hayatını tehlikeye sokacak vakaların olduğu rapor edilmektedir. Kaya düşmesi afetinin insan hayatı ve ekonomik etkileri düşünüldüğünde tüm afetlerde olduğu gibi önlem alınması kaçınılmaz hale gelmiştir. Tehlikeden korunmak için konutların afet bölgesinden uzaklaştırılması (taşınması) veya ıslah çalışmaları yapılmıştır. Son zamanlarda ıslah çalışmaları daha ekonomik, sosyal ve pratiklik olması açısından tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu amaçla Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer arasında kalan kesimi çalışma alanı olarak seçilmiş ve bu bölgedeki şev duraysızlıklarının saha ve trafik koşullarına bağlı olarak değişik parametreleri (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok algılama mesafesi, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) dikkate alınarak bir puanlama sistemi oluşturulmuştur. Bu çalışma ile Varnes (1978) tarafından önerilen ve günümüzde ABD'nin çeşitli eyaletlerinde yaygın olarak kullanılan "Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi"nin bazı bölümleri geliştirilmiş ve bunlar Ülkemizde ilk defa uygulanmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Karayolları, yol boyunca değişebilen ve birçok farklı jeolojik birimleri barındırması bakımından diğer mühendislik yapılarından ayrılır. Bu çalışma kapsamında, karayolu boyunca karşılaşılan şev duraysızlıklarına yönelik olarak Tennessee Ulaşım Dairesi (Cain 2004) tarafından geliştirilen ve bu şevleri tehlike derecelerine göre sınıflandıran bir sistemden yararlanılmıştır. Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer arasında kalan kesimi boyunca bu duraysızlık türlerinin bulunduğu kaya kütleleri, can güvenliği açısından tehdit oluşturmakta ve daha doğru çözümlerin üretilmesi için bu çalışmanın yapılması hedeflenmektedir.

Bilindiği üzere, deprem, yoğun trafik akışının neden olduğu titreşimler, atmosferik koşullar gibi etkiler kaya ya da zemin (toprak) şevlerde duraysızlıklara neden olmaktadır. Bu çalışmada uygulanacak sistemde kullanılacak olan kaya şevlerinde farklı bozunmaya bağlı olarak gelişen kaya düşmeleri, düzlemsel, kama, devrilme ve dökülme türü duraysızlıklar üzerinde iklim şartlarına bağlı donma-çözülmenin de etkisi göz ardı edilmemelidir. Trafik akışı ve güvenliği yönünden tehdit oluşturan bu gibi duraysızlıklara karşı iyileştirme yöntemleri uygulanmakta, iyileştirme yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda alternatif çözümler kullanılmakta ve yahut sürücüler uyarı levhaları ile uyarılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, trafik koşullarına bağlı olarak gelişen çeşitli parametreleri (şev yüksekliği, araç, risk ortalaması, blok uzaklığı algılama, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) etki derecelerine göre sayısal olarak sınıflandıran “Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi” olarak adlandırılan sistemin kullanılmasıdır. Bu sınıflandırma sisteminin jeolojik değerlendirmeler bölümünde ilk olarak şev yenilme türleri (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunma ve döküntü) belirlenmektedir. İkinci aşamada, belirlenen şev yenilmelerinin yoğunluk, blok boyutu, sürtünme gibi parametrelerinin puanlaması yapılmaktadır. Bu parametrelerin puanlaması belirlenen noktalarda bulunma yüzdesine göre belirlenmektedir. Ulaşım kolaylığı, çalışma güvenliği ve şev duraysızlıklarının gözlenebildiği bir güzergâh olmasından dolayı çalışma sahası olarak Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer arasında kalan kesimi seçilmiştir.

1.2. Çalışmanın Alanının Konumu

1.2.1. Antalya'nın genel konumu ve ulaşım

Antalya İli Türkiye'nin güneybatısında 29°16' - 32°36' doğu boylamları ile 36°05' - 37°26' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Akdeniz Bölgesi'nin batısında bulunan Antalya İli, doğusunda Mersin ve Karaman, kuzey doğusunda Konya, kuzeyinde Isparta ve Burdur, batısında ise Muğla İlleri ile komşudur. Kentin yüzölçümü 20.909 km² (Harita Genel Komutanlığı 2009) olup, Türkiye yüzölçümünün (783.562 km²) %2,6'sına karşılık gelmektedir. Akdeniz Bölgesi'nin batısında bulunan Antalya ili, bölge yüzölçümünün ise %17,6'sını oluşturur. İl, doğal ve kültürel coğrafya özellikleri bakımından büyük bir zenginliğe sahiptir.



Şekil 1.1. Antalya ilinin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014)

Antalya İli sahip olduğu karayolu şebekesiyle Türkiye'nin her noktasına ulaşılma imkânına sahiptir. İç Anadolu ve Ege bölgeleriyle irtibatını sağlayan yollar yeterli olup her mevsim ulaşımaya uygundur. Antalya'nın karayolu ulaşımında ana arteri, Antalya- Burdur (veya Isparta)-Afyon hattıdır. Bu güzergâh Türkiye'nin en büyük üç ilinden gelen yolları kendinde toplar. Afyon-Bilecik-Adapazarı yoluyla İstanbul'a, Afyon-Uşak yoluyla İzmir'e ve Afyon-Polatlı hattıyla Ankara'ya bağlantı sağlar.

Antalya'yı İç Anadolu'ya bağlayan ikinci bir güzergâh, Antalya- Manavgat-Akseki-Seydişehir-Konya güzergâhıdır. Antalya doğusundaki Mersin, Adana ve Hatay ile batısındaki Muğla'ya hemen hemen kıyıya paralel uzanan yollarla bağlanır (Antalya Valiliği İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü 2012).

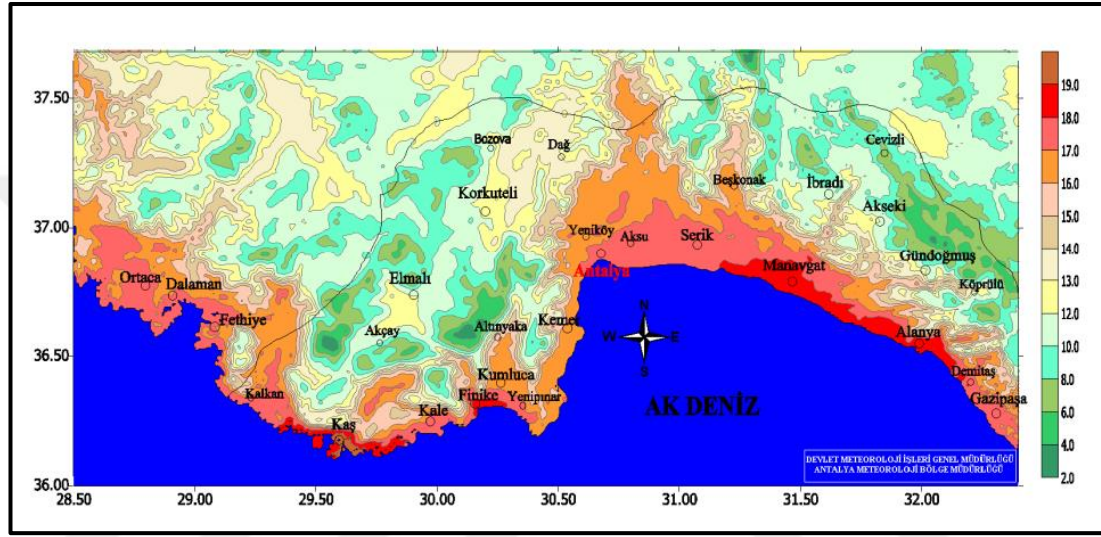
1.2.2. Akarsular

Antalya'da sayıları 29'u bulan akarsu vardır. Bunlardan 25'i denize, 4'ü içerdeki göllere dökülür veya göllerden çıkıp ovalarda kaybolur. Bu akarsuların bazıları yazın kuruyan küçük dereciklerdir. Fakat bunun yanında; Eşen Çayı, Aksu, Köprüçayı ve Manavgat Irmağı büyük debili akarsular da yer almaktadır. Bu büyük sular, Toroslar'ın yaylalarından ve binlerce yıllık yalayışları ile dağlarda açtıkları vadilerden köpüre köpüre akarak birçok yerde şelaleler oluştururlar. Antalya bölgesinin bu akarsuları, diğer Akdeniz illerinde olduğu gibi rejimleri düzensiz dere ve çaylardır. Debileri mevsimlere göre büyük değişiklik gösterir. Yazların sıcak ve kurak geçmesi yüzünden akarsuların yaz sonlarına doğru suları çok azalır, hatta birçoğu tümünden kurur. Sonbahar sonlarında yağmurların başlamasıyla su düzeyi gittikçe yükselir ve ilkbaharda Toros Dağları'ndaki karların erimesiyle son aşamasına ulaşır.

1.2.3. İklim ve bitki örtüsü

Çalışma alanında kışları ılık ve yağışlı yazları sıcak ve kurak olan Akdeniz iklimi hakimdir. Kuzeyinde bulunan Toros Sıradağları güneyden gelen yağışlı ve nemli hava

etkisini artırarak belirli yükseklikte yağışın artmasına neden olmaktadır. Yağış tipi sahilde yağmur, iç kesimlerin yükseklerinde kış aylarında karla karışık yağmur ve kar yağışı görülmektedir. (2000 metre yükseklikte Saklıkent Kayak Merkezi bulunmaktadır). Yıllık ortalama yağış miktarı: 1043.2 kg/m² Yıllık sıcaklık ortalaması: 18.4°C (Şekil 1.2), en yüksek sıcaklık 45°C Temmuz ayında, en düşük sıcaklık 4°C Şubat ayında görülmüştür. Nem oranı ve yüzdesi: %63.2'dir. Kar yağışlı günler Ocak:1 gün, Şubat:1 gün, Mart:1 gün, Aralık:1 gün yerde kalış süresi Ocak ayında 1 saatten azdır. Diğer aylarda hiç kalmamıştır. Yıllık güneşli gün süresi: 8,3 saattir. Rüzgarın esme yönleri olarak en fazla NNW (Kuzey-kuzeybatı) yönünden esmektedir. Aylar itibariyle ortalama basınç 1006,6 (hPa) olarak gerçekleşmiştir (Çalaman İ. ve Çalaman G. 2004).



Şekil 1.2. Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Çalaman İ. ve Çalaman G. 2004)

Akdeniz Bölgesi içinde Batı ve Orta Toros Dağları yer almaktadır. Burada kalker türü kayaların yaygın, yükseltinin fazla ve yağış koşullarının yeterli olması nedeniyle karstik şekiller yaygın olarak bulunmaktadır. Akdeniz Bölgesinde karstik şekiller hem yüzeyde (lapy, polye vs) hem de derinlerde (mağara) gelişme göstermişlerdir.

Antalya kenti; güneyinde Akdeniz, kuzeyinde denize paralel olarak uzanan Batı Toroslar, batısında Bey Dağları ve doğusunda Geyik Dağı ile topoğrafik olarak sınırlanmıştır (Şekil 1.1). Topoğrafik yapısı sebebiyle ön kısmında dar kıyı düzlükleri ve bunların gerisinde yüksek sıradağlardan oluşan Antalya'da yükselti, Konyaaltı kıyısının 1 km gerisinde yaklaşık olarak 600 metreye, Konyaaltı kıyısının 20 km gerisinde ise yaklaşık olarak 2500 metreye kadar ulaşabilmektedir (Şekil 1.3).

Antalya kentinin doğusunda Aksu ve Yamansaz düzlükleri ve batısında ise Boğaçay'ın oluşturduğu alüvyonal düzlükler bulunmaktadır. Antalya'da deniz derinliği, kıyından 3-10 km uzaklığa kadar 0 ile 200 metre arasında yumuşak bir eğimle değişmekte olup, 200 metreden sonra eğim dikleşmekte ve körfez ortalarına doğru derinlik 1000 ile 2000 metreye ulaşmaktadır (Dipova ve Cangir 2011).



Şekil 1.3. Antalya İli topoğrafik sınırlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014)

1.2.4. Çalışma yapılan alanların konumları

Antalya-Kemer D-400 Karayolu üzerinde ön incelemeler yapılarak farklı ölçeklerde şev duraysızlıkları belirlenecektir. Bu araştırmada, çalışma yapılacak olan güzergâh boyunca yol yarmalarında şev duraysızlıklarının saha ve trafik koşullarına bağlı olarak değişik parametrelerini dikkate alarak bir puanlama sistemi oluşturulup, yapılan puanlamaya göre sınıflandırılması amaçlanmaktadır. Çalışma alanına ait uydu görüntüsü aşağıda verilmiştir (Şekil 1.4). Çalışma alanı 3 adet 1:25000 ölçekli topografik haritadan, O25a4, O25d1 ve O25d4 paftaları içerisinde yer almaktadır.



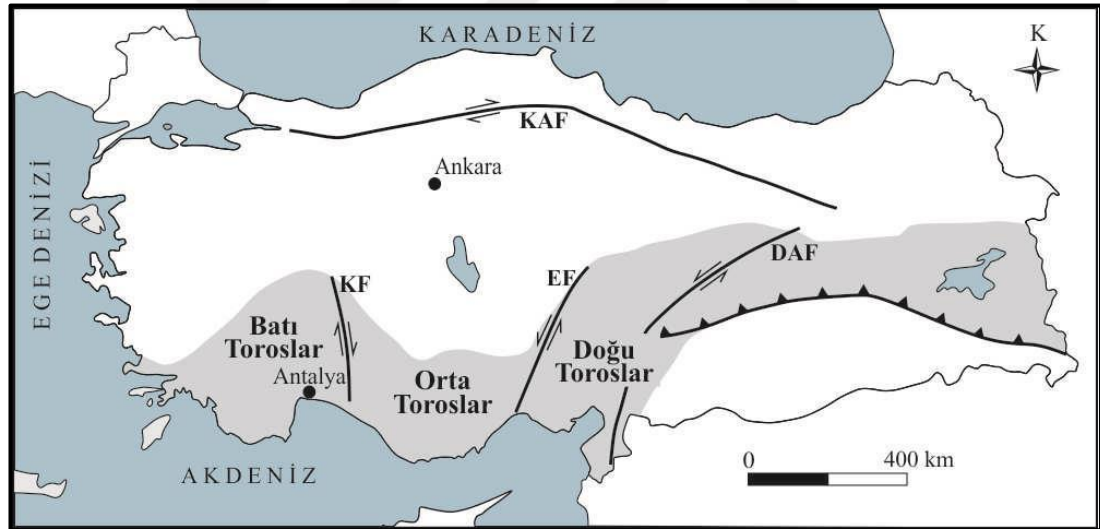
Şekil 1.4. Antalya İli çalışma alanlarını gösteren uydu görüntüsü (KGM 2019)

2. KAYNAK TARAMASI

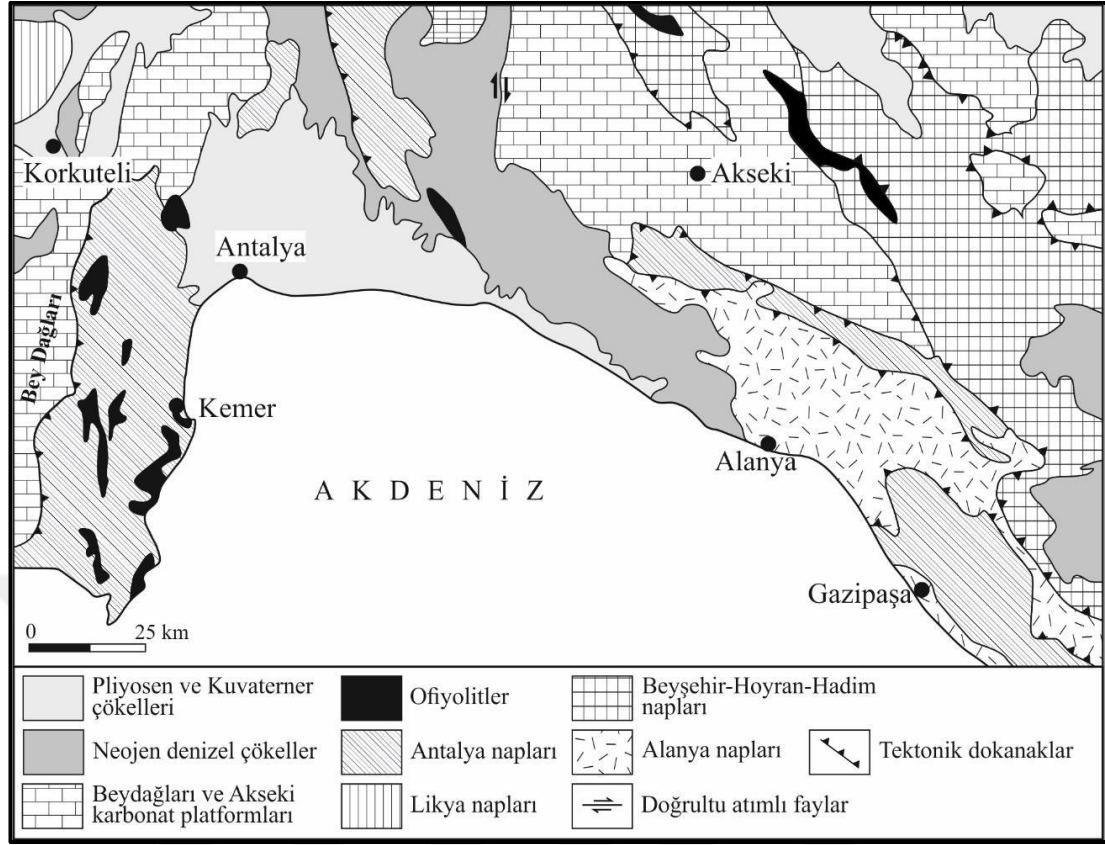
2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi

Antalya bölgesi batı Toroslar'ın güney kenarında bulunmaktadır. Bölgenin hâkim kaya birimleri otokton ve allohton olarak iki gruba ayrılabilir. Platform tipi karbonat çökellerden oluşan Anamas-Akseki görelî otoktonu (Kambriyen-Eosen) ve Beydağları görelî otoktonu (Jura Miyosen), allohton birimlerin yerleşeceği ve genç otokton birimlerin çökeleceği ana kaya görevi görürler. Genç otokton birimler ise; kumtaşı, çakıl taşı, kireçtaşı ve kiltaşından oluşan Antalya Miyosen havzası çökelleri, Üst Miyosen-Pliyosen havzası çökelleri ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tufa (traverten) dir. Antalya napları bölgenin allohton birimlerini oluşturur (Akay vd. 1985).

Toroslar, Türkiye'deki ana tektonik hatlardan birini oluştururlar ve Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı üzerindeki Doğu Akdeniz Bölgesinde yer alır (Şengör ve Yılmaz 1981). Özgül (1984) Torosları jeolojik ve morfolojik özelliklerini dikkate alarak Batı Toroslar, Orta Toroslar ve Doğu Toroslar olmak üzere 3 bölgeye ayırmıştır (Şekil 2.1). Orta Toroslar doğuda sol yanal karakterli Ecemiş Fayı ve batıda sağ yanal karakterli Kırkkavak fayı olmak üzere iki adet doğrultu atımlı faydan oluşur (Özgül 1984). Orta ve Batı Toroslar belirgin allohton ve otokton birimlerden oluşur (Brunn vd. 1971; Özgül 1976; Şenel vd. 1996; Poisson vd. 2003) (Şekil 2.2)



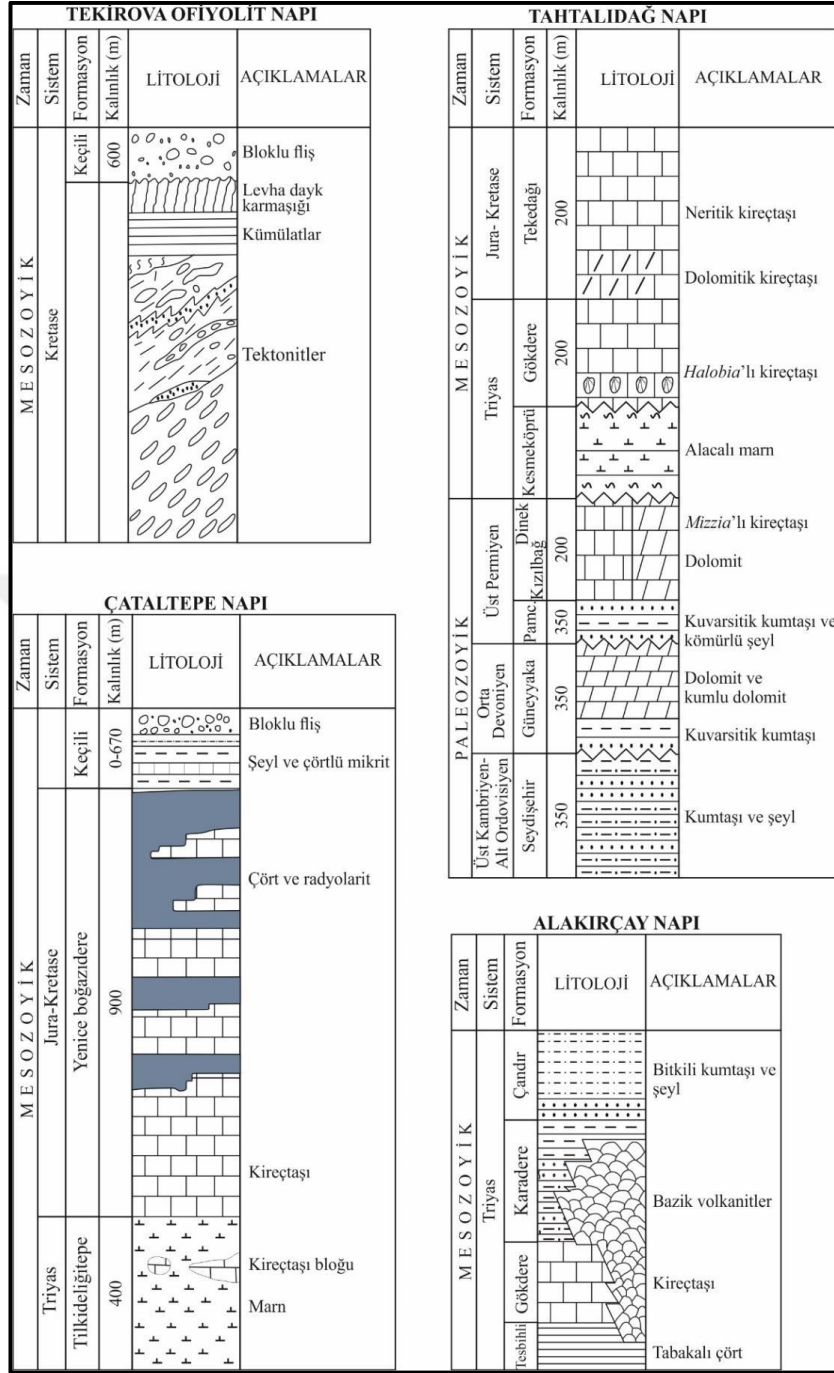
Şekil 2.1. Toroslar kuşağında coğrafik alt bölümleri (Özgül 1984) (KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KAF: Kuzey Anadolu Fayı)



Şekil 2.2. Orta ve Batı Toroslar'daki ana jeolojik birimler (Özgül 1984, Şenel vd. 1997, 2016; Poisson vd. 2013)

2.1.1. Antalya napları

Antalya napları ilk olarak, Lefevre (1967) tarafından tanımlanmıştır. Kambriyen-Üst Kretasede oluşmuş platform karbonatları, ofiyolitik kayalar ve havza çökelleri Antalya naplarını oluşturmaktadır (Özgül 1976, 1984; Poisson vd. 2003). Brunn ve diğ. (1971) tarafından Alt nap (Çataltepe ünitesi), Orta nap (Alakırçay ünitesi), Üst nap (Tahtalıdağ ünitesi) olarak bölümlendirilmiş olan Antalya napları, daha sonrasında Şenel vd. (1992, 1996) tarafından Çataltepe napı, Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolit napı olarak yeniden bölümlendirilmiş ve böylelikle 4 alt nap sistemine ayrılmıştır (Şekil 2.3). İnceleme alanında Antalya naplarına ait Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolit napı yüzeylenir.



Şekil 2.3. Antalya naplarına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler (Şenel vd. 2010'dan basitleştirilmiştir, ölçeksizdir)

2.1.2. Allohton birimler

Şenel vd. (1981) tarafından Orta Antalya Napı olarak adlandırılmış olan Alakırçay Grubunun üyelerinden kireçtaşı birimi çörtlü mikrit ve plaklet görümlü halonali mikrit özelliğindedir. Bu birim Kalafatçıoğlu (1973) tarafından "Gökdere Formasyonu", Günay vd. (1982) tarafından ise "İspartaçay Formasyonu" olarak olarak adlandırılmıştır. Şenel (1997) tarafından Alakırçay Grubunun ve Tahtalıdağ Napındaki

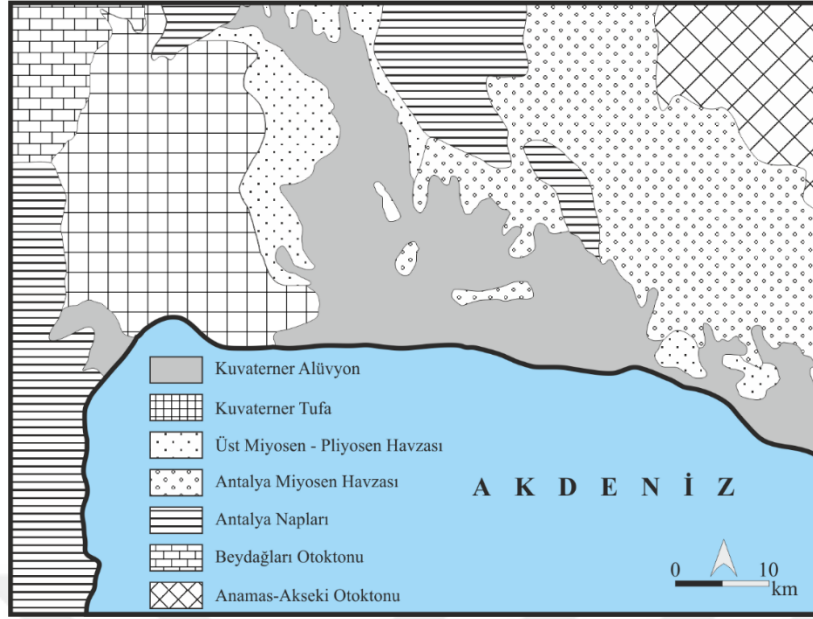
Üst Aniziyen-Noriyen (Triyas) kayaçlarının birçoğunda genel olarak Gökdere Formasyonu ile temsil edildiğini belirtmiştir. Birimde ince-orta tabakalı, bej,krem-gri-açık gri renkli, plakete görünümlü bol radyolaryalı, çört yumrulu,halobialı mikritik kireçtaşları bulunmaktadır. Yersel kalkerinit, şeyl, tabakalı çört, tüfit, yastık lav ara seviyeleri barındırmaktadır. Birim seyrek diyabaz dayıklıdır.Yaşı Üst Aniziyen- Noriye olarak kabule edilmiş, formasyonun güncel verilerden yola çıkarak volkanizmanın zaman zaman etkili olduğu duraysız havza ortamında çökeldiği belirtilmiştir (Şenel 1997).

2.1.3. Otokton birimler

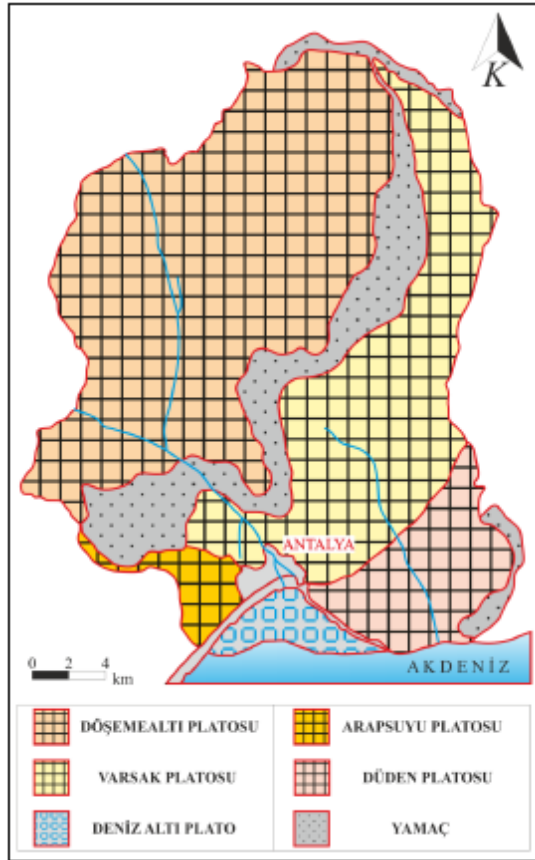
Yerleşim bölgesinde gözlemlenen ve hâkim olan litolojiyi oluşturan kalkerli birimler Poisson (1977) tarafından “Antalya Travertenleri” olarak tanımlanmıştır. Karasal kökenli ikincil kalsiyum karbonat çökelimlerinden oluşmuş “Traverten” 1996 yılından itibaren “Tufa” olarak değerlendirilmiştir (Ford ve Pedley 1996). İlk olarak “Traverten” olarak adlandırılmış kaya birimleri; ortam sıcaklığının düşük, tatlı suların etkisi ile oluşmuş olması ve ılık su çökelleri olması nedeni ile “Antalya Tufası” olarak adlandırılması daha uygundur (Dipova ve Doyuran 2006a). Tufalar, yeraltı suyunun yüzeye çıktığı bölgelerde, karbonatı suyun içerisinde barındıran karbondioksitin havaya karışması ve mikroorganizma etkileri ile kalsiyumkarbonat çökmesi ile oluşur. Tufalar, Traverten zeminlere göre daha yumuşak ve suya doyma koşullarında sıkışabilen bir zemin olmasından kaynaklı olarak yerleşim bölgesinin güney doğusunda ve Konyaaltı Belediyesi sınırlarında içerisinde yüzeylenir.

Beydağları otoktonu; Daniyen’de Antalya Naplarının, Langiniyen’de ise Likya Naplarının yerleşimine sahne olmuştur. Tufa birimi, yağışlar ile yeraltına süzülen sular asitçe zenginleşir. Beydağları’nın yapısında bulunan kalker çözümlenerek bu çözeltinin fay hatları boyunca Kırkgöz kaynakları olarak yüzeye çıkmasıyla bünyelerinde barındırdıkları CO₂’nin ayrılıp CaCO₃’ün çökmesi ile oluşur (Şekil 2.4).

Nossin’e (1989) göre, SPOT sayısal uydu görüntüleri ile yapılan değerlendirmeler sonucunda tufa platoları iki temel gruba ayrılır. Bu iki grup ise kendi içinde biri deniz altında olmak üzere beş farklı plato şeklinde gözlenmiştir (Dipova ve Yıldırım 2005) (Şekil 2.5).



Şekil 2.4. Antalya ve civarının jeolojisini gösteren harita (Akay vd 1985, Dipova ve Doyuran 2006b'den değiştirilmiştir.)



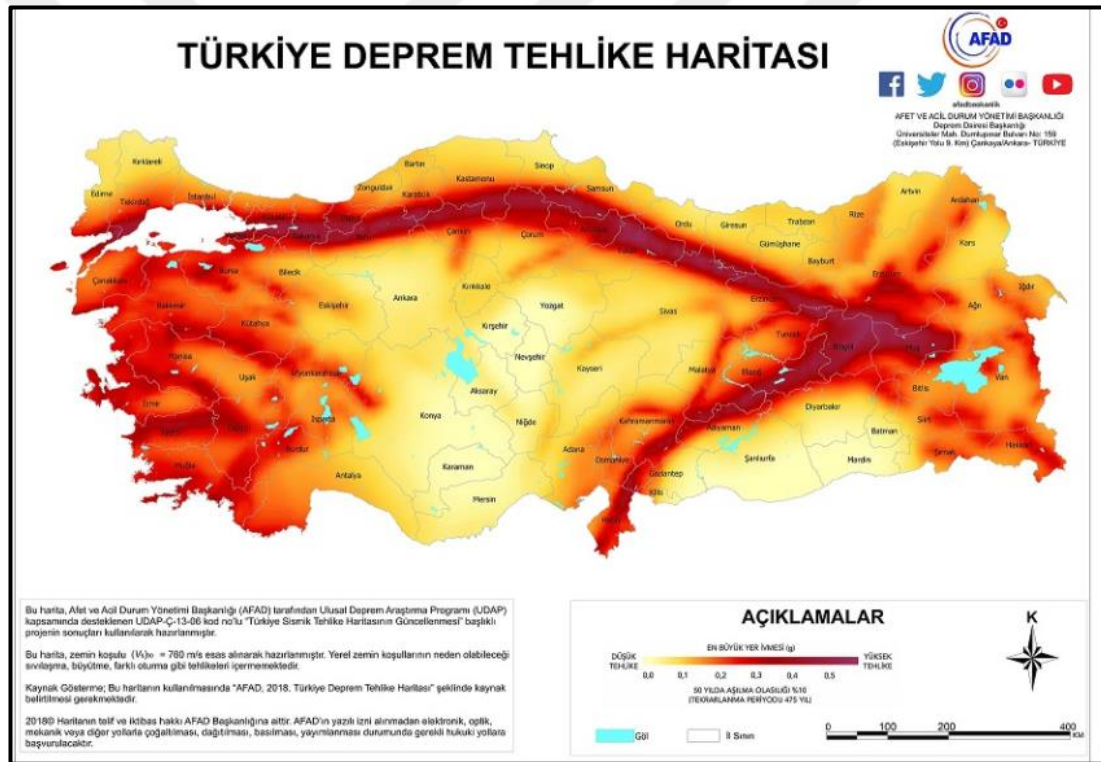
Şekil 2.5. Antalya kıyı platoları (Dipova ve Yıldırım 2005)

2.1.4. Tektonik

Üst Kampaniyen-Maastrichtiyen’de okyanus kabuğunun kıtasal kabuğa bindirmesine bağlı olarak bir araya gelmiş olan Antalya naplar, Daniyen’de Beydağları otoktonunun doğu ve kuzeydoğusuna, Anamas-Akseki otoktonunun güneyine yerleşmişlerdir. Batı Toroslar’daki Langiyen yatay hareketlerinden de etkilenen Antalya Körfezi kuzeyinde (Şenel vd., 1992, 1996), Tortoniyen sonlarında (Üst Tortoniyen?) D-KD ile B-GB doğrultusunda gelişen sıkışma rejimine (Akay, 1988) bağlı olarak Aksu bindirmesi (Aksu fazı, Poisson, 1977) gerçekleşmiştir. Bu itilmeye bağlı olarak da Karpuzçay formasyonu kıvrımlanmıştır. Pliyosen’de veya Pliyosen sonunda bölgede büyük çapta normal faylanmalar gelişmiştir.

2.1.5. Depremsellik

Türkiye Deprem Bölgeleri haritasına göre inceleme alanı 2. derece deprem bölgesinde ilerlemektedir (Şekil 2.6).

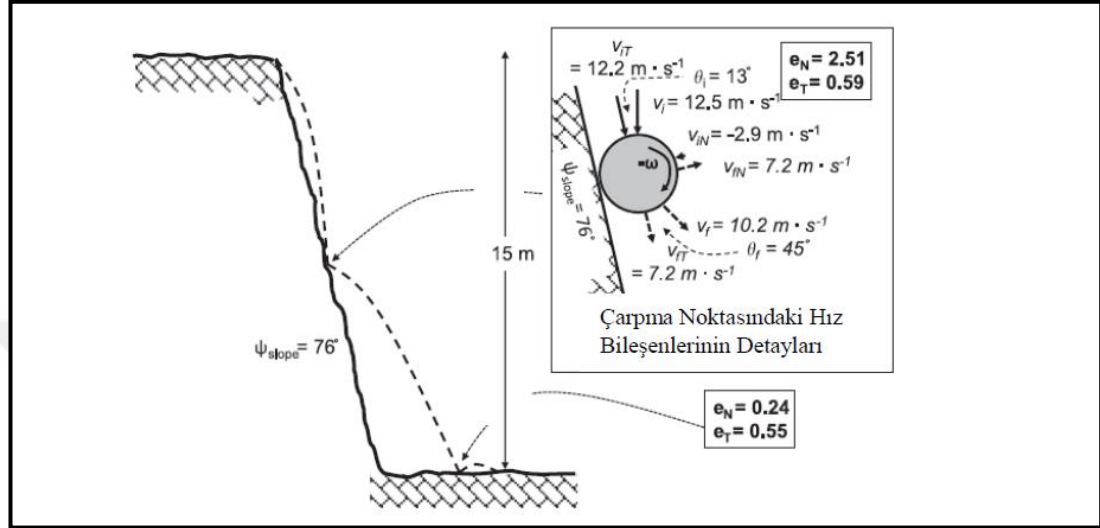


Şekil 2.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD 2019)

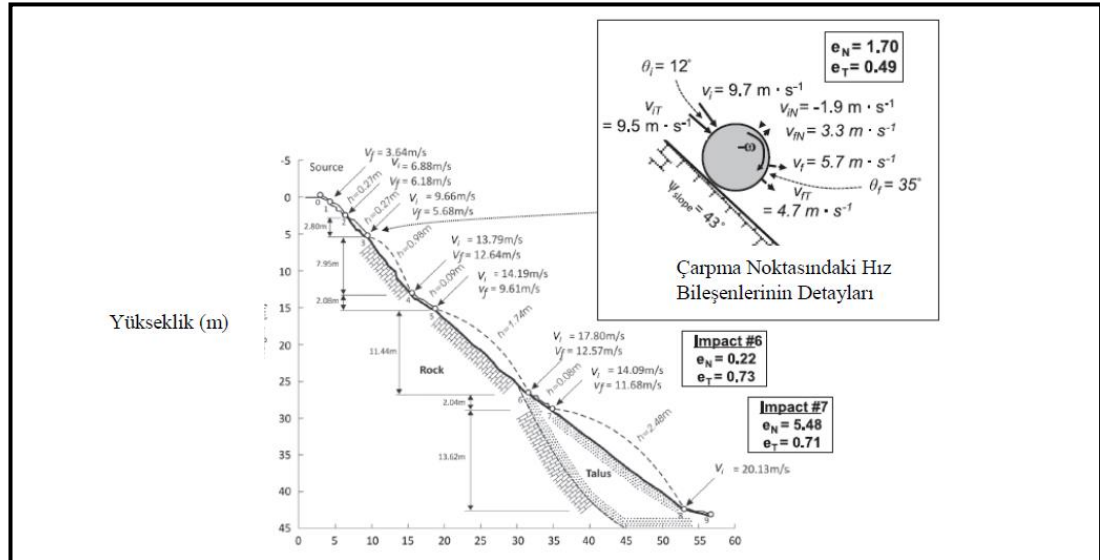
2.2. Literatür Çalışması

Wyllie D.C. (1996) yapmış olduğu çalışmada kaya düşmesinin nasıl bir yol izlediğini belirlemek için birtakım araştırmalar yapmıştır. Yapmış olduğu araştırmalarda farklı bölgelerde yapılmış olan arazi deneylerini inceleyerek kaya düşmesini modellemeye çalışmıştır. Şekil 2.7’de Oregon’da yapılmış olan arazi deneylerinin modellemesine ait çalışma gösterilirken Şekil 2.8’de Japonya’da yapılmış olan arazi deneylerinde kaya blokların izlemiş olduğu yolun modellemesi gösterilmiştir. Her iki

şekil için de hız bileşenleri detaylı bir şekilde belirtilmiştir. Aynı zamanda araştırmacı tarafından topoğrafik okumalardan faydalanarak kaya bloğun davranışı net bir şekilde ortaya konulmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak Wyllie (1996), pürüzlü ve pürüzsüz eğimli yüzeylerde, dönme ve yuvarlanma için çarpma mekanizmasının teorisi çarpma durumuna, çarpma anındaki hız bileşenlerine ve sürtünme ile sıçrama katsayısına bağlı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 2.7. Oregon test sahasındaki kaya bloğun düşerken izlediği yolun tipik gösterimi (Wyllie 1996)



Şekil 2.8. Japonya'da yapılan kaya düşmesi deneyleri sonucu elde edilen verilere göre belirlenen düşme yolu (Wyllie 1996)

2.2.1. Önceki çalışmalar

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeolojik verilerin sağlanmasına ilişkin literatür derlemesi yapılmıştır. Bu kapsamda çalışma alanında ve bölgede yapılmış olan tezler, makaleler ve raporlar incelenmiştir.

Koşun, Sarıgül ve Varol (2005), “Antalya Tufalarının Litofasiyes Özellikleri” adlı çalışmada coğrafi bilgi sistemlerini kullanarak Antalya İli sınırları içerisinde üç ana teras belirlemişler ve çalışma sonucunda, fitoherm çatıtaşı fasiyesi, fitoherm bağlamtaşı fasiyesi, mikritik tufa fasiyesi, fitoklastik tufa fasiyesi, onkoidal tufa fasiyesi, intraklastik tufa fasiyesi, mikrodetritik tufa fasiyesi, eski topraklar, pizolitik tufa fasiyesi (kanal ve havuz tipi) ve intraformasyonel konglomera fasiyesleri olarak on adet litofasiyes tanımlamışlardır.

Dipova N. (2010) “Boğaçay (Antalya) Kıyı Ovası’nın Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri” adlı çalışmada, Boğaçay (Antalya) kıyı ovasında kentleşme açısından dikkate alınması gereken mühendislik jeolojisi konuları irdelenmiştir. Ovanın jeolojik yapısı ortaya çıkarılmış, jeolojik birimlerin mühendislik özellikleri tanımlanmış, ovada kentleşmeyi etkileyebilecek doğal etkenler belirlenmiş, kentleşme faaliyetlerinin doğal yapıya uygunluğu irdelenmiş ve arazi kullanımına yönelik çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Dipova N. (2010), “Lagün Kökenli Kil-Silt Zeminde Sıkışabilirlik Özelliklerinin Regresyon ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Belirlenmesi” adlı çalışmalarında, Hurma ve Sarısu (Antalya) bölgelerindeki mavi ve yumuşak killerin sıkışabilirlik özellikleri arazi ve laboratuvar deneyleri ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, sıkışabilirlik parametrelerinin belirlenmesinde, yapay sinir ağları modelinin tüm analizler içinde ölçülen değerlere en yakın tahminlerde bulunan yöntem olduğu görülmüştür.

Dipova N., ve Cangir B. (2011), “Antalya İli Yerleşim Alanının Depremselliğinin Araştırılması” adlı çalışmada Antalya imar alanında tüm araziye temsil edecek düzeyde zemin verileri elde edildiğinde, zemin büyütme ve sıvılaşma potansiyeli haritaları hazırlanması ve Antalya’da mevcut yapıların depreme karşı dayanıklılıklarının incelenmesine dönük bir çalışma başlatılmadan önce, zeminlerin depremsellik davranışları ile ilgili tüm bilgilerin bir mikro bölgelendirme çalışması halinde tamamlanmış olması gerektiğini vurgulamıştır.

2.3. Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları

Tel ağ sistemleri, bariyerler ve tutucular olmak üzere üç çeşittir.

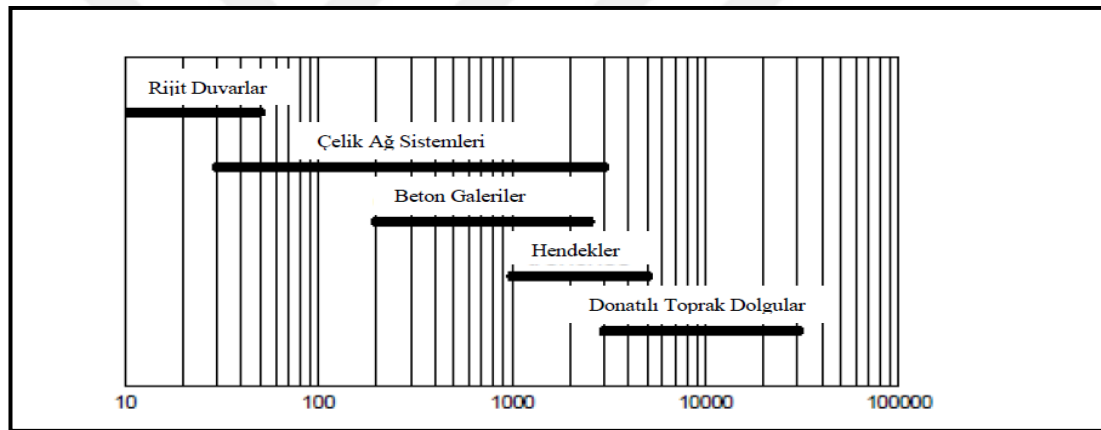
Tel ağ sistemleri; kaplama ve ankastre olmak üzere farklı iki şekilde kullanılır. Bu iki ağ sistemi yalnızca düşük çarpma enerjilerine karşı koyabilirler.

Bariyerler; toprak dolgu setler, beton bariyerler, yapısal duvarlar, esnek bariyerler ve zayıflatıcılar olmak üzere beşe ayrılırlar. Toprak dolgu setler yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilen önleme yapılarındandır. Özellikle de donatılı toprak dolgu setler önleme yapıları arasında en yüksek çarpma enerjisine karşı koyabilen bariyerlerdir.

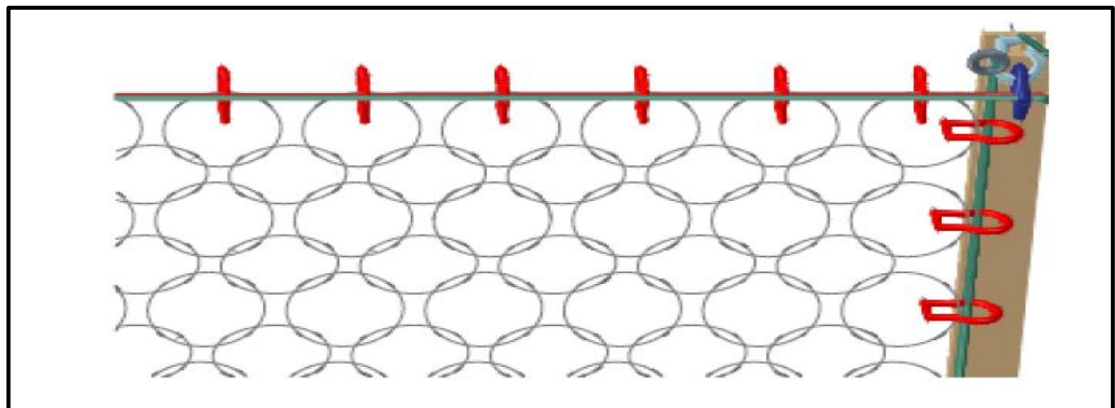
Tutucular; hendekler ve hibrit hendekler olarak ikiye ayrılırlar. Hibrit hendekler, bariyerle hendeğin birlikte kullanılması ile oluşurlar. Örneğin bir toprak dolgu set önüne hendek açılması durumunda meydana gelen sistem hibrit hendek olarak adlandırılır. Çizelge 2.1’de kaya düşmelerine karşı önleme yapılarını dezavantajları ile birlikte göstermektedir.

Almanya kaya düşmesi önleme yapıları üzerindeki yüklemeler isimli standardında, önleme yapıları ve karşı koyabilecekleri çarpma enerjilerini belirtmişlerdir. Karşı konulan enerji düzeyleri Şekil 2.9’da gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere donatılı toprak dolgu setler en yüksek çarpma enerjilerine karşı koyabilen önleme yapılarıdır.

Escallon vd. (2014), çalışmalarında kaya düşmelerini önlemek için kullanılan bariyerlerin tasarım parametrelerini belirlemek için bir formülasyon geliştirmişlerdir. Araştırmacılar geliştirdikleri bu formülasyonu sonlu elemanlar metodu kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırmış ve sonuçların birbiri ile uyumlu olduklarını tespit etmişlerdir. Sonuçlar arasındaki uyumun sadece kuvvet değil deformasyon bazında da oldukça iyi derecede olduğunu söylemişlerdir (Şekil 2.10).



Şekil 2.9. Enerji kapasitesi (kJ) Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları (Grassl H. 2002)



Şekil 2.10. Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi (Escallon vd. 2014)

Çizelge 2.1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları Andrew, R. D. vd. (2011)

Önleme Yapısı	Tanımı/Amacı	Kısıtlamalar
Tel Ağ Sistemleri		
Kaplama Ağlar	Eğimli bir arazi yüzeyine aşınmayı yavaşlatmak, düşen kayaların kontrolünü sağlamak ve onları bir toplama alanı içinde tutmak için kaplanmış altıgen tel örgü, kablo şeklinde ağlar, ya da yüksek çekme dayanımlı çelik hasır.	Bir toplama alanı gerektirir. Bağlantı noktaları kar gibi yüklerden zarar görebilir. Çapı 1,5 metreden küçük kayaların düşmesi ihtimali olan alanlar için kullanılır.
Ankastre ağlar	Yerinde tutturulmuş ağlar veya örgüler. Yamaçtaki kayalar ve toprağı tutmak amacıyla, aktif tutma kuvveti uygulamak için kullanılır.	Birikmiş kaya cepleri oluşturabilir. Temizlemesi zor olabilir.
Bariyerler		
Toprak Bariyerler	Doğal zemin ve kayalardan veya mekanik olarak stabilize edilmiş dolgudan inşa edilen bariyerlerdir. Etkinliğini arttırmak için bir toplama alanının önüne inşa edilirler. Özellikle MSE duvarlar daha büyük çarpma enerjilerine ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler. Kolay onarılabilirler ve maliyetleri düşüktür.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek setler geniş taban alanı gerektirirler.
Beton Bariyerler	Düşük çarpma enerjilerinden korunmayı sağlarlar. Kolay ve hızlı inşa edilebilir ve ekonomiktirler.	Yüksek çarpma enerjilerinde rijitliğin yüksek olması nedeniyle çatlaklar ya da kırıklar oluşabilir.
Yapısal Duvarlar	Rijit bariyerler düşen kayaları durdurmak ve belirli bir alanda toplamak için kullanılırlar. Yüksek kinetik enerjili ve tekrarlı çarpmalara karşı koyabilirler.	Biriken kaya bloklarını toplamak için düşen kayaları toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir. Çok yüksek enerjili çarpmalar karşısında büyük hasarlar olma ihtimali yüksektir.
Esnek Bariyerler	Dayanımı ve enerji absorbe kapasitesi yüksek tel örgülerden yapılan esnek bariyerler çelik direkler ya da ankrajlı iper gibi durdurucularla desteklenebilirler.	Çarpma sırasında bariyerler tarafından yönü değişen kayalar için boşluklar gerektirir. Periyodik olarak temizlenmelidir. Yüksek enerjili çarpmalarda ağır hasarlar meydana gelir ve imalatı pahalıdır.
Zayıflatıcılar	Esnek bariyerlere benzer bir tel örgü sistemine sahiptirler. Düşen kayaların hareketine yavaş bir şekilde izin verilir ve bir toplama alanına yönlendirilir. Bakım onarım maliyeti düşüktür.	Bir toplama alanı ve bu alanın periyodik olarak bakımı gerekir.
Tutucular		
Hendekler / Hibrit Hendekler	Eğim boyunca belirli şekillerde yapılmış önleme yapılarıdır. Estetik olarak en avantajlı koruma yapılarıdır. Hibrit hendekler bariyer ve hendeklerin birleşiminden oluşurlar.	Pürüzlü ve dik yamaçlar büyük toplama alanları gerektirirler. Toplama alanı periyodik olarak temizlenmelidir

2.4. Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması

ABD'deki Tennessee Ulaşım Dairesi tarafından “Kaya Düşmesi Tehlike Yönetimi Sisteminin” (Rose 2005) bir parçası olarak geliştirilen “Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması” adlı sistemin Türkiye’de değerlendirmesi ile ilgilidir.

Karayollarındaki şevlerde meydana gelen duraysızlıklar önemli bir derecede can ve mal kaybına sebep olabilmektedir. Özellikle dağlık bölgelerde kara yolu ve tren yol yapımı çalışmalarında karşılaşılan zorluklardan ilgili mühendislerin (jeoloji mühendisi ve jeoteknik mühendisi) çalışmalar yapmasına sebep olmuştur. Bu çalışmaların zorlukları güzergâh boyunca yer alan her bir şev için duraylılığın değerlendirilip yeterli ve verimli bilginin elde edilmesinin güzergahın uzunluğundan dolayı zor olmasıdır. Sonuç olarak,

bir karayolu çalışmasında yol yarmalarından hangilerinin can ve mal güvenliği açısından risk oluşturacağını tespit edip, yapılan tespit sonunda gerekli çalışmalarına devam edilmesini sağlayan sistem ihtiyacı duyulmuştur. Karayollarında çalışan mühendislerin çalışmalarda kullandıkları birçok sistem olmasına rağmen bunların birçoğu büyük ölçekli projeler için teknik açıdan zahmetli ve pratik değildir. Kaya Kalite Göstergesi (RQD) Sınıflaması ve Kaya Kütle Kalitesi (Q) şevin teknik açıdan çalışılmasını ve sondaj yapılmasını gerektiren örnekler olarak sayılabilir (Waltham 1994). Kaya düşmesi tehlikelerine karşı ABD'nin farklı eyaletlerindeki farklı ulaşım müdürlükleri, Kanada, Avustralya ve diğer benzer yerdeki araştırmacılar gözlem odaklı ve kolay bir şekilde hesaplamalar ile uygulanabilen sınıflandırma programları üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmaların sonucunda, tehlike yaratabilecek şevleri en kısa sürede ve en az masraf ile tespit edilip sınıflandırılmasını sağlayan bir "Kaya Tehlike Sınıflandırma Sistemi (RHRS)" geliştirilmiştir (Szwilski 2002).

Araştırmacılar, bu sistem üzerinde ulaşım yerlerinde karşılaşılmış olan farklı durumlara göre değişiklikler yapmış ve böylelikle önemli gelişmeler kaydetmişlerdir. Ayrıca bu sistemin kaya şevlerinde ileriye yönelik denetimler için de önemli bir araç olacağı düşünülmektedir. Bu sistemin kullanılmasındaki en önemli husus, iyileştirme çalışmaları planlanırken kaya düşme açısından en yüksek potansiyelli kaya şevlerinin belirlenebilmesi ve bu yüksek potansiyelli şevlere öncelik tanınmış olmasıdır (Rose 2005).

Kaya kütlelerinden ayrılan kaya bloklarının serbest düşme, yuvarlanma, sıçrama veya kayma hareketleri kaya düşmesi olarak ifade edilir (Ritchie 1963). Yol yarmalarında meydana gelmiş olan kaya düşmeleri sonucu yola gelen kayalar sürücüler için tehlike oluşturmaktadır. Kaya düşmesi şev duraysızlığı sınıflaması için Varnes (1978) tarafından önerilen ve günümüzde en yaygın olarak kullanılan sınıflama içinde yer almaktadır. Kaya düşmesi ve kaya kayması orijinal (Varnes 1978) ve güncellenmiş (Cruden ve Varnes 1996) sınıflama sistemlerinde heyelan türleri olarak yer almakla beraber; terim olarak "kaya" malzemenin türünü, "düşme ya da kayma" ise hareketin türünü ifade etmektedir.

İşlevsellik bakımından eyalet ulaştırma acentaları ve Federal Karayolları Yönetimi (Federal Highways Administration-FHWA) karayollarını etkileyen ve kaya şevlerinde gelişen duraysızlıkları ifade etmek için daha basit bir terminoloji benimsemişler ve kaya düşmesi terimini kullanmışlardır. Bu kullanım farklı eyaletler tarafından uygulanan kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemlerinde de süreklilik kazanıp bu eyaletlerin bazıları Oregon (Pierson 1992); Utah (Pack ve Boie 2002); New York (Hadjin 2002); Washington (Ho ve Norton 1991); Tennessee (Bateman 2002; Bellamy vd. 2003; Vandewater vd. 2005)'dir.

Yapılan birçok araştırma şev sorunlarının çözüm ve iyileştirmeleri konu almaktadır. Halbuki, şehirler arası ulaşım güzergahlarında karşılaşılmaması mümkün olan şev hareketleri genellikle 2.derece olarak önceliklendirildiği düşünülmekte ve mümkün olduğunca ekonomik çözümler doğrultusunda kısa vadeli de olsa alınan önlemler yeterli görülmektedir. Uyarı levhaları kullanılarak sürücülerin dikkati çekilmektedir.

Dağlık arazilere sahip eyaletler ya da bölgelerde ulaşım birimlerinin geçmiş yıllarda yapmış olan çalışmalar yalnızca şev duraysızlığının hemen ardından şevlerin iyileştirilmesine yönelik olmuş ve bu yaklaşım ile iyileştirme planlamasının ve buna ilişkin

olarak bir bütçenin ayrılmasının zor olduğu görülmüştür. Şevlerin yalnızca duraysızlık sonunda iyileştirme yaklaşımı, bölgedeki birçok şev için güvenlik önlemi alınamamasına ve doğrudan ya da dolaylı yollarla can ve mal kayıplarına sebebiyet vererek ulaşım birimlerinde yasal olarak zorlu süreçlere maruz kalınmasına sebep olmaktadır. Rose (2005)'e göre, ulaşım alt yapı sistemlerine ait bakımlar için planlı ve devamlılık sağlanan, tarafsız, güvenilir ve tutarlı bir sistem ile potansiyel tehlike şevlerinin iyileştirilmesi önceliklendirilmelidir.

Karayolu ulaşımı için yol güvenliği önceliklidir. Seyir halindeki araçlar için, öngörülen hız sınırları içinde bile, yol şeridi üzerindeki kaya bloklarının ne gibi tehlikeler yaratacağı bilinmemektedir. Bu bağlamda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisinin yaygın kullanımı şevlerle ilgilenen birçok araştırmacının kaya ya da toprak şevlerinde “duyarlılık, tehlike ya da risk haritaları” konularına olan ilgisini artırmıştır. Kaya düşmesi tehlikelerine yönelik öncü çalışmalardan bazıları Ritchie (1963), Goodman ve Bray (1976) örnek olarak verilebilir.

Günümüzde “Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (Rockfall Hazard Rating System-RHRS)” uluslararası literatürde önemli bir yere sahip olmuş ve son otuz yılda oldukça gelişmiştir (Wyllie 1987; Pierson 1992; Pack ve Boie 2002; Fish ve Lane 2002; Hadjin 2002; Ho ve Norton 1991; Bellamy vd. 2003; Bateman 2002; Franklin ve Senior 1987; Budetta 2004; Mc Millan ve Matheson 1998, Ko-Ko vd. 2004). Pek çok araştırmacının kaynağı Federal Karayolları Yönetimi'nin (Federal Highways Administration-FHWA) Oregon Ulaşım Müdürlüğüne sağlamış olduğu veri akışı ile 1993'de tamamlanmış ve büyük ölçüde kabul görmüş Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi'dir.

Oregon RHRS, Brawner ve Wyllie (1984) ve (Pierson ve Van Vickle 1993'den sonra) tarafından daha sonra yapılan bir çalışmanın geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır. Aşağıda birkaç farklı eyalet tarafından geliştirilmiş Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sisteminin ana hatları örnek olarak verilmiştir.

(1) Oregon Ulaşım Müdürlüğü (Oregon Department of Transportation-ODOT) 80lerin sonunda kaya düşmesi açısından potansiyel tehlike teşkil eden alanlar öncelikli olarak değerlendirilmelerinin yapılması için sayısal bir sınıflandırma sistemi geliştirmeye gerek duymuş ve ilgili konunun literatür taramasını takiben Brawner ve Wyllie (1984)'nin bir çalışması yeniden gözden geçirilmiştir. Bu çalışma, bir kaya düşmesi olayının potansiyel ve beklenen etkilerine göre şevlerin A, B, C, D ya da E gibi kategorilerde gruplandırılarak sınıflandırılması ve puanlanması yönündeki kriterleri ve yöntemleri kapsamaktadır. Bu yaklaşımın ışığında Oregon RHRS'in geliştirilmesinde çalışan mühendisler kaya düşmesiyle karşılaşılacak şevlerin ilksel olarak sınıflandırılması için benzer bir yöntem kullanmışlardır.

Wyllie (1987) tarafından gerçekleştirilen bir çalışma sonucunda ise kaya düşmesi ile karşılaşılacak sahalar için farklı kategoriler altında, üstel bir puanlama sistemine göre yapılan bir değerlendirme ve bu puanlama sisteminin oluşturmuş olduğu detaylı bir sınıflandırma geliştirilmiştir. Bu gelişme de Oregon RHRS'in esas modelini oluşturmuştur (Pierson 1992). Bu çalışmaların ışığında, bazı değişikliklerle beraber bir sınıflandırma tablosu ve üstel puanlama sistemi uyarlanmıştır.

Rose (2005)'e göre, Oregon sistemi potansiyel kaya düşmesi olayları ile karşılaşılabilir sahalara belirlenmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi gerektiğine dair getirmiş olduğu yenilikler sonucunda hızlı değerlendirme, önceliklendirme ve olay öncesi müdahaleler üzerinde odaklanılmış ileriye yönelik kaya düşmesi yönetim modellerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu sistem, şev incelemesi, ilksel sınıflandırma ve ayrıntılı sınıflandırma olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir

Şev İncelemesi: RHRS'nin en temel prensibidir. Çünkü şev incelemesi, kaya düşmesi ile karşılaşılabilir sahalara ve şevlerin sayısının kesin olarak belirlenmesini sağlar. Kaya düşmesinin bir şevde hassasiyetle belirlenmesi Oregon RHRS'ye göre oldukça önemlidir. Farklı yol yarmalarını bir grup içerisinde incelemek sağlanacak değerleri ve sonuçta oluşan veri tabanının esnekliğini azaltacaktır (Pierson 1992). Karayollarının bakımında görevli olan personelin bir yol yarmasındaki kaya düşmesi tarihçesi hakkında çalışma yapan kişiye vermiş olacağı bilgi ileriki zamanlarda meydana gelebilecek olası kaya düşmesi aktivitesi için fikir sahibi olunmasını sağlar.

İlksel Sınıflandırma: İlksel sınıflandırmada amaç gözlemler esnasında kaya düşmesinin görüldüğü yol yarmalarını üç ayrı kategoride gruplamaktır (Çizelge 2.2). Bu sınıflama kaya düşmesi potansiyelinin öznel bir değerlendirmesi şeklinde olup deneyimli bir personelin yargılarını gerektirir. Kliche (1999), ilksel sınıflandırmada anahtar faktörün düşen kayanın yola ulaşma olasılığına karşılık gelen “risk” kavramı olduğunu iddia etmiştir.

Çizelge 2.2. İlksel Oregon sınıflama sistemi (Pierson 1992)

KRİTER/ SINIF	A	B	C
Kayanın Yola Gelme Potansiyelini	Yüksek	Orta	Düşük
Kaya Düşmesi Tarihçesi	Yüksek	Orta	Düşük

A-C sınıflaması saha gözlemleri sonucunda kaya düşmesi ile karşılaşılabilir alanlarda kaya düşmesinin yaratacak olduğu tehlike durumlarının şevlere yüksekten düşüğe doğru kriter ataması şeklinde gerçekleştirilir. Bu sınıflama süresince kaya düşmesi sahasının (hendek) yola kadar gelebilecek bloklardan oluşup oluşmaması durumu en önemli kriterdir. Eğer bir kaya düşmesi gerçekleşir ve düşmüş olan kaya karayoluna ulaşırsa bu kaya düşmesi alanı A-sınıfı şevi olarak atanır. Kaya düşmesinin en tehlikeli olduğu alandan en az olduğu alana doğru yüksekten orta orana olmak üzere A'dan B'ye bir sınıf değişimi olacaktır. Herhangi bir risk taşımayan alanlara ise düşük oranı ifade eden C-sınıfı atanır.

Çalışma yapılan sahada incelenecek olan birçok şevin olması halinde ilksel sınıflandırma oldukça önemli bir adım haline gelir. Böyle bir durumda ilk olarak sadece A-sınıfı şevler için ayrıntılı sınıflandırma sistemi ile bir değerlendirme yapılır ve çalışmanın en kritik alanlarda yapılması sağlanır. B-sınıfı şevler, zaman ve bütçe uygun

olduğu zamanlarda değerlendirmeye alınmalıdırlar. C-sınıfı şevler ise, tehlike arz etmedikleri için dikkate alınmayarak RHRS veri tabanına dahil edilmezler (Pierson 1992).

Ayrıntılı Sınıflandırma Sistemi: Ayrıntılı sınıflandırma kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin üçüncü adımıdır ve on kategoriden oluşur (Çizelge 2.3.).

Bunlar;

1. Şev yüksekliği,
2. Hendek etkinliği,
3. Araç risk ortalaması,
4. Blok algılama mesafesi yüzdesi,
5. Banketle beraber yol genişliği
6. Jeolojik karakter,
7. Blok boyutu,
8. Kaya düşmesi miktarı,
9. İklim ve şevdeki su durumu,
10. Kaya düşme tarihçesi

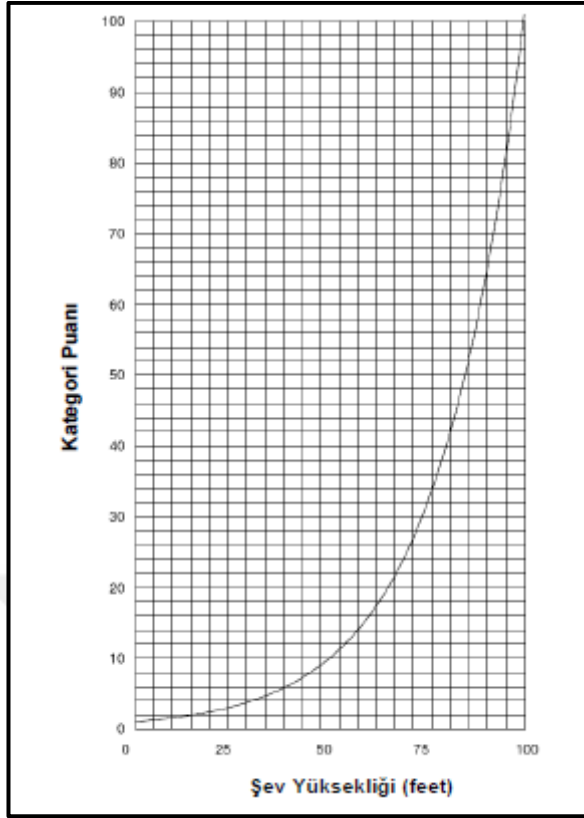
Bu parametreler kaya şevlerini en azdan en yüksek derecede tehlikeli olana göre sayısal olarak ayırt etmek için değerlendirilir, puanlandırılır ve toplanır. Bu sınıflandırma sistemine göre, kaya düşme oluşum riski arttıkça şevlere daha yüksek puanlar atanır.

Çizelge 2.3'te, "sınıflama kriteri ve puanlama" altında her kategoriye bağlı olarak, artan risk unsurlarına karşılık gelen puanlamalar verilmiştir. Bu puanlar soldan sağa doğru üstel olarak 3'ten 81'e kadar bir artış gösterir. Üstel bir sistem puanlarda hızlı bir artış sağlar ve böylelikle daha tehlike arz eden sahalar ayırt edilmiş olur (Pierson 1992).

RHRS her kategori için bir puanlama grafiğinden oluşur. Pierson (1992)'ye göre $y=3^x$ fonksiyonundan oluşturulan grafikteki eğri (Şekil 2.11) her kategori için kullanılan üstel puanlama sistemini tanımlar. Kategori puanları benzer eğrilerle aşağıda verilen formüllerde (Çizelge 2.4) x'i temsil eden değerlerle hesaplanabilir. Bu grafik kategori değerlendirmesini uygun puanlarla ilişkilendirir. Hendek etkinliği gibi öznel kategorilerde bile tanımlanan kriterler arasında kalan durumlara puan atamada bu grafik oldukça kullanışlıdır. Ölçülebilen kategoriler için tam puanlamalar $y=3^x$ fonksiyonundaki "x" değerinin hesaplanması ile yapılabilir. Üstel değerlere karşılık gelen formüller Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Oregon kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin puanlama tablosu (Pierson 1992)

KATEGORİ			SINIFLAMA KRİTERİ ve PUANLAMA			
			3 PUAN	9 PUAN	27 PUAN	81 PUAN
ŞEV YÜKSEKLİĞİ			25 ft	50 ft	75 ft	100 ft
HENDEK ETKİNLİĞİ			İyi	Orta	Sınırlı	Hendeksiz
ARAÇ RİSK ORTALAMASI			%25	%50	%75	%100
BLOK ALGILAMA MESAFESİ YÜZDESİ (GÖRÜŞ UZAKLIĞI)			Uygun saha uzaklığı, %100 düşük tasarım değeri	Orta saha uzaklığı, %80 düşük tasarım değeri	Sınırlı saha uzaklığı, %80 düşük tasarım değeri	Çok sınırlı saha uzaklığı, %40 düşük tasarım değeri
BANKETLE BERABER YOL GENİŞLİĞİ			44 ft	36 ft	28ft	20ft
JEOLOJİK KARAKTER	DURUM 1	YAPISAL DURUM	Süreksiz eklemler, uygun yönelimli	Süreksiz eklemler, ressal yönelimler	Süreksiz eklemler, olumsuz yönelimli	Sürekli eklemler, olumsuz yönelimli
		KAYAÇ İÇSEL SÜRTÜNMESİ	Pürüzlü, düzensiz	Dalgalı	Düzlemsel	Kil Dolgulu kaygan
JEOLOJİK KARAKTER	DURUM 2	YAPISAL DURUM	Birkaç farklı erozyon oluşumları	Yer yer izlenen erozyonel oluşumlar	Yoğun erozyonel oluşumlar	Başlıca erozyonel oluşumlar
		EROZYON ORANINDAKİ FARK	Az fark	Orta fark	Büyük fark	Aşırı fark
BLOK BOYUTU			1 ft	2 ft	3 ft	4 ft
KAYA DÜŞMESİ MİKTARI/ OLAY			3 yd ³	6 yd ³	9 yd ³	12 yd ³
İKLİM ve ŞEVDEKİ SU DURUMU			Düşük- orta- yağış; donma yok, şevde su yok	Orta yağış ya da kısa donma süreci, şevde kısmi ıslaklık	Yüksek yağış ya da uzun dönme süreci, şevde sürekli ıslaklık	Yüksek yağış ve uzun dönme süreci ya da şevde sürekli ıslaklık
KAYA DÜŞME TARİHÇESİ			Birkaç kaya düşmesi	Yer yer kaya düşmeleri	Çok sayıda kaya düşmesi	Sürekli kaya düşmeleri



Şekil 2.11. Örnek puanlama grafiği (Pierson 1992)

Çizelge 2.4. Üstel formüller (Pierson 1992)

Şev Yüksekliği	$X = \text{şev yüksekliği (ft)} / 25$
Araç Risk Ortalaması	$X = \% \text{zaman} / 25$
Görüş Uzaklığı	$X = (120 - \% \text{görüş uzaklığı algılama}) / 20$
Yol Genişliği	$X = (52 - \text{yol genişliği (ft)}) / 8$
Blok Boyutu	$X = \text{blok boyutu (ft)}$
Hacim	$X = \text{hacim (ft}^3) / 3$

Bu araştırmada uygulanacak yöntem (kaya düşmesi tehlike sınıflandırması), ABD'nin Karayolları kurumu (National Highway Institute, NHI) tarafından 1993'te yürütülen çalışmaların bir parçasıdır (NHI 1993). Bu sistemi temel alarak yine ABD'nin Oregon, Arizona, Kaliforniya, Idaho, Massachusetts, New Hampshire, New Mexico, Ohio, Tennessee, Washington ve Wyoming eyaletleri kendi sınıflandırma sistemlerini geliştirmişlerdir ve hala sistem üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

(2) Washington Eyaleti Ulaşım Müdürlüğü (WASHDOT) tarafından 1993 yılında duraysız şevlere yönelik önleyici tedbirler yaklaşımının (Ho ve Norton 1991) bir parçası olan “Duraysız şev Yönetimi Sistemi (USMS)” geliştirilmiştir. USMS on bir parametreden oluşmaktadır:

1. Zemin/kaya türü,
2. Ortalama günlük trafik,
3. Görüş uzaklığı algılama,
4. Duraysızlığın yola etkisi,
5. Yol empedansı,
6. Sraç risk ortalaması,
7. Yol kaplama hasarı,
8. Duraysızlık sıklığı,
9. Yıllık bakım masrafları,
10. Ekonomik faktör,
11. Son on yıldaki kazaların sayısı (Lowell ve Morin 2000).

USMS bu on bir risk faktörüne Oregon sisteminde de olduğu gibi üstel olarak artan 3, 9, 27 ve 81 puanlarını atar.

(3) Oregon RHRS'yi Ontario eyaleti için uyarlarken sisteme beş yeni faktör eklenmiş ve var olanlar dört faktör altında yeniden tanımlanmıştır. Bu faktörler,

1. Duraysız kaya miktarı,
2. Duraysızlık derecesi,
3. Yola ulaşım,
4. Önem derecesi şeklinde olup “Birincil Tarama” bu dört faktöre karşılık gelen soruları cevaplandırarak yapılır (Franklin ve Senior 1997).

“F1 Magnitude” duraysız olan kayanın miktarı,

“F2 Duraysızlık” ne kadar zamanda ve ne sıklıkta kayanın düşeceği,

“F3 Reach” kayanın yola gelme olasılığı ve yolun ne kadarının düşen kayalar tarafından bloke edildiği,

“F4 Consequences” yoldaki tıkanıklığın sonuçlarının ne kadar ciddi olacağı şeklinde tanımlanmaktadır.

Bu faktörler 0-9 arası bir ölçekte puanlandırılır ve alınmış olunan puanların ortalaması alınarak yüzde cinsinden ifade edilir (Franklin ve Senior 1997). Sonuç olarak kaya düşmesi karşısında detaylı sınıflandırma gerektiren “A-sınıfı” sahaların tespit edilmesi sağlanmış olur. RHRON sisteminin basamakları aşağıda belirtilmiştir:

a) Birincil Tarama

b) Detaylı Araştırma

- i. Potansiyel duraysızlık mekanizmalarının belirlenmesi,
- ii. Detaylı bir RHRON tehlike sınıflandırması,
- iii. İyileştirme yöntemleri üzerine ilk tavsiyeler,
- iv. Tercih edilen iyileştirme yöntemleri için ilk bütçe tahminleri,
- v. Tehlikeli durumların fotoğraf ya da video görüntüleri ile belgelendirilmesi

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Arazi çalışmalarında bölgenin 1/25000 ölçekli topoğrafik haritaları ve 1/1000 ölçekli haritaları kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında, jeolog pusulası, şerit metre, dijital fotoğraf makinası kullanılmıştır. Büro çalışmalarında bilgisayar ve ilgili paket bilgisayar programları kullanılmıştır.

Arazi çalışmalarına başlamadan önce güzergâh jeolojisi hakkında bilgi edinmek amacıyla gerekli görülen haritalar ve veriler ilgili kurumlardan temin edilerek ön çalışma yapılacaktır.

3.2. Metot

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada tamamlanmıştır.

Bu bölümde çalışma kapsamında değerlendirilecek olan Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (Cain 2004) prensipleri anlatılmaktadır.

3.2.1. Tennessee kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi

3.2.1.1. İlksel Sınıflandırma

Kaya şevlerine yönelik olan ilksel sınıflandırma tamamen gözleme dayalıdır. Bölgede yapılan ön saha incelemelerinde çalışılacak olan 8 adet lokasyon tespit edilmiş olup bu 8 şev üzerinde ilksel sınıflandırma yapılmasına karar verilmiştir. Bölgede zemin şevlerine de rastlanılmış olup bu şevlerin sistem açısından tehlikeli sayılabilecek kategoriler içerisinde yer almadığı ön görüldüğü için dikkate alınılmamışlardır. Ön saha incelemeleri sırasında tespit edilen şevlerin aynı zamanda birincil sınıflandırılmaları da yapılmış olup güvenlik önlemlerinin de alınması ile bu tarz çalışmalarda tehlike arz eden şevlerin genellikle dar hendekli ve banketsiz yollarda bulunması nedeniyle önem kazanmaktadır (Cain 2004). Şevlerin genel tehlike değerlendirmeleri yapılırken NHI (1993) sistemindeki gibi üç kategori şeklinde ilk sınıflandırmaları yapılır. Bu üç kategori;

- 1- A-Sınıfı Şevi (Yüksek)
- 2- B-Sınıfı Şevi (orta)
- 3- C-Sınıfı Şevi (Düşük) şeklindedir (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. İlksel Oregon sınıflandırma sistemi (Pierson 1992)

KRİTER / SINIF	A	B	C
Kayanın Yola Gelme Potansiyelinin Tahmini	YÜKSEK	ORTA	DÜŞÜK
Kaya Düşme Tarihçesi	YÜKSEK	ORTA	DÜŞÜK

Cain (2004)'e göre, bu kategorilerden sahada tanımlanması en kolay olan C-sınıfı şevleridir. C-sınıfı şevlerinin çoğunun yüksekliği 3 m'den az ve genellikle yatay tabakalardan oluşmakta olup altlarında en az 1.5 m genişliğinde hendekler bulunmaktadır. Wyllie ve Norrosh (1996) ayrıca "R-Sınıfı Şevler" olarak bir kategori daha tanımlamışlar ve iyileştirilmiş şevler bu kategoride değerlendirilmektedir. R-sınıfı şevler, kaya düşmelerine için gerekli mühendislik önlemleri alınmış şevler olarak da tanımlanabilirler.

Herhangi bir şevde yapılan ilksel sınıflandırma sonucunda şevin A-sınıfı olduğuna karar verildiği takdirde, söz konusu şevde ayrıntılı çalışma ilk tespit aşamasında ya da daha sonraki bir arazi çalışmasında ayrıntılı sınıflandırması yapılır. B-sınıfı olarak tanımlanan şevler veri tabanına kaydedilir fakat bu şevler için detaylı sınıflandırma yapılmasına gerek duyulmamaktadır. C-sınıfı şevler ise dikkate alınmamaktadır (Cain 2004).

Öncelikli sınıflandırma yapılırken aşağıda belirtilen sorulara verilen cevaplar şevin hangi sınıfta olduğunu belirlemede oldukça önemlidir:

- 1- Havza kayaç yakalamada etkili mi?
- 2- Geçmişte yola kayaç düşme hikayesi var mı? (Böyle olaylar yolda iz bırakır.)

Bu iki soruya "EVET" cevabı alınıyorsa şev A-sınıfı şev kategorisinde değerlendirilir. Kesin sonuç alınabilmesi için yardımcı sorular da vardır:

- a) Yamaç karakteristiği kayaç düşmesine yatkın mı? Havza taşlarla dolu mu?
- b) Yerli blokların aralığı ve potansiyel kaya düşme hacmi nedir?

Tüm bu sorulara ek olarak ADT (Günlük trafik yoğunluğu) ve DSD (Blok Algılama Mesafe Yüzdesi)'ye bakılır. Şüphede kalınan durumda A-sınıfı şeve karar verilmelidir. Ön değerlendirmeler sonucu A-sınıfı şevler için detaylı sınıflandırma aşamasına geçilmesi gerekmektedir (Cain 2004).

Çalışma alanında yer alan "A ve B" sınıfına ait şev örnekleri aşağıda verilmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2).



Şekil 3.1. D-400 karayoluna ait 3. bölgede yer alan A-sınıfı şevinin görünümü



Şekil 3.2. D-400 karayoluna ait 9. bölgede yer alan B-sınıfı şevinin görünümü

3.2.2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmalarında şev yüksekliği, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, su sızıntıları, trafik durumu, araç risk ortalaması, kaya düşme tarihçesi vb. parametrelerin puanları belirlenip, sınıflandırması yapılacaktır (Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3).

Uygulanacak yöntem şu adımlarla gerçekleştirilecektir:

Literatür Çalışması: Güzergâh (yer seçimi) konusunda ön çalışma yapılacak ve proje boyunca araştırmalara devam edilecektir.

Ön Çalışma: Yer seçimi konusunda arazi incelemesi yapılacak ve sorun yaratabilecek kaya şevleri belirlenecektir.

Saha Çalışmaları: Saha çalışmaları iki aşamada gerçekleştirilecektir.

İlk aşama olarak şevlerin tehlike durumlarına göre sınıflandırması yapıp A, B ve C gruplarına ayrılacaktır.

İkinci aşama ayrıntılı çalışmalar olup aşağıda belirtildiği gibidir:

1- Saha ve Yol Geometrisi

- Şev Yüksekliği
- Şev Önü Hendek Etkinliği
- Araç Risk Ortalaması (AVR)
- Yol Genişliği
- Blok Algılama Mesafe Yüzdesi (%DSD)
- Kaya Düşme Tarihçesi
- Su Durumu

2- Jeolojik Değerlendirmeler

Çizelge 3.2. Tennessee puanlama formunun ön tarafı (CAIN 2004)

TDTOT RHRS FIELD SHEET v1.0				
I. TRIMS / Giriş Bilgileri		Tarih _____		
Dosya No.				
Eyalet No.	Gözlemci			
Vol, Güzergah	Hız Limiti			
Beg. L. M.	Muntika			
Ref C/L	ADT			
Ülke	Enlem			
Bölge	Boylam			
1. Yamaç Yüksekliği _____				
2. AVR _____		Toplam ☐		
3. %DSD _____		Puan _____		
4. Yol Genişliği _____				
5. Sıçrama _____				
Hendeği _____				
6. Kaya Düşme Hikayesi _____				
7. Su _____				
8. Jeolojik Karakter _____				
7. Yamaçta Suyun Olması				
(birini seç)	yok 3	sızıntı 9	akma 27	fişkırma 81
Notlar:				
II. Mevki ve Yol Geometrisi				
Yamaç Yüksekliği (ft) ☐ Tahmini _____		2. Ortalama Araç Riski AVR = $\frac{ADT \text{ (araç / gün)} * (\text{Kaya Şevinin Uzunluğu} / 5280)}{(24\text{hpđ}*Hız Limiti (mph))}$		
alpha (a) _____	beta (b) _____ Alet _____	Yamaç genişliği _____ ft	Hız Limiti _____ mph	AVR _____ %
uzunluk (x) _____ ft	Yüksekliği (H.L.) _____ ft	3. % Karar Verme Mesafesi (%DSC)		4. Yol Genişliği (ft.) _____
Yamaç Yüksekliği = $\frac{\sin a * \sin b * X}{\sin (a.b)}$ + H.I.		Brini seç ya da Hesapla Yeterli 3 Orta 9 Sınırlı 27 Çok Sınırlı 81 _____ / _____ x 100 = _____ %		
5.Sıçrama Hendeği		Etkili Havza Genişliği (ft) Fırlama Özellikleri? (evet/hayır)		
Toplama Havzası Genişliği Dizaynı(ft)		6:1 Havza Şekdi? (evet/hayır)		
Yamaç Yüksekliği (ft.)	Düşey Yamaçlar İçin Önerilen Genişlik	Tablodan Dizayn Havza Genişliği Oranı >90% 70%-90% 50%-70% <50%		
0 -40	18	Genişlik Oranı 6:1 veya Daha Büyük Havza Yamaçları 3 9 27 81		
40 -50	18	Havza Genişliği Zayıf veya Sıçrama Özelliğine Sahip 9 27 81 81		
50 -60	24	Havza Genişliği Zayıf ve Sıçrama Özelliğine Sahip 27 81 81 81		
60 - 70	28	6. Kaya Düşme Hikayesi		
70 -80	32	Ölçü Sıklık Arazi Yönetimi Puan		
80 -100	36	Az Yıldı 1 ya da daha az Yolda etkin bir işaret yok, yolda kaya yok, hendekte birkaç kaya 3		
100 - 125	36	Birkaç Yıldı 2 kez Yolda etkin işaret yok, yolda kaya yok, hendekte fazlaca kaya 9		
125 - 175	40	Çok Yıldı 3-4 kez Yolda az sayıda işaret, yolda az sayıda kaya 27		
> 175	52	Sürekli Yıldı 5'den fazla Oldukça işaret ve yolda oldukça kayaç 81		
III. Jeolojik Karakteristik (circle all that apply; modes are additive)				
Düzlemsel Kama Devrilme				
Miktar Puanı	<10% 10 - 20% 20 - 30% >30%	<10% 10-20% 20-30% >30%	<10% 10-20% 20-30% >30%	
Blok Boyutu Puanı	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	
Diklik (sarplık) Puanı	0 - 20 20 - 40 40 - 60 > 60	0 - 20 20 - 40 40 - 60 > 60	0 - 20 20 - 40 40 - 60 > 60	
Sürtünme (micro / macro) Puanı	Pürüzlü/Dalgalı Pürüzsüz/Dalgalı Pürüzlü/Düzlemsel Pürüzsüz/Düzlemsel	Pürüzlü/Dalgalı Pürüzsüz/Dalgalı Pürüzlü/Düzlemsel Pürüzsüz/Düzlemsel	Pürüzlü/Dalgalı Pürüzsüz/Dalgalı Pürüzlü/Düzlemsel Pürüzsüz/Düzlemsel	
Diferansiyel Ayrışma Sökülme				
Miktar Puanı	<10% 10 - 20% 20 - 30% >30%	Miktar Puanı	<10% 10-20% 20-30% >30%	
Blok Boyutu Puanı	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	Blok Boyutu Puanı	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	
Rölyef Puanı	< 1 ft 1-3 ft 3-6 ft > 6 ft	Blok Şekli Puanı	tabular blocky round 3 9 27	
8. Jeoloji Skoru = _____				

Çizelge 3.3. Tennessee puanlama formunun arka tarafı (CAIN 2004)

Şev Yüksekliği / AVR Puanlama Tablosu					Yol Genişliği Puanlama Tablosu				AASHTO tarafından Önerilen DSD		%DSD Puanlama Tablosu			
Yükseklik / %AVR	Puan	Yükseklik / %AVR	Puan		Genişlik / puan (m)	genişlik / puan (m)			Blok Uzaklığı Algılama	MPH	%DSD	Puan	%DSD	Puan
9	1	77	29	1	5.5	100	10.7	10	300 ft	20	36	100	61	26
10-20	2	78	31	2	5.8	93	10.9	9	375	25	37	96	62	24
21-28	3	79	32	3	6.09	81	11.3	8	450	30	38	90	63	23
29-34	4	80	34	4	6.4	71	11.6	7	525	35	39	86	64	22
35-38	5	81	35	5	6.7	62	11.9	6	600	40	40	81	65	21
39-42	6	82	37	6	7.01	54	12.2	5	675	45	41	77	66	19
43-45	7	83	38	7	7.3	47	12.5	5	750	50	42	73	67	18
46-48	8	84	40	8	7.6	41	12.8	4	875	55	43	69	68	17
46-51	9	85	42	9	7.9	36	13.1	3	1000	60	44	65	69-70	16
52-53	10	86	44	10	8.3	31	13.4	3	1015	65	45	62	71	15
54-55	11	87	46	11	8.5	27	13.7	3			46	58	72	14
56-57	12	88	48	12	8.8	24	14	2			47	55	73-74	13
58-59	13	89	50	13	9.1	21	14.3	2			48	52	75	12
60	14	90	52	14	9.5	18	14.6	2			49	49	76-77	11
61-62	15	91	55	15	9.8	16	14.9	2			50	47	80-81	9
63	16	92	57	16	10.1	14	15.2	1			51	44	82-83	8
64-65	17	93-94	60	17	10.4	12					52	42	84-85	7
66	18	95	62	18							53	40	86-88	6
67	19	96	65	19							54	38	89-92	5
68	20	97	71	20							55	36	93-97	4
69	21	98	74	21							56	34	98-103	3
70	22	99	78	22							57	32	104-112	2
71	23	100	81	23							58	30	113	1
72	24	101	85	24							59	29		
73	25	102	88	25							60	27		
74	26	103	92	26										
75	27	104	97	27										
76	28	105	100	28										

b

3.2.2.1. Saha ve yol geometrisi

1. Şev Yüksekliği

Bir şevde kaya ne kadar yüksekten düşer ise o kayanın yola ulaştığı andaki kinetik enerjisi de fazla olacağı için yüksek şevlerin tehlike göstergesi büyüktür (Cain 2004). Tennessee RHRS’de sınıflaması yapılacak olan şevin yüksekliği tehlike arz eden kesimde en yüksek noktadan itibaren ölçülür. A-sınıfı şevler, B ve C-sınıfı şevlerden daha yüksektirler. Çalışma alanı boyunca 8 adet A-sınıfı şevi tespit edilmiş ve yükseklikleri ölçülmüştür. Tennessee RHRS’yi oluşturan araştırmacılar yükseklikleri fazla olan şevlerin ölçümünde ortaya çıkarabilecek riskleri ortadan kaldırmak amacı ile lazer metre kullanmışlardır. Ulaşılması güç olan yüksek şevlerde yükseklik ölçümleri yeterli hassasiyet ile ölçülebilmektedir. Aynı zamanda mesafe, yükseklik ve açı ölçümleri içim gerekli olan değerleri doğru olarak sağlar ve tahmine dayalı hatalar ile belirsizlikleri ortadan kaldırır. Böylelikle tek ölçüm ile çabuk ve verimli sonuçların elde edilmesini sağlar. Bu çalışma sırasında DISTO D810 TOUCH marka lazer metre (Şekil 3.3) kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan DISTO D810 TOUCH marka lazer metre

Yükseklik ölçümlerinin yapılması ardından ölçülen yüksekliklere karşılık gelen tehlike değerleri Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 kullanılarak ya da (NHI, 1993) sistemi çerçevesinde geliştirilen eşitlik 3.1 ile hesaplanabilir.

$$\text{Yükseklik Puanı} = 3^x, \quad (3.1)$$

$$x = \text{Şev Yüksekliği} / H_0$$

$$H_0 (\text{referans yüksekliği}) = 7.6 \text{ m (25 ft)}$$

2. Şev Önü Hendek Etkinliği

Geniş hendeğe sahip şevlerin tasarlanması ile yol yarmalarındaki duraysızlıklar sonucu düşen kayaların yola gelme ihtimali azaltılabilir (Cain 2004). Bir şevin hangi kategoride değerlendirileceği (A-sınıfı ya da B-sınıfı) hususunda önemli bir faktördür. Örneğin, geniş hendeğe sahip şevlerin kaya düşmesi sonucu kaya tutma kapasite fazla olacağı için bu şevleri A-sınıfının dışında tutup B-sınıfı ya da C-sınıfı şevler kategorisinde değerlendirmek uygun olacaktır.

Hendek tasarımında Tennessee RHRS'nin gereklilikleri (Cain 2004);

- 1) 1.2 m yüksekliğe kadar bütün şevler için minimum 5.5 m hendek genişliği,
- 2) Daha yüksek ve dik olmayan şevler için daha geniş hendekler,
- 3) Hendek tasarımının bir parçası olan minimum 6:1 (H:V) karayolu yaklaşım şevi gereklidir.

H: Yatay mesafe

V: Dikey mesafe

Ölçülen hendek genişliği ve Tennessee RHRS hendek tasarım gerekliliklerinin kıyaslandığı hendek etkinliği puanlaması Çizelge 3.4'te verilmiştir. Tasarım genişliği yüzdesi, hendek şev açısı (6:1), topoğrafik özellikleri yapısı (sektirme özelliği) varlığı ya da yokluğu şeklindedir. Sektirme özelliği/ yapısı, şev profilinde görülen ve duraysızlık sonucu sonucu kayanın izlemiş olduğu yolu değiştirmesi ve ardından düşen kayanın yola gelme olasılığını artıran topoğrafik çıkıntılardır (Cain 2004).

Sektirme özelliğinin bulunduğu şevlerde şev hendeğinin kaya tutma kapasitesinin sektirme özelliğinin olmadığı şeve göre daha fazla olması beklenir.

Çizelge 3.4. Hendek etkinliği tablosu

ŞEV YÜKSEKLİĞİ (m)	DİK ŞEVLER İÇİN ÖNERİLEN GENİŞLİK	DİK OLMAYAN ŞEVLER İÇİN ÖNERİLEN GENİŞLİK
0-12.2	5.5	5.5
12.2- 15.2	5.5	7.3
15.2- 18.3	7.3	9.1
18.3- 21.4	8.5	10.3
21.4- 24.4	9.8	11.6
24.4- 30.5	10.9	12.8
30.5- 38.1	10.9	12.8
38.1- 53.3	12.2	14.6
>53.3	15.9	18.3

Çizelge 3.4'ün devamı

Etkin hendek genişliği? (m) Topoğrafik çıkıntılar? (evet ya da hayır) 6:1 hendek şekli (evet ya da hayır)				
Tablodan hendek genişliği tasarım yüzdesi	>%90	%70-%90	%50-%70	<%50
6:1 hendek tasarımı ya da daha büyük hendekler için puanlama	3	9	27	81
Yetersiz hendek genişliği ya da sektirme özellikleri	9	27	81	81
Yetersiz hendek genişliği ve sektirme özellikleri	27	81	81	81

3. Araç Risk Ortalaması (AVR)

Kaya düşmeleri trafik güvenliğini etkilemesinden dolayı trafik yükünün belirlenmesi açısından oldukça önemli bir parametredir. Tennessee RHRS'de araç risk ortalaması (AVR), sınıflama yapılan şevin tehlikesine maruz kalan araç (dolayısıyla insanın) riskinin bir ölçütüdür. Tehlikeli olan şevin yanından geçen aracın sıklığı ile aynı bölgede bir olayın yaşanması doğru orantılıdır. AVR eşitlik 3.2 kullanılarak hesaplanır ve yüzde olarak ifade edilir. Hesaplanan AVR ardından parametreye ait tehlike puanı Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 kullanılarak ya da PDA kullanılarak otomatik olarak bulunabilir. Bu çalışmada, 13. Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından güzergâh boyunca daha önce kurulmuş olan taşıt sayım istasyonlarındaki ölçüm sayaçlarından elde edilmiş yıl bazında Ortalama Günlük Trafik Değerleri (YOGT) ADT'ye (Annual Daily Traffic) karşılık gelen değerler olup hesaplamalarda YOGT kullanılmıştır.

$$AVR = \frac{ADT(araç/gün) * Şev Uzunluğu(km)}{24(saat/gün) * Hız Limiti (km/h)} * 100\% \quad (3.2)$$

4. Yol Genişliği

Tehlike arz eden bir kaya şevinin önünden geçen yolun genişliği, yolda karşılaşılacak herhangi bir engele karşı şoförün minimum zaman ve mesafede tepki verebilmesini sağlayabilmelidir. Dolayısıyla yol genişliğinden kaynaklanan, karayolunda oluşabilecek bir riskin sürücüler tarafından artıp artmayacağının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Yol genişliği, yolun şev önündeki en dar kesimi ve uzun eksenine dik bir şekilde ölçülür. Yol kenarında banket varsa, yol genişliği asfalt kaplamayı ve banketi; bölünmüş yollarda sadece şeve komşu olan kısım dikkate alınarak hesaplama yapılır (Cain 2004). Bu çalışmada yol genişlikleri lazer metre ile ölçülmüştür.

5. Blok Algılama Mesafe Yüzdesi (%DSD)

Cain (2004) DSD'yi sürücünün seyir halindeyken karşısına çıkabilecek olan 15 cm çapındaki engeli görebilmesi ve gerekli olan tepkiyi verebilmesi için gerekli olan maksimum mesafe olarak tanımlamıştır ve bu parametre AASHTO (1984) tarafından standartlaştırılmıştır. Hız limitine bağlı bir parametredir. Sürücünün kaya düşmesine karşı vereceği tepki için ihtiyaç duyduğu zaman azalırsa kaya düşmesinin yaratacağı tehlike artar.

Tennessee RHRS-DSD puanlamasında araştırmacıya iki seçenek sunar:

- 1) DSD uygun, orta, sınırlı, çok sınırlı şeklinde tahmin edilir,
- 2) DSD eşitlik 3.3 ile yüzde olarak hesaplanır.

$$\% \text{ DSD} = \text{DSD}_{(\text{ölçülen})} / \text{DSD}_{(\text{AASHTO})} \quad (3.3)$$

(AASHTO: Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Amerikan Derneği)

Bu çalışmada Çizelge 3.2'de verilen DSD'ye karşılık gelen puanlamalar sınıflandırılan A-sınıf şevlerin sürücünün geldiği yöne göre yol üzerinde herhangi bir kör noktada bulunup bulunmadığının gözlemlenmesi ve tahmini şeklinde yapılmıştır. Başka bir deyişle yoldaki virajların varlığına göre puanlamalara karar verilmiştir.

6. Kaya Düşme Tarihçesi

Bir şevin ne kadar tehlike taşıdığının belirlenmesi açısından elde edilen bir bilgidir. Bu bilgi;

- a) Mevcut olması halinde önceki kayıtlardan
- b) Kayıt olmaması durumunda saha gözlemleri yardımı ile belirlenebilir.

Önceki kayıtlara erişim zor olduğu için bu tür çalışmaların saha gözlemleri en uygundur ve etkin olarak kullanılan bir yol olmuştur. Cain (2004), yol üzerinde olabilecek darbe izleri ya da şev önü hendeğe tutulabilecek kaya miktarının kontrolünün yapılmasının bu bilgiyi elde etmek için anahtar faktör olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma için saha gözlemleri ve kaya düşme tarihçesi için Çizelge 3.2'de verilen puanlar kullanılarak parametreye ait puanlama yapılmıştır.

7. Su durumu

Su kriteri (Çizelge 3.2)'de duraylılığı azaltıcı yönde etkisi olmasından ötürü tehlike puanlamasında değerlendirilen bir başka parametredir. Şevdeki suyun yaratacağı etkiler aşağıdaki gibidir Cain (2004):

- a) Kayma yüzeyindeki etkin gerilimi ve dolayısıyla sürtünme dayanımını azaltıcı yönde etkisi vardır.
- b) Erozyon oranını artırarak şev malzemesinin gevşemesine sebep olur. Donma-çözülme çevriminde etkin olup diğer mekanizmalarla beraber döküntülerin ve farklı bozunmanın gelişmesine yol açabilir.

3.2.2.2. Jeolojik değerlendirmeler

Jeolojik karakter tehlike puanını tanımlama açısından kaya düşmesi tehlike sınıflandırma açısından kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemlerinin kökeni sayılan NHI (1993) sistemi ile Tennessee RHRS arasında birtakım farklılıklar vardır. Bu farklılığı yaratan değişiklikler çalışmalar kapsamında elde edilen bilgilerin artması, tekrar edilebilirliği ve kullanım kolaylığı sağlamaları bakımından önemlidir (Cain 2004). Bu bağlamda Tennessee RHRS önceki kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemlerine kıyasla daha avantajlıdır. Bu değişiklikler;

- a) Jeolojik karakter puanlamasının geleneksel kaya şevi yenilme türlerine göre yapılması,
- b) Çoklu yenilme türlerinin de dikkate alınması,
- c) Sözlü tanımlardaki karışıklıkları azaltmak şeklindedir.

Cain (2004), Tennessee sistemindeki jeolojik karakter değerlendirmesinin uygun yenilme türlerinin tespit edilmesi ile başladığını ifade etmektedir. Tennessee jeolojik karakter tayinine yönelik çalışmalar sınıflandırmayı yapacak kişinin karşılaşılan yenilme türlerini tespit etmesiyle başlar ve bunlara bağlı olan yoğunluk, blok boyutu, diklik, sürtünme, rahatlama ve blok şeklini tanımlayan parametreleri girmesiyle devam eder. Tennessee kapsamında uygulanan yenilme türleri ve jeolojik karakter parametreleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Tennessee kapsamında uygulanan yenilme türleri ve jeolojik karakter parametreleri Cain (2004)

Yenilme Türü	Jeolojik Yenilme Parametreleri					
	Yoğunluk	Blok Boyutu	Diklik	Sürtünme	Rahatlama	Blok Şekli
Düzlemsel	X	X	X	X	-	-
Kama	X	X	X	X	-	-
Devrilme	X	X			-	-
Farklı Bozunma	X	X	-	-	X	-
Döküntüler	X	X	-	-	-	X

Tennessee RHRS’de seçilen şev için yenilme türü belirlendikten sonra o yenilme türüne karşılık gelen parametrelere (Çizelge 3.6) bağlı olarak şevin tehlike puanı belirlenir.

Çizelge 3.6. Yenilme türlerine karşılık gelen jeolojik karakter parametreleri Cain (2004)

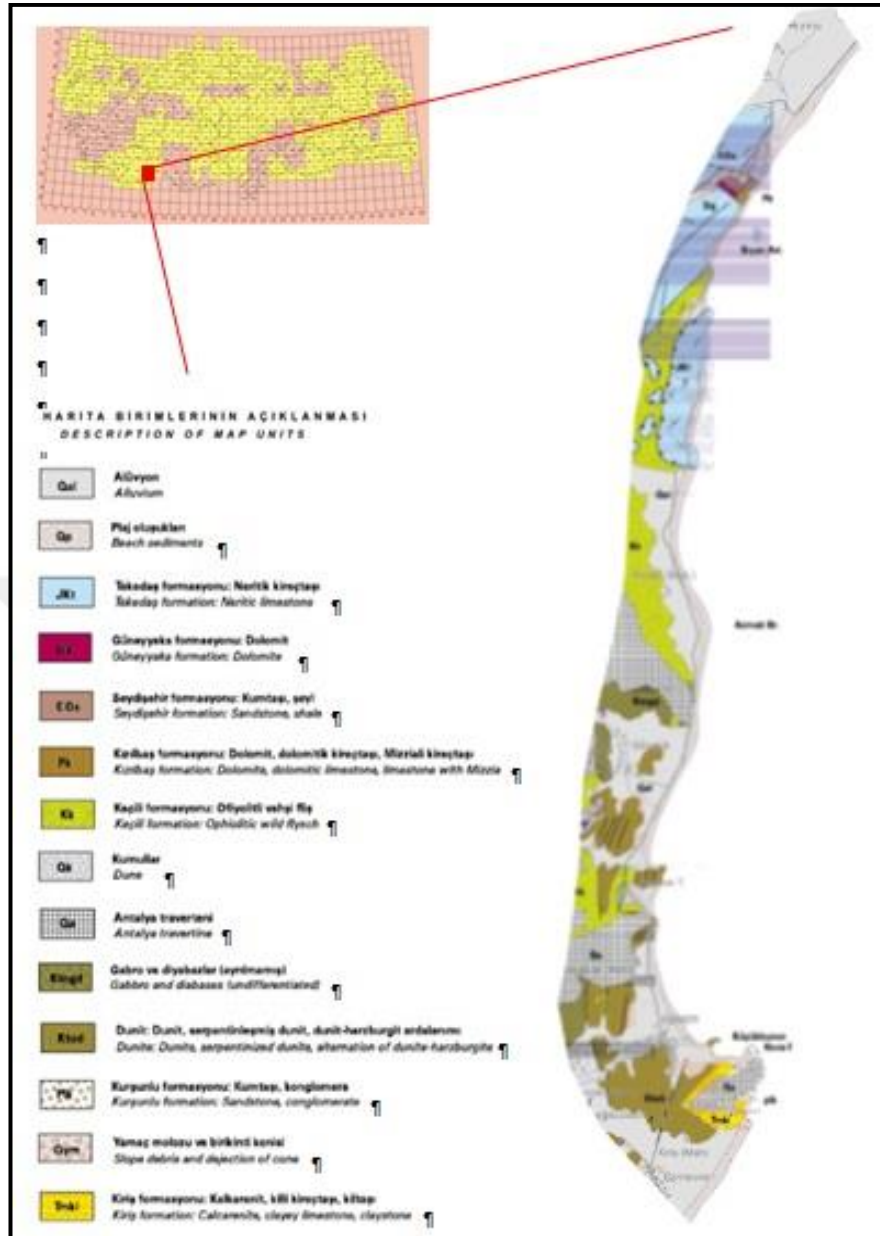
PARAMETRE	UYGULANAN YENİLME TÜRÜ	TANIMLAMA
YOĞUNLUK	Tüm Türler	Bir yenilme türünün yoğunluğu o yenilme türünün şev üzerinde kapladığı alanın oranı şeklinde tanımlanır. Döküntülerin düzlemsel ya da kama tipi kayma üzerinde görüldüğü durumlar dışında tek bir tür için yoğunluk toplamı %100'ü aşamaz.
BLOK BOYUTU	Tüm Türler	Blok boyutu kaya bloklarının uzun ekseninin ölçülmesi ile bulunur. Şevden henüz düşmemiş blokların boyutunu belirlemek bu aşamada en iyi yol olmakla beraber şevin çok yüksek olması ve tahminlerin makul olmaması ihtimaline karşın hendek içinde görülen benzer blok boyutları da kullanılabilir.
DİKLİK	Düzlemsel ve Kama	İki yapısal kontrollü yenilme mekanizması için de diklik bileşeni düzlemsel kayma için kayma yüzeyinin eğimi ve kama tipi kayma için arakesitin dalımı şeklinde ifade edilir.
SÜRTÜNME	Düzlemsel ve Kama	Sürtünme puanı yenilme yüzeyinin mikro ve makro ölçekte tanımlanması sonucunda verilir. Makro ölçek ile düzlemsel ya da dalgalı yüzey, mikro ölçek ile pürüzlü ya da pürüzsüz yüzeyler ifade edilir.
RAHATLAMA	Farklı Bozunma	Rahatlama farklı erozyon hızları sonucunda asılı kalan malzemenin bir ölçütüdür. Asılı kalan kesimin miktarı arttıkça duraysızlık olasılığı da artar ve dolayısıyla şev daha tehlikeli hale gelir.
ŞEKİL	Döküntüler	Döküntüler yalnızca şevden düşen blokları ifade eder ve blok hareketliliği bloğun serbest kaldığı yükseklik ve blok şekli tarafından kontrol edilir. Blok şekli kübik ve yuvarlak oldukça tehlike de artmaktadır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Tennessee Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sisteminin Çalışma Alanında Değerlendirilmesi

Bu çalışmanın amacı, birçok turizm merkezini birbirine bağlayan Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer kesimindeki (15+100.00- 40+065.64 km'ler arası) seçilmiş şevlerde sürüş güvenliğinin kontrolüne yönelik olarak kaya düşme tehlike sınıflandırma sistemi uygulanmasıdır. Çalışma alanı 3 adet 1:25000 ölçekli topoğrafik haritadan, O25a4, O25d1 ve O25d4 paftaları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının 1:100000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 4.1'de sunulmuştur. Yapılmış olan arazi çalışmaları; sınıflamada kullanılacak parametreler (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok uzaklığı algılama, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) belirlenerek yerinde puanlanmıştır. İncelemek üzere seçilen parametrelerden şev yüksekliğinin yeterli hassasiyette ölçülebilmesi için lazerli mesafe ölçer kullanılması uygun olup böylece tahmine dayalı hataları ve belirsizlikleri ortadan kaldırmak için tek bir ölçümle maliyet ve zaman konusunda kolaylık sağlanacaktır. Araç risk ortalaması hesabında gerekli olan araç sayısı bilgisini elde etmek için Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü ile iletişime geçilmiştir.

Yararlanılacak sınıflandırma sistemi iki aşamadan oluşmaktadır. Şev duraysızlıklarına yönelik detaylı bir sınıflandırma yapılabilmesi için ilk aşamada ilksel bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Bu sınıflandırmada şevler kaya düşme potansiyeline göre A, B ve C olarak kategorize edilecek olup daha sonra detaylı sınıflandırması yapılacaktır. İnceleme alanında kaya düşmelerinin yola kadar gelebilecek bloklardan oluşup oluşmadığı ilksel sınıflandırmada en önemli kriterdir. Örneğin, kaya düşer ve yola ulaşırsa kaya düşmesi alanı A-sınıfı olarak tanımlanır.



Şekil 4.1. Çalışma alanının 1: 100 000 ölçekli jeoloji haritası (MTA 2008)

4.1.1. İlksel sınıflandırma

Çalışma kapsamında belirlenmiş olan güzergahtaki yol yarmalarına ilişkin ilk bilgiler bu bölümde anlatılacaktır. Kaya şevlerinin lokasyonları ön saha incelemeleri ile belirlenmiştir. Lokasyonlar belirlendikten sonra saha gözlemleri ve sahada çekilen fotoğrafların ofis çalışmasında incelenmesi ile belirlenen şevler için ilksel sınıflandırma yapılmıştır.

Öncelikli sınıflandırma amacıyla arazi çalışmaları yapılmış ve karayolu şevleri kategorize edilmiştir. Bölgenin genel olarak kaya düşmesi açısından yüksek tehlike arz ettiği düşünüldükçe birçok kaya şevi A-şevi olarak sınıflandırılmıştır. Bölge tehlikeli öngörülen 8 adet A-şevine ve 1 adet B-şevine ayrılmıştır.

“B-Sınıfı” Şevler

İlksel sınıflandırma sürecince çalışma güzergahında 1 adet B-sınıfı şev tespit edilmiştir. Bu şeve ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

9. Bölge

Yarma şevinde çok ayrılmış kumtaşı birimleri hâkim olmakla beraber, ofiyolitik karışık melanj birimleri yer almaktadır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görüldüğü üzere beşten fazla eklem takım sistemi mevcut olup eklemler arasında yoğun killeşme gözlenmiştir. Kilin yoğun olması ve su etkisinden dolayı devrilme tipi yenilme görülmüştür. Yüksekliğin ve eğimin az olmasından kaynaklı olarak bu şev B-sınıfı şevi olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.2. B-sınıfı şevinin genel görüntüsü



Şekil 4.3. Devrilen kayaların gösterimi

4.1.2. Detaylı sınıflandırma

‘A-Sınıfı’ Şevler ve Detaylı Sınıflandırılmaları

İlksel sınıflandırma aşamasında toplam 8 adet ‘A-sınıfı’ şev belirlenmiştir. Sınıflandırma aşamasında bir şeve “A” sınıfı diyebilmek için NHI (1993) ve Tennessee RHRS (2004) sistemlerinin kriterleri uygulanmış olup buna göre içerdikleri kaya bloklarını yola ulaştırma potansiyeline orta-yüksek derecede sahip olan şevler A kategorisinde değerlendirilmişlerdir. Bu bağlamda çalışma alanında şev yükseklikleri ve hendek durumlarına ilişkin yapılan gözlemler oldukça önemlidir.

Çalışma alanı başlangıç noktasından itibaren yaklaşık 35 km olup alanda bölgedeki kaya düşmelerine karşı duyarlılık sağlanmıştır (Şekil 4.4-Şekil 4.5).



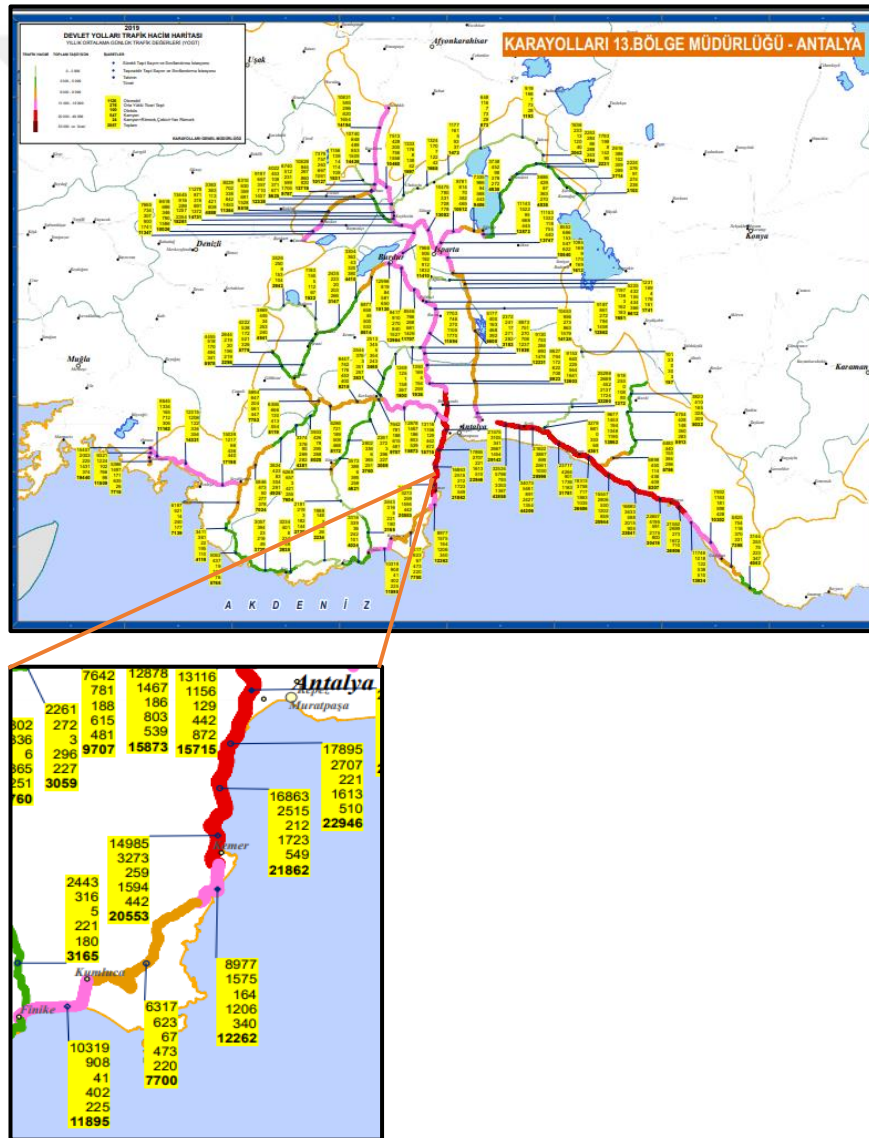
Şekil 4.4. Bölgedeki kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası



Şekil 4.5. Bölgedeki kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası

Şevlerin sayısal olarak detaylı sınıflandırılmaları iki aşamada yapılmakta olup her aşamada farklı parametreler incelenmektedir. Bu iki aşama; 1) saha ve yol geometrisi, 2) jeolojik karakterizasyon şeklindedir. Öncelikle detaylı sınıflandırmanın ilk aşaması çalışma alanı için tamamlanmış olup bu aşamada yapılması gerekenler Bölüm 3'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu aşamaya ilişkin parametrelere karşılık gelen puanlamalar ve eşitlikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'ten kontrol edilebilir.

DSD (blok algılama mesafesi) gibi bazı parametreler karayolunun yol yarması ile olan ilişkileri dikkate alınarak saha gözlemleri ile tahmin edilebilir. Ayrıca, bir güzergâhtan yıl boyunca geçen araç sayısının araç sayaç cihazları ile devamlı olarak ölçülmesi sonucu elde edilen verilen AVR (araç risk ortalaması) hesaplamasında kullanılır. Karayolları 13. Bölge tarafından D400 Karayolu'nun belli bölgelere yerleştirdikleri araç sayım cihazlarına bağlı olarak hazırlanmış olan bir yıl içerisindeki günlük trafik durumu verileri Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. 2019 yılı Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü-devlet yolları hacim haritası

Şekil 4.6 da verilmiş olan sayıların açıklamaları aşağıdaki gibidir;

14985- Orta Yüklü Ticari Taşıt

3273- Otobüs

259- Kamyon

1594- Kamyon+ Römork

442- Çekici+ Yarı Römork

20553- Toplam

Jeolojik karakterizasyon aşamasına gelindiğinde şevdeki yenilme mekanizmasına karar verdikten sonra jeolojik yenilme türü yoğunluk değerlendirmesi gerçekleştirilir. Tennessee RHRS’de yoğunluk bir yenilme türünün (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunma ve döküntüler) şev yüzeyinde gösterdiği alansal dağılım şeklinde tanımlanır ve toplam alanın yüzdesi olarak ifade edilir. Bu parametre görsel olarak tahmin edilebilir ve şev uzunlukları bu tahminlerde yardımcı olmaktadır. Çalışma kapsamında da dikkate alınan bu parametreye ilişkin puanlar ilerleyen bölümlerde her A-sınıfı şev için hazırlanan tablolarda verilmektedir. Şev uzunluklarına ilişkin ölçümler şev boyunca gerçekleştirilmiş olup şevin tamamının gösterilemediği fotoğraflarda da şev uzunluğu tüm şev için verilmiştir. Fotoğraflar genellikle şevlerin tehlikeli olan kısımlarının tamamı ya da bir parçası şeklinde verilmiş olup tablolarda verilen yoğunluklar tüm şevi dikkate alarak bulunmuştur.

Yoğunluk puanlamaları ve yenilme türlerine bağlı olan parametreler Çizelge 3.2, Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.5’te verilmiştir. Jeolojik karakterizasyonun ilk aşamasında bulunan yoğunluk yüzdeleri toplamsal yoğunluk olarak adlandırılır ve yoğunluk puanı toplamsal yoğunluğun bağlı olduğu diğer parametre (diklik, blok boyutu vb.) puanlarına eklenmesi ile bulunur. Tennessee RHRS’ye göre toplamsal yoğunluk kavramı yenilme türünün geniş alan kapladığı ancak çok fazla tehlike içermediği durumlarda şevin tehlike puanını artırma potansiyeline sahiptir. Bu durumu önlemek için duraylılık, blok boyutu ve blok hareketliliği gibi kavramların bir kombinasyonu şeklinde ortaya çıkan birim jeolojik tehlike unsurunu dikkate almanın yararlı olacağı düşünülmektedir. Birim jeolojik tehlike bazında yoğunlukların puanlanması iki şekilde gerçekleştirilebilir.

(1) Toplam Puan: Toplam Tehlike = Birim Tehlike + Yoğunluk Puanı

(2) Çarpımsal Puan: Toplam Tehlike = Birim Tehlike * Yoğunluk Puanı

Çarpımsal yoğunluk kullanılarak, belirlenen yenilme türünün toplam tehlikeye katkısı her bir yenilme türünün bireysel tehlikesi ile doğru orantılı olup, bulunan değer diğer jeolojik değerlendirmelerden bağımsızdır. Çarpımsal yoğunluk düşük riskli yenilme mekanizmalara verilen abartılı puanlara ilişkin problemi geriye dönük ve etkin şekilde çözmektedir. Ayrıca düşük yoğunluklu ancak yüksek riskli yenilme mekanizmasına sahip şevlerin tehlike derecesini de arttırabilmektedir. Çarpımsal yoğunluğun kullanımı daha tehlikeli olan şeve göreceli olarak daha fazla puan verir (Cain 2004). Bu yoğunluk türü özellikle iki şevin kıyaslanabilmesi amacıyla kullanılmalıdır. Çarpımsal yoğunluk

uygulanarak bir şevde gerek bir tek ya da gerekse birden fazla yenilme türü için toplam tehlike ya da toplam RHRS tehlike puanı artar ya da düşer. Bu uygulamanın sonuçları iki farklı şevin kıyaslanması ile hangi şevin daha tehlikeli olacağını gösterir ve anlam kazanır. Çarpımsal yoğunluk puanlarını da içeren toplam RHRS puanları EKLER bölümünde tablo halinde verilmiştir.

1. Bölge:

Sarısu kavşağından kemere giderken ilk istasyon şekilleri Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’da verilmiştir. Şekillerde de görüleceği gibi jeolojik birim olarak kireçtaşı birimi hakimdir. Kireçtaşı birimleri; bu bölgede az-orta derecede ayrılmış, dayanımlı- orta dayanımlıdır. Gözlemlenen kireçtaşı birimlerinde birden çok eklem takım sistemi hakimdir. Dolayısıyla eklem takım sistemlerinin çok olması, yarmadaki su miktarının ıslak ve akışkan olmasından dolayı yarmada stabilite problemlerine yol açmıştır.

Bu bölgede düzlemsel kayma yer yer de devrilme tipi yenilmeler görülmüştür. İdaresince bozulan stabilite problemlerinin önüne geçmek için çelik ağ destekleme sistemi ile destekleme yapılmıştır.

“A1-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu işlem her “A-sınıfı” şev için uygulanmıştır.



Şekil 4.7. Çalışma alanına ait 1. bölgede yer alan karayolu şevinin görünümü



Şekil 4.8. A1-sınıfı şevinin yenilme türü ve çelik ağların görünümü

Çizelge 4.1. “A1-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	15,5	9	Hendek Etkinliği	%70-%90	9
% AVR	477	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Çok az	3
DSD	Uygun	3	Su Durumu	Sızıntı	9
Yol Genişliği (m)	8,21	31		TOPLAM	92

Çizelge 4.2. “A1-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

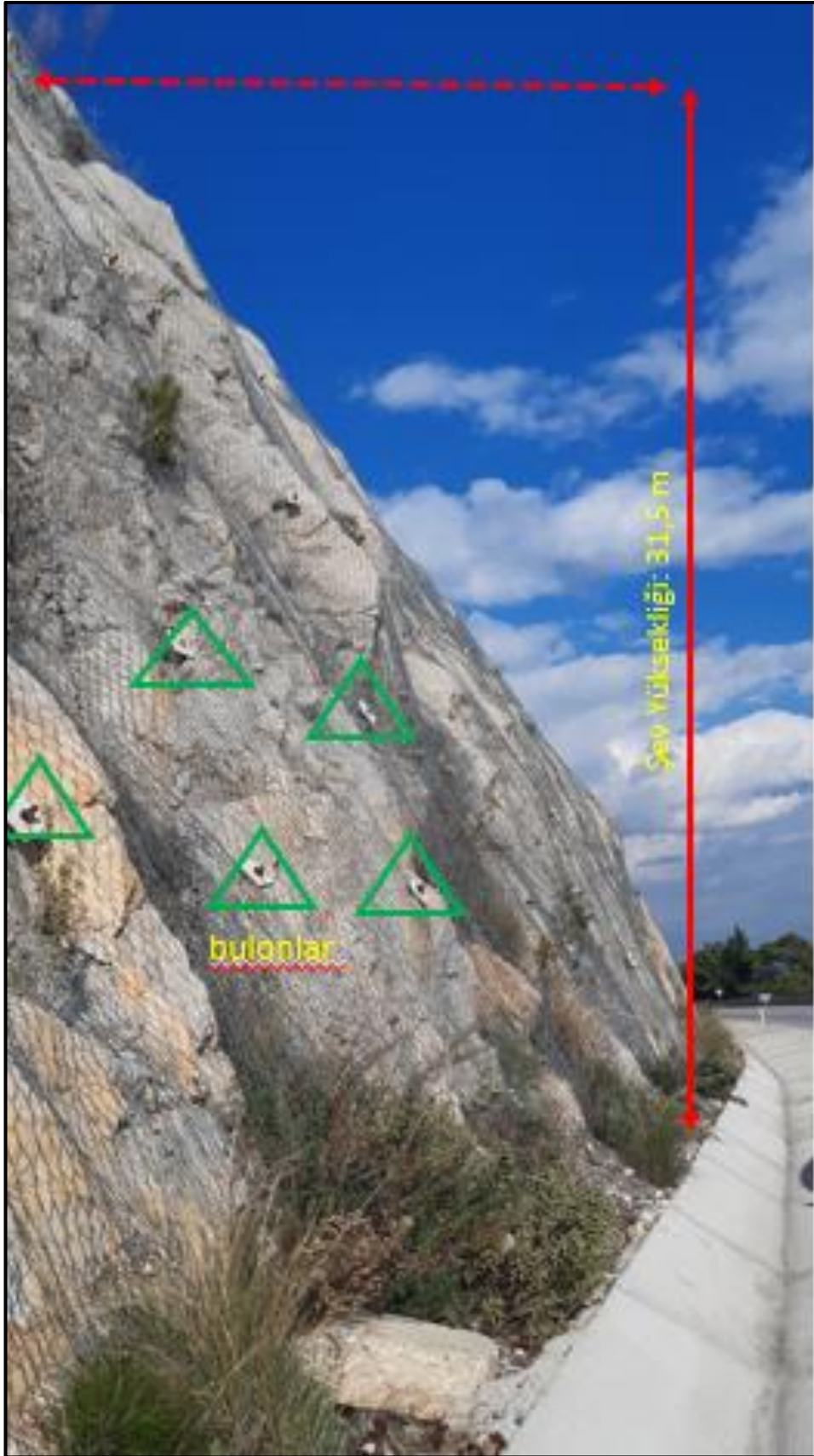
Yenilme Türü	Yoğunluk (%)	Puan
Düzlemsel	>%30	81

2. Bölge:

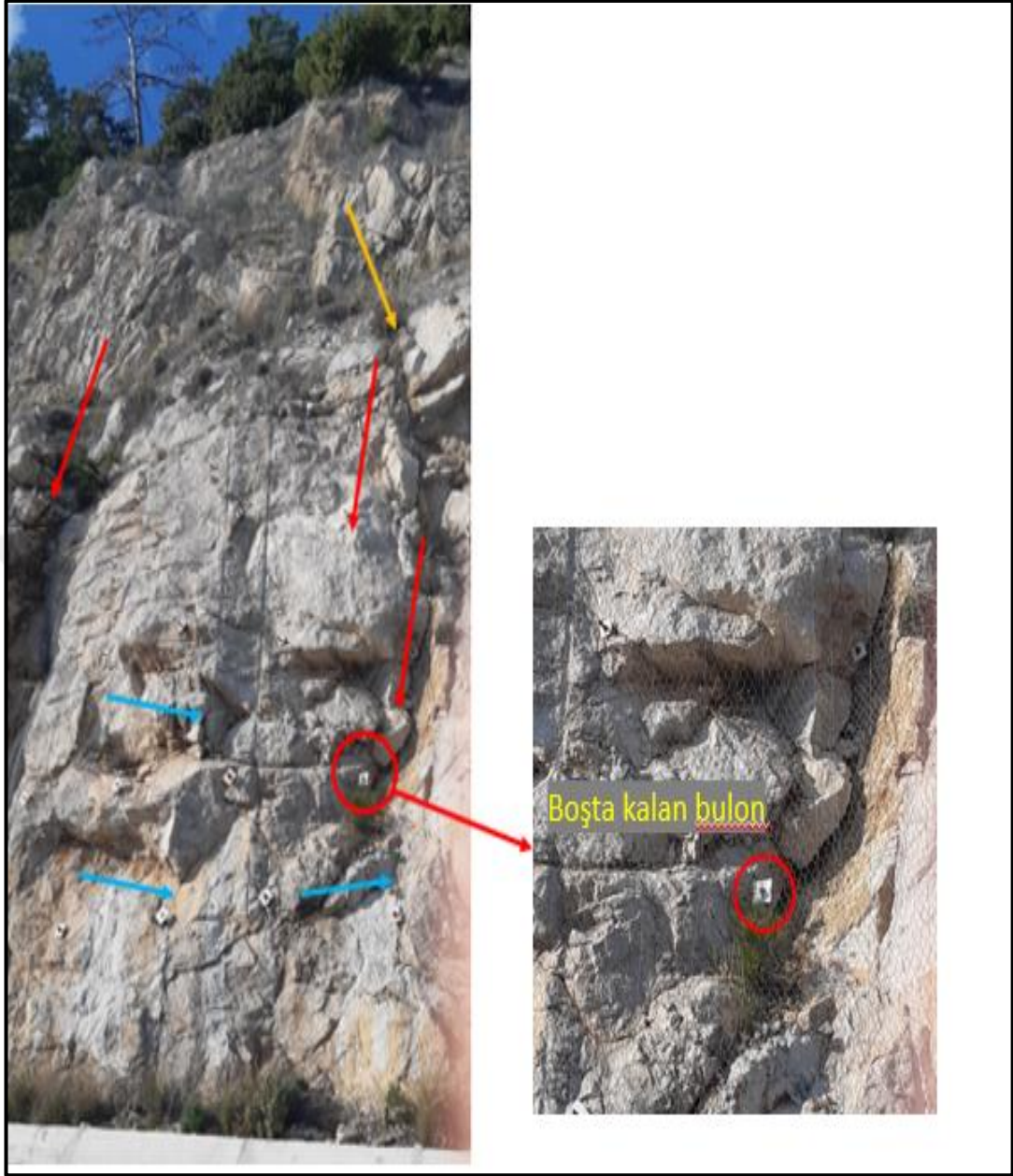
Sarısu kavşağından kemere giderken ikinci bölgeye ait görüntüler Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir. Şekillerde de görüleceği gibi jeolojik birim olarak kireçtaşı birimi hakimdir. Gözlemlenen kireçtaşı birimlerinde birden çok eklem takım sistemi hakimdir.

Kireçtaşı birimleri çok parçalı olduğu için bulon ile desteklenme sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 4.10’da bulonun olduğu bölgede devrilme görülmüş olup bu bölgede birkaç eklem takım sisteminin kesiştiği bölge olarak görülmektedir.

“A2-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.9. A2-sınıfı şevine ait destekleme amaçlı yapılan bulonların görüntüsü



Şekil 4.10. A2-sınıfı şevine ait destekleme amaçlı yapılan bulonların görüntüsü

Çizelge 4.3. “A2-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	31,5	81	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	73	25	Kaya Düşme Tarihçesi	Birkaç	3
DSD	Uygun	3	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	6,14	81		TOPLAM	277

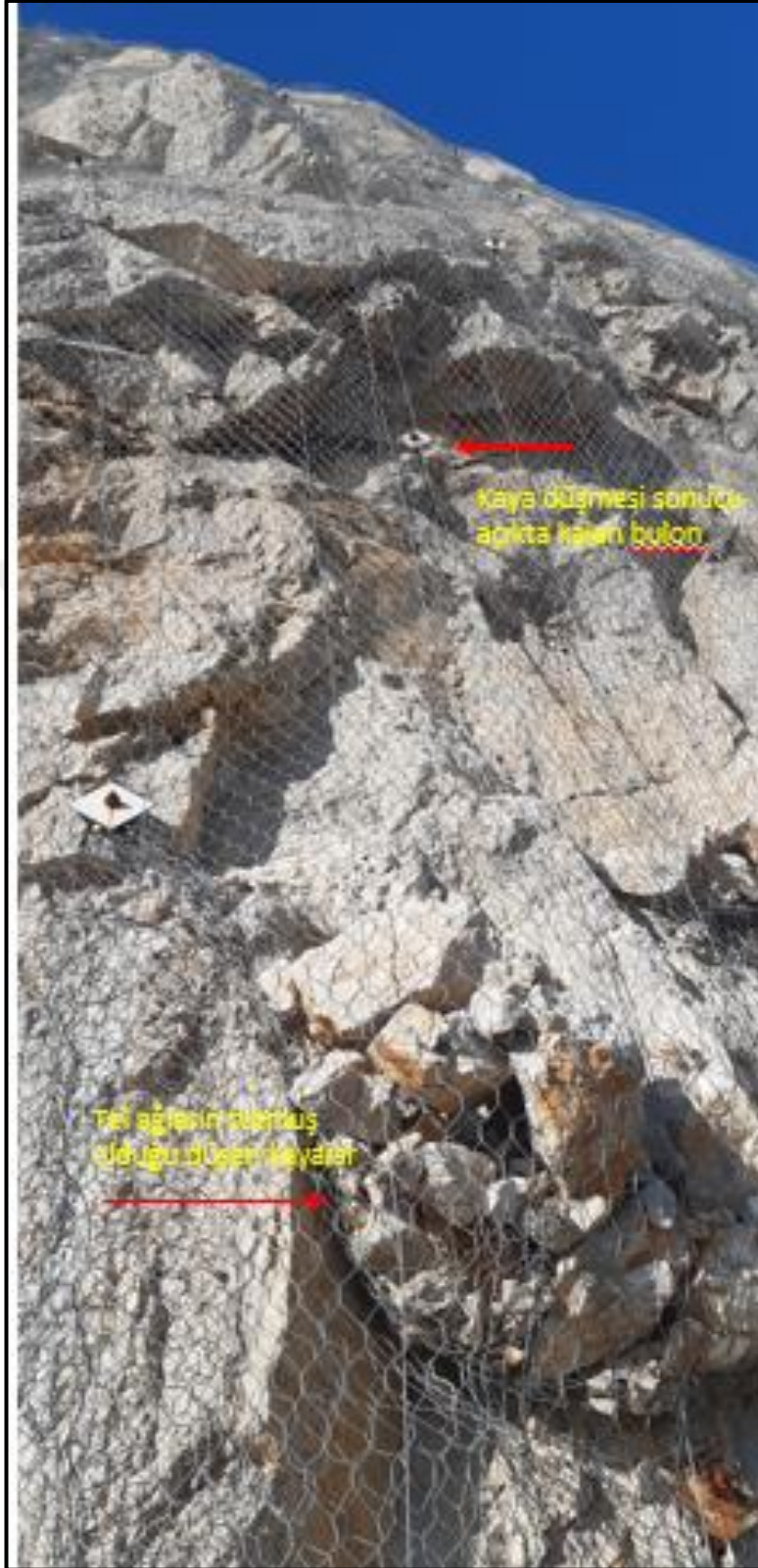
Çizelge 4.4. “A2-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Devrilme	20-30%	41

3. Bölge:

Yol yarmasının saha ve yol geometrisine ve jeolojik karakterizasyonuna yönelik özellikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’te verilmiştir. Şev üzerinde yenilme türüne bağlı olarak meydana gelebilecek kaya düşmelerini yerinde sabit tutmak amacıyla şev üzerinde çelik ağlar bulunmaktadır. Düşen kaya parçasını çelik ağda tutulup yola gelmesinin engellediği Şekil 4.11’te gösterilmiştir. Yamaç karakteristiği açısından düşmeye eğimli olduğu için A-şevi olarak sınıflandırılmıştır.

“A3-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.11. Tel ağ üzerinde düşen kayanın tutulması



şekil 4.12. A3-sınıfı şevin özelliklerini gösteren şekil. sarı kesikli çizgi ile belirtilmiş olan alanda bozunma sebebi ile döküntü şeklinde yenileceği kaya yüzeyini göstermektedir. Mavi renk ile gösterilen oklar tabakalanma yönlerini göstermektedir.

Çizelge 4.5. “A3-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	57,30	13	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	291	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Birkaç	3
DSD	Orta	9	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	4,27	100		TOPLAM	237

Çizelge 4.6. “A3-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Düzlemsel	20-30%	27
Devrilme	10-20%	9

4. Bölge:

Şekillerde de görüleceği gibi (Şekil 4.13- Şekil 4.14 ve Şekil 4.15) jeolojik birim olarak kireçtaşı birimi hakimdir. Kireçtaşı birimleri; bu bölgede orta derecede ayrılmış, orta dayanımlıdır. Gözlemlenen kireçtaşı birimlerinde birden çok eklem takım sistemi hakimdir ve eklemler arasında kil dolgular mevcuttur. Eklem takımlarının çok olmasından dolayı kama tipi yenilme riski vardır. Dolayısıyla eklem takım sistemlerinin çok olması, yarmadaki su miktarının ıslak ve yer yer nemli dolayı yarmada stabilize problemlerine yol açmıştır. Bu bölgede kama tipi yenilmeler görülmüştür.

“A4-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.13. A4-sınıfı şevinin genel görünümü





Şekil 4.15. Eklem takımlarının sebep olmuş olduğu yenilme türü görüntüsü

Çizelge 4.7. “A4-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	19,62	27	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	381	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Birkaç	3
DSD	Uygun	3	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	10	14		TOPLAM	159

Çizelge 4.8. “A4-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

Yenilme Türü	Yoğunluk (%)	Puan
Kama	>%30	81
Döküntü	<%10	3

5. Bölge:

Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de görüldüğü üzere tabaka eğimleri yamaç içine doğru olduğu gözlemlenmiştir. Ancak yine eklem takım sisteminin yoğun olmasından dolayı devrilme tipi yenilme meydana gelmiş ve tabakalanmalar askıda kalmıştır. Şu anda genel anlamda çalışma alanında büyük bir risk görülmektedir. Şevin genel açısı ise 85 derecedir. Yamaç karakteristiği açısından düşmeye eğimli olduğu için A-şevi olarak sınıflandırılmıştır.

“A5-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.16. A5-sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti)



Şekil 4.17. A5-sınıfı şevi görüntüsü (Kemer istikameti)

Çizelge 4.9. “A5-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	20,4	27	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	200	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Birkaç	3
DSD	Sınırlı	27	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	10,4	12		TOPLAM	181

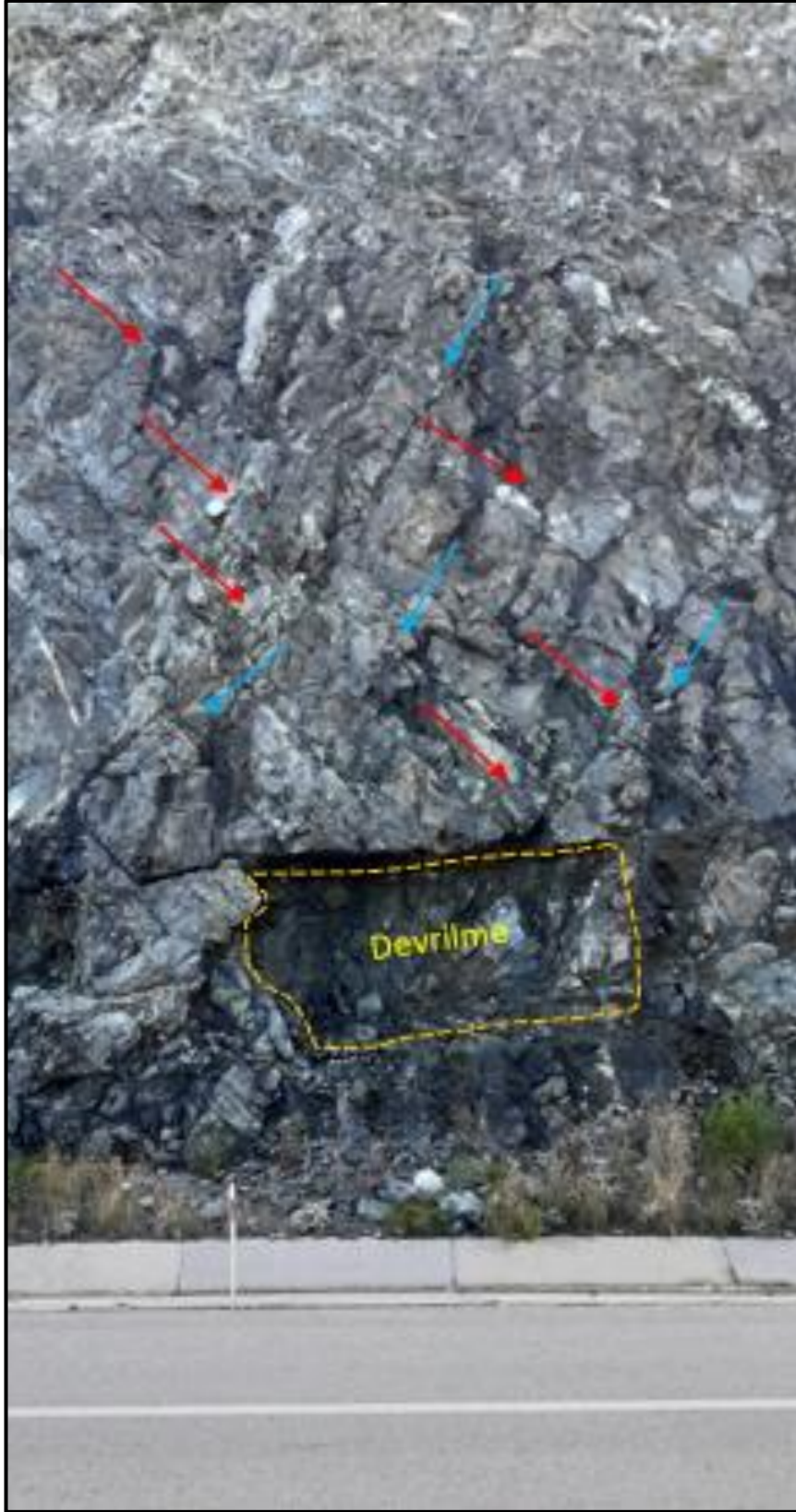
Çizelge 4.10. “A5-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Devrilme	>%30	122

6. Bölge:

Çalışma alanının Antalya istikametinde olup birim olarak ofiyolitik seri gözlenmiştir. Bu birim içerisinde kumtaşları hakim birim olduğu görülmektedir. Kumtaşları orta derece ayrılmış ve orta dayanımlıdır. Eklemler arası yoğun killeşme gözlenmiş olup bu etkenlerden dolayı devrilme tipi yenilme gözlenmiştir (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19).

“A6-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de verilmiştir.



şekil 4.18. A6-sınıfı şevine ait genel görünüm



şekil 4.19. A6-sınıfı şevine ait devrilme alanının yakından görünümü

Çizelge 4.11. “A6-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	58,76	13	Hendek Etkinliği	%50-%70	81
% AVR	131	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Yer yer	9
DSD	Uygun	3	Su Durumu	Sızıntı	9
Yol Genişliği (m)	10,2	14		TOPLAM	157

Çizelge 4.12. “A6-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Devrilme	>%30	122

7.Bölge

Kireçtaşları az orta derecede ayrılmış, dayanımlı- yer yer orta dayanımlıdır. Eklemelerde süreksizlik aralıkları açık- pürüzlü. 25-30 cm’lik açıklıklar var. Düzensiz eklem takımına sahip olduğu için devrilme tipi yenilme görülmüş olup düşen ve düşebilecek olan kayaların yolu tehdit etmesi açısından iksa duvarı ve tel ağlar ile önlem alınmaya çalışılmıştır (Şekil 4.20- Şekil 4.21).

“A7-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14’te verilmiştir.



Şekil 4.20. A7- Sınıfı şevine ait görüntü (Antalya istikameti)



Şekil 4.21. A7- Sınıfı şevde iksa duvarı ve eklem çatlakları görünümü

Çizelge 4.13. “A7-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	33,5	16	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	454	28	Kaya Düşme Tarihçesi	Yer yer	9
DSD	Sınırlı	27	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	10,5	12		TOPLAM	176

Çizelge 4.14. “A7-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Devrilme	>%30	122

8. Bölge:

Kemer’den Sarısu kavşağına gelirken solda kalan şevin görüntüleri Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te verilmiştir. Şekillerde de görüleceği gibi jeolojik birim olarak kireçtaşı birimi hakimdir. Kireçtaşı birimleri; bu bölgede az-orta derecede ayrılmış, orta dayanımlıdır. Gözlemlenen kireçtaşı birimlerinde birden çok eklem takım sistemi hakimdir. Eklemler arasında yer yer kil dolgular mevcuttur. Süreksizlikler pürüzlü, eklem takımı sisteminin de düzensiz oluşu, şev açısının yaklaşık 78 derece olması ve şevin yüksekliğinin fazla olmasından dolayı burada kama ve yer yer devrilme tipi yenilmelerin gözlenmesi mümkündür.

“A8-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ilişkin puanlama sonuçları Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.22. A8-sınıfı Şevi genel görüntüsü



Şekil 4.23. AVR hesaplamalarında kullanılan hız limiti için kullanılmış olan uyarı levhası ve virajlı yol uyarı levhası

Çizelge 4.15. “A8-sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları

SAHA VE YOL GEOMETRİSİ	TOPLANAN VERİ	PUAN	SAHA VE YOL GEOMETRİSİ İLE DİĞER PUANLAMA KRİTERLERİ	TOPLANAN VERİ	PUAN
Şev Yüksekliği (m)	44,30	7	Hendek Etkinliği	<%50	81
% AVR	91	15	Kaya Düşme Tarihçesi	Birkaç	3
DSD	Uygun	3	Su Durumu	Yok	3
Yol Genişliği (m)	10	16		TOPLAM	128

Çizelge 4.16. “A8-sınıfı” şevde belirlenen yenilme türlerine karşılık tahmini yoğunluk (toplamsal) puanları

YENİLME TÜRÜ	YOĞUNLUK (%)	PUAN
Kama	20-30%	27
Devrilme	<10%	5

Kaya düşme tehlike sınıflandırma sistemi, kaya düşme potansiyeli yüksek olan şevlerin belirlenmesi ve iyileştirmesine yönelik çalışmalarda altyapıların oluşturulması ve karayolları yol yarmalarına ilişkin düzenlemelerde gerekli olan bütçe ile ilgili olarak yapılan alt yapı çalışmalarında bütçe alt yapı çalışmalarının sürekli etkin bir şekilde yürütülmesi açısından birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Bu hesaplama sınıfı ile şevlerin belli karakteristik özelliklerinin üstel bir puanlama uygulayarak sayısal olarak sınıflandırılmasını sağlar. Bahsi geçen sistemin literatür örnekleri de tez içerisinde verilmiş olup konuya ilişkin detaylı araştırmalar sonucu sistemde şev ve karayollarına ilişkin geliştirilebilecek parametrelere açık olduğu görülmektedir. Bu çalışma ile herhangi bir sistemin değiştirilmesi değil yalnızca sisteme getirdiği yeniliklerle önem arz eden Tennessee RHRS’nin çalışma alanına uyarlanması şeklindedir.

Yapılan çalışma iki aşamada olup detaylı çalışmalar 4. Bölümde verilmiştir. İlk sınıflandırma aşaması detaylı sınıflandırmaya göre daha öznel olarak gerçekleştirilir. Eğer ki ilksel sınıflandırma detaylı olarak yapılmaz ise, tehlike arz edebilecek olan şevler gözden kaçabilir de detaylı sınıflandırmalara dahil edilmemelerine sebep olabilir. Bu gibi durumlarda yapılan sınıflandırma hatalı olacaktır. Ön değerlendirme ve yenilme türlerinin belirlenmesi dikkatli bir şekilde olması gerekmektedir fakat hatalı bir çalışma olması durumunda saha çalışması tekrarlanarak değerlendirme yenilebilir. Bu da Tennessee RHRS sisteminin avantajlı yönlerinden biridir. Bu sistemi kullanacak olan kişi saha çalışmalarında tecrübeli olacağı düşünülerek yapılmış olan gözlem ve pratik ölçümlerle çok kısa bir sürede ve minimum hata ile bu sistem tamamlanabilir. Bazı özel durumlarda kaya şevlerinde kinematik analizler gerekebilir ve yapılan analizler ile sonuçlar sayısal

değerler ile desteklenebilir. Böylelikle kaya şevlerinin duraylılığı, tasarımına ilişkin yapılan detaylı çalışmalar ile sisteme yeni parametrelerin dahil edilmesi mümkün olabilir.

Bugüne kadar yapılmış olan pek çok sınıflandırma sisteminden de görüldüğü üzere puanlama sonuçlarında referans bir puana göre yorumlama yapılmadığı ve alt ya da üst limit değerlerinin olmadığı görülmektedir. Çalışılan sistemde yeni parametrelerin çalışması puan dağılımında bir artış sergileyebilir. Bu sistemde en yüksek puanı alan şev en tehlikeli olan şev olarak yorumlanmıştır.

Yaklaşık olarak 20 seneden beri “tehlike” kelimesi ile ilgili birçok tanımlar yapılmış ve konuya has birçok öneriler sunulmuştur. Genel anlamda araştırmacılar tarafından tehlike için “belirli bir büyükteki olayın, belli bir zamanda oluşma olasılığı” olarak açıklanmış fakat bu çalışmada tehlike kavramı biraz daha farklı yorumlanıp potansiyel tehlike oluşturan ya da koşullar da dikkate alınmıştır. Dolayısıyla, kaya düşmesinin zamanlaması dikkate alınmamıştır. Sistem, salt kaya düşmelerini içermemesi nedeninden dolayıdır ki sistem adı içeriğini tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Ayrıca, aşırı çatlaklı kaya kütlelerinde oluşturulmuş olan yarmalardaki yenilme mekanizmasının “dairesel kayma” şeklinde olabileceği için sistemin bu ihtimal dahilinde de değerlendirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmanın amacı, birçok turizm merkezini birbirine bağlayan Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer kesimindeki (15+100.00- 40+065.64 km'ler arası) seçilmiş şevlerde sürüş güvenliğinin kontrolüne yönelik olarak kaya düşme tehlike sınıflandırma sistemi uygulanmasıdır. Çalışma alanı 3 adet 1:25000 ölçekli topoğrafik haritadan, O25a4, O25d1 ve O25d4 paftaları içerisinde yer almaktadır. Yapılmış olan arazi çalışmalarında; sınıflamada kullanılacak parametreler (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok uzaklığı algılama, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) belirlenerek yerinde puanlanmıştır. İncelemek üzere seçilen parametrelerden şev yüksekliğinin yeterli hassasiyette ölçülebilmesi için lazerli mesafe ölçer kullanılması uygun olup böylece tahmine dayalı hataları ve belirsizlikleri ortadan kaldırmak için tek bir ölçümle maliyet ve zaman konusunda kolaylık sağlanacaktır. Araç risk ortalaması hesabında gerekli olan araç sayısı bilgisini elde etmek için Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü ile iletişime geçilmiştir.

Yararlanılacak sınıflandırma sistemi iki aşamadan oluşmaktadır. Şev duraysızlıklarına yönelik detaylı bir sınıflandırma yapılabilmesi için ilk aşamada ilksel bir sınıflandırma yapılması gerekmektedir. Bu sınıflandırmada şevler kaya düşme potansiyeline göre A, B ve C olarak kategorize edilmiş olup daha sonra detaylı sınıflandırması yapılmıştır. İnceleme alanında kaya düşmelerinin yola kadar gelebilecek bloklardan oluşup oluşmadığı ilksel sınıflandırmada en önemli kriterdir. Örneğin, kaya düşer ve yola ulaşırsa kaya düşmesi alanı A-sınıfı olarak tanımlanır.

İlksel sınıflandırma aşamasında dokuz adet yol yarması sınıflandırılmıştır ve bunlardan sekizinin tehlikeli olduğu gözlemlenerek A-sınıfı nda değerlendirilmişlerdir. A-sınıfı şevleri kadar risk teşkil etmeyen şevlere de rastlanılmış olup bunlar B-sınıfı şevlere girmektedir. Çalışma alanımızda 1 adet B-sınıfı şev mevcuttur. A sınıfı şevlerin detaylı sınıflaması yapıldıktan sonra RHRS puanlarının 162 ile 475 arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada 300 üzerinde puan alan şevler en tehlikeli şevler olarak değerlendirilmektedirler. A-sınıfı şevlerden 5 tanesi (A2, A3, A5, A6 ve A7) belirlemiş olduğumuz yüksek puan kriterinde oldukları için en tehlikeli şevler olarak kabul edilmişlerdir. Bu şevlere ait genel karakteristikler aşağıdaki gibidir:

- A2-sınıfı şevi, Sarısu'dan Kemer'e giderken ikinci bölgeye aittir. Kireçtaşlarının hakim olduğu bu bölgede birden çok eklem takım sistemi mevcuttur. Kireçtaşlarının çok parçalı olmasından dolayı şev bulonlar ile desteklenmeye çalışılmıştır. "A2-sınıfı" şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri puanlama sonucu olarak toplamsal RHRS Puanı 359, çarpımsal RHRS puanı 349 olarak hesaplanmıştır.

- A3-sınıfı şevi, Sarısu'dan Kemer'e giderken üçüncü bölgeye aittir. Şev üzerinde yenilme türüne bağlı olarak meydana gelebilecek kaya düşmelerini yerinde sabit tutmak amacıyla şev üzerinde çelik ağlar bulunmaktadır. Yamaç karakteristiği açısından düşmeye eğimli olduğu için A-şevi olarak sınıflandırılmıştır. "A3-sınıfı" şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri sonucu olarak toplamsal RHRS Puanı 243, çarpımsal RHRS puanı 475 olarak hesaplanmıştır.

- A5-sınıfı şevi, Sarısu'dan Kemer'e giderken beşinci bölgeye aittir. Eklem takım sisteminin yoğun olmasından dolayı devrilme tipi yenilme meydana gelmiş ve tabakalanmalar askıda kalmıştır. Şevin genel açısı ise 85 derecedir. Yamaç karakteristiği açısından düşmeye eğimli olduğu için A-şevi olarak sınıflandırılmıştır. "A5-sınıfı" şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri sonucu olarak toplamsal RHRS Puanı 425, çarpımsal RHRS puanı 425 olarak hesaplanmıştır.

- A6-sınıfı şevi, Kemer-Antalya istikametinde olup altıncı bölgeye aittir. birim olarak ofiyolitik seri gözlenmiştir. Bu birim içerisinde kumtaşları hakim birim olduğu görülmektedir. Kumtaşları orta derece ayrılmış ve orta dayanımlıdır. Eklemler arası yoğun killeşme gözlenmiş olup bu etkenlerden dolayı devrilme tipi yenilme gözlenmiştir. "A6-sınıfı" şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri sonucu olarak toplamsal RHRS Puanı 401, çarpımsal RHRS puanı 401 olarak hesaplanmıştır.

- A7-sınıfı şevi, Sarısu'dan Kemer'e giderken yedinci bölgeye aittir. Bölgede yer alan kireçtaşları az orta derecede ayrılmış, dayanımlı- yer yer orta dayanımlıdır. Eklemlerde süreksizlik aralıkları açık- pürüzlü. 25-30 cm'lik açıklıklar var. Düzensiz eklem takımına sahip olduğu için devrilme tipi yenilme görülmüş olup düşen ve düşebilecek olan kayaların yolu tehdit etmesi açısından iksa duvarı ve tel ağlar ile önlem alınmaya çalışılmıştır. "A7-sınıfı" şevde belirlenen yenilme türlerine ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar ve saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri sonucu olarak toplamsal RHRS Puanı 420, çarpımsal RHRS puanı 420 olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmadan da görüldüğü üzere şev yüksekliği ile RHRS doğru orantılıdır. Yüksekliği fazla olan şevlerde iyileştirme çalışmalarında ayrılacak olan bütçenin fazla olması gerektiğini söylemek yanlış olmayacaktır. Her ülke kendi saha özelliklerine göre bu sistemi şekillendirmiş ve Ülkemizde bu sistem uyarlanabilir.

6. KAYNAKLAR

- AASHTO 1984. A policy on geometric design of highways and streets, American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D.C.
- Akay, E. 1988. Orta Toroslar’ın post-Eosen tektoniği: MTA Derg., 108, ss. 57-68.
- Akay, E., Uysal, Ş., Poisson, A., Cravatte, J., ve Müller, C. 1985. Antalya Neojen havzasının stratigrafisi. T.J.K. Bülteni, 28 (2), 105-121.
- Andrew, R. D., Bartingale, R., Hume, H. 2011. “Context sensitive rock slope design solutions- Chapter 6 - Rockfall protection”, Rock Mechanics – Rock Falls, 11,002.
- Bateman, V. 2020, Development of a Database to Manage Rockfall Hazard: The Tennessee Rockfall Hazard Database, *Proceeding of 82nd Annual Meeting of the Transportation Research Board*, Washington, DC. .
- Bellamy, D., Bateman, V., Drumm, E., Dunne, W., Vandewater, C., Mauldon, M., Rose, B. 2003, Electronic Data Collection for Rockfall Analysis, *Transportation Research Record No. 1821*, Paper No. 03-3136, *Transportation Research Board*, Washington, DC., 97-103.
- Brawner, C.O., Wyllie, D. 1976, Rock slope stability on railway projects, American Railway Engineering Association Bulletin 656, 449–474.
- Brunn, J.F., Dumont, J., Graciansky, P. C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O. Ve Poisson, A. 1971, Outline of the Geology of the Western *Taurids Geology and History of the Turkey*. In. A. S. Compelli (ed.). Petr. Exp. Soci of Libya, Tripoli, 225 255.
- Budetta, P. 2003, The modified “Rockfall Hazard Rating System”: A new tool for roads risk assessment, *Geophysical Research Abstracts*, 5, 01659.
- Bunce, C.M., Cruden, D.M., Morgenstern, N. R. 1997. Assessment of the hazard from rockfall on a highway, *Canadian Geotechnical Journal* 34, pp. 344–356.
- Cain, S.F. 2004. Rating Rockfall Hazard in Tennessee (Tennessee RHRS), (Master Tezi), Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, Pp:76.
- Chau, K.T., Wong, R.H.C., Liu, J., Lee, C.F. 2003. Rockfall Hazard Analysis for Hong Kong Based on Rockfall Inventory, *Rock Mechanics and Rock Engineering* Vol. 36 No. 5, pp. 383–408.
- Chau, K.Y., Tang, Y.F., Wong, R.H.C. 2004. GIS Based Rockfall Hazard Map for Hong Kong, Paper 3B 13 - SINOROCK2004 Symposium, *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science* Vol. 41, No. 3, CD-ROM.

- Cruden, D.M., Varnes, D.J. 1996. "Landslides types and processes" Landslides Investigation and Mitigation, *Transportation Research Board, Special Report*, 247 pp.
- Çalaman İ. ve Çalaman G. 2004, Antalya İli Ve Çevresi İklim Elemanlarının Dağılımı Ve Meteorolojik Risk Haritaları, 18 s.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Lgai, Y.Y. 2002. "Landslide Risk and Management: an Overview", *Engineering Geology*, pp 65-87.
- Dipova N. 2010, "Boğaçay (Antalya) Kıyı Ovası'nın Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri", *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, cilt.34, ss.71-84.
- Dipova N. 5-9 Nisan 2010, "Lagün Kökenli Zeminlerin Mühendislik Özellikleri: Antalya Örneği", 63. Türkiye Jeoloji Kurultayı, ANKARA, TÜRKİYE, ss.172-173.
- Dipova, N. and Doyuran, V. 2006a. Assessment of the collapse mechanism of tufa deposits. *Engineering Geology*, 83, 332-342.
- Dipova, N. and Doyuran, V. 2006b, Characterization of the Antalya (Turkey) tufa deposits. *Carbonates and Evaporites*, 21, 2, 144-160.
- Dipova, N. ve Cangir, B. 2011. Antalya ili yerleşim alanının depremselliğinin araştırılması. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 35, 2, 93-114.
- Dipova, N. ve Yıldırım, M. 2005. Antalya tufa platolarının oluşumu ve jeomorfolojik özellikleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 29 (2), 53-69.
- Escallon J.P., Wendeler C., Chatzi E., Bartelt P. 2014. "Parameter identification of rockfall protection barrier components through an inverse formulation", *Engineering Structures*, 77, 1-16.
- Fish, M., Lane R. 2002, "Linking New Hampshire's Rock Cut Management System with a Geographic Information System", *Transportation Research Record 1786*, Paper number 02-2775.
- Ford, T.D. and Pedley, H.M. 1996. A review of tufa and travertine deposits of the World. *Earth-Science Reviews*, 41, 117-175.
- Franklin, J. A., Senior, S.A. 1987. "Outline of RHRON, the Ontario rock fall hazard rating system", *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and The Environment*, Athens, Greece, pp: 647-656.
- Franklin, J.A., Senior, S.A. 1997. Rockfall hazards-strategies for detection, assessment and remediation. *Engineering Geology and the Environment*, Balkema, Rotterdam, 657-663.
- Goodman, R. E., Bray, J.W. 1976, Toppling of rock slopes, *Proceedings of Special Conference for Foundations and Slopes*, Boulder, CO, v.2, 201-234.

- Grassl H. 2002. Volkwein A. and Bartelt P.: "Experimental and Numerical Modeling of Highly Flexible Rockfall Protection Barriers", *Swiss Federal Institute of Snow and Avalanche Research SLF*.
- Günay, Y., Bölükbaşı, A. S. Ve Yoldemir, O. 1982, Beydağlarının stratigrafisi ve yapısı; Türkiye Altıncı Petrol Kong. Tebl. Nisan 1982, 91-101. Ankara
- Hadjin, D.J. 2002, "New York State Department of Transportation Rock Slope Rating Procedure and Rockfall Assessment", *Transportation Research Record 1786*, Paper number 02-3978.
- Ho, C.L., Norton, S.S. 1991, Development of an Unstable Slope Management System, Washington State Department of Transportation, Report WA-RD 270.1.
- Hoek, E., Bray, J. 1981. Rock slope engineering, 3rd edition, The Institute of Mining and Metallurgy, London, Pp:353.
- Hungr, O., Evans, S.G., Hazzard, J. 1999. *Magnitude and frequency of rock falls and rock slides along the main transportation corridors of southwestern British Columbia*, *Canadian Geotechnical Journal*, 36, pp. 224–238.
- Kalafatçıoğlu, A. 1973, Antalya körfezi batı kısmının jeolojisi. *MTA Derg.* 81, 82-131.
- Kliche, C.A. 1999. Rock Slope Stability, Society for Mining Metallurgy, and Exploration, Inc., Littleton, Colorado.
- Ko-Ko, C., Flentje, P., Chowdhury, R. 2004, Landslides qualitative hazard and risk assessment method and its reliability, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 63(2), 149-165.
- Koşun, E., Sarıgül, A. ve Varol, B. 2005. Antalya tufalarının litofasiyes özellikleri. *MTA Dergisi*, 130, 50-70.
- Lefevre, R. 1967. Nouvel element dans la geologie du Taurus Lycien: les Nappes d' Antalya (Turquie). *C. R. De l'Academie des Sciences*, 7 (serie D265): 1365-1368
- Lowell, S., Morin, P. 2000. Unstable Slope Management, *Washington State: Transportation Research News*, No. 207, Washington, D.C., 11-15
- McMillan, P., Matheson, G.D. 1998, Rock Slope Hazard Assessment: A New Approach, In: *Geohazards in Engineering Geology*, eds: Maund, J.G. & Eddleston, M. Geological Society, Engineering Geology Special Publications, London, 15, 177-183.
- NHI (National Highway Institute) 1993. Rockfall Hazard Rating System participant's manual, NHI Course No. 130220, U.S. Dept. of Transportation, Federal Highway Administration, Publication No. FHWA SA-93-057.
- Nossin, J.J. 1989. SPOT stereo interpretation in karstic terrain, Southern Turkey. *ITC Journal*, 2.

- Özgül, A. 1976. Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. Türkiye Jeoloji Bülteni, 19, 65-78.
- Özgül, N. 1984. Stratigraphy and tectonic evolution of the Central Taurides. In: Tekeli O. and Göncüoğlu M.C. (Eds), Geology of the Taurus Belt. *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*. pp. 77-90.
- Pack, R.T., Boie, K. 2002, Utah Rockfall Hazard Inventory- *Phase I, Utah Department of Transportation, Research Division*, Report No. UT-03.01.
- Pierson, L.A., Van Vickie, R. 1993, Rockfall Hazard Rating System, Participant's Manual, National Highway Institute, Course No. 130220, Federal Highway Administration, No. FHWA SA-93-057: Springfield, VA, 105.
- Pierson, L.A. 1992, "Rockfall Hazard Rating System", *Transportation Research Record: Rockfall Prediction and Control and Landslide Case Histories*, No. 1343, 6-13.
- Poisson, A. 1977, Recherches geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie): These. Univ. Paris-Sud. Orsay, 795 p.
- Poisson, A., Yağmurlu, F., Bozcu, M. and Şentürk, M. 2003. New data concerning the age of Aksu Thrust in the south of the Aksu valley, Isparta Angle (SW Turkey): consequences for the Antalya Basin and the Eastern Mediterranean. *Geological Journal*, 38: 311-327
- Ritchie, A. M. 1963, *Evaluation of Rockfall and its Control*, In *Highway Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 17, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 13-28.
- Rose, B.T. 2005, Tennessee Rockfall Management System, (Doktora Tezi), Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA, Pp:107.
- Sönmez, H., Ulusay, R., 2002. A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi*, 26, 77-99.
- Szwilski, A.B. 2002, Rock fall rating, evaluation and data management systems for highway and railway rock slopes, College of information technology and engineering, Marshall University.
- Şenel, M. 1997. 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No. 7, Antalya O24 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Şenel, M., Dalkılıç, H., Gedik, I., Serdaroğlu, M., Bölükbaşı, S., Metin, S., Esentürk, K., Bilgin, A.Z., Uğuz, M.F., Korucu, M. Ve Özgül, N. 1992. Eğirdir-Yenişar-Bademli-Gebiz ve Geriş-Köprülü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi:TPAO Rap.3132, MTA Rap. 9390, 559s, Ankara(yayımlanmamış).

- Şenel, M., Gedik, I., Dalkışıcı, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.z., Uğuz, M. F., Bölükbaşı, A. F., Korucu, M. ve Özgül. N. 1996, Isparta büklümü doğusunda, otokton ve allohton birimlerin stratigrafisi(Batı Toroslar): MTA derg. 118, 11-160
- Şenel, M., Serdaroğlu, M., Kengil, R., Ünverdi, M. Ve Gözler, M. Z. 1981, Teke Torosları güneybatısının jeolojisi: MTA Derg. 95/96, 13-43.
- Şengör, A.M.C. and Yılmaz, Y. 1981, Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. Tectonophysics, 75: 181-241.
- Uçar F. 2014, 2-Boyutlu Rezistivite Yöntemi Kullanılarak Karstik Aktivite Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Akdeniz Üniversitesi, Antalya.
- Vandewater, C.J., Dunne, W.M., Mauldon, M., Drumm, E.C., Bateman, V. 2005, Classifying and Assessing the Geologic Contribution to Rockfall Hazard, Environmental & Engineering Geoscience, 11(2), 141-154.
- Varnes, D.J. 1978. Slope movement types and processes, Landslide Analysis and Control, R. L. Schuster and R. J. Krizak, eds., National Academy of Sciences, Washington, D.C., 11-33.
- Waltham, A.C. 1994, Foundations of Engineering Geology: Blackie Academic and Professional, Glasgow, Scotland, pp: 88.
- Wyllie, D.C., Norrish, N.I. 1996, "Rock Slope Stability Analysis", *Landslides Investigation and Mitigation, Transportation Research Board*, Special Report 247, 391- 425.
- Wyllie D.C. 1987, Rock Slope Inventory System, Proceedings of the Federal Highways Administration Rockfall Mitigation Seminary, FHWA Region 10, Portland Oregon.

7. EKLER

Çizelge 1. Her bir A-sınıfı şev için jeolojik karakterizasyon puanlamaları

Sınıflanan Şevler	İlçe	Yol No	Düzlemsel Kayma						
			Blok Boyutu	Diklik	Sürtünme	Yoğunluk		Toplam Puan	
						Toplamsal	Çarpımsal	Toplamsal	Çarpımsal
A1	Konyaaltı	D400	9	14	14	81	1,9	118	70
A2	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-	-
A3	Konyaaltı	D400	81	41	14	27	1,6	163	218
A4	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A5	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A6	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A7	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A8	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-	-

(Çizelge 1'in devamı)

Sınıflanan Şevler	İlçe	Yol No	Devrilme				
			Blok Boyutu	Yoğunluk		Toplamsal	
				Toplamsal	Çarpımsal	Toplamsal	Çarpımsal
A1	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-
A2	Konyaaltı	D400	41	41	1,75	82	72
A3	Konyaaltı	D400	14	9	1,4	23	20
A4	Kemer	D400	-	-	-	-	-
A5	Kemer	D400	122	122	2	244	244
A6	Kemer	D400	122	122	2	244	244
A7	Kemer	D400	122	122	2	244	244
A8	Konyaaltı	D400	3	5	1,2	8	4

(Çizelge 1'in devamı)

Sınıflanan Şevler	İlçe	Yol No	Kama						
			Blok Boyutu	Diklik	Sürtünme	Yoğunluk		Toplam Puan	
						Toplamsal	Çarpımsal	Toplamsal	Çarpımsal
A1	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-	-
A2	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-	-
A3	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-	-
A4	Kemer	D400	9	41	2	81	1,9	133	99
A5	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A6	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A7	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-	-
A8	Konyaaltı	D400	9	41	2	27	1,6	79	83

(Çizelge 1'in devamı)

Sınıflanan Şevler	İlçe	Yol No	Döküntü					
			Blok Boyutu	Blok Şekli	Yoğunluk		Toplam Puan	
					Toplamsal	Çarpımsal	Toplamsal	Çarpımsal
A1	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-
A2	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-
A3	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-
A4	Kemer	D400	3	27	3	1,15	33	35
A5	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-
A6	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-
A7	Kemer	D400	-	-	-	-	-	-
A8	Konyaaltı	D400	-	-	-	-	-	-

(Çizelge 1'in devamı)

Sınıflanan Şevler	Saha ve Yol Geometrisi	RHRS TOPLAM PUAN			
		Jeolojik Tehlike		RHRS Tehlike	
		Toplamsal	Çarpımsal	Toplamsal	Çarpımsal
A1	92	118	70	210	162
A2	277	82	72	359	349
A3	237	186	238	423	475
A4	159	166	134	325	293
A5	181	244	244	425	425
A6	157	244	244	401	401
A7	176	244	244	420	420
A8	128	87	87	215	215

ÖZGEÇMİŞ

İLKNUR AYTEN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017- devam ediyor	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, ANTALYA
Lisans 2012-2016	Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, ANTALYA

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Kalite Danışmanı ve Kalite Yöneticisi 2020- devam ediyor	Antalya Büyükşehir Belediyesi- Antalya Su ve Atıksu İdaresi (ASAT) Yapı Malzemeleri Laboratuvarı - ANTALYA
Kalite Yöneticisi- Jeoloji Mühendisi 2018-2020	İN-TEK Kalite Kontrol Proje Denetim Müşavirlik ve Tic. A.Ş., ANTALYA