

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**D400 KARAYOLUNUN ANTALYA KEMER KESİMİNDE KAYA DÜŞME
POTANSİYELİNE YÖNELİK "TEHLİKE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ"
UYGULAMASI VE MEVCUT SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ**

Ceren ATEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**D400 KARAYOLUNUN ANTALYA KEMER KESİMİNDE KAYA DÜŞME
POTANSİYELİNE YÖNELİK "TEHLİKE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ"
UYGULAMASI VE MEVCUT SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ**

Ceren ATEŞ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**D400 KARAYOLUNUN ANTALYA KEMER KESİMİNDE KAYA DÜŞME
POTANSİYELİNE YÖNELİK "TEHLİKE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ"
UYGULAMASI VE MEVCUT SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ**

Ceren ATEŞ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 16/05/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK (Danışman)
Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU
Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

ÖZET

D400 KARAYOLUNUN ANTALYA KEMER KESİMİNDE KAYA DÜŞME POTANSİYELİNE YÖNELİK "TEHLİKE SINIFLANDIRMA SİSTEMİ" UYGULAMASI VE MEVCUT SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ

Ceren ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Mayıs 2022; 63 sayfa

Bu çalışmanın amacı Antalya-Muğla karayolunun (D400) Sarısu-Kemer arasında kalan kesimindeki yol yarmalarında kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin geliştirilerek uygulanmasıdır. Bu amaçla geliştirilmesi planlanan kaya düşmesi tehlike sınıflandırması A.B.D'nin Tennessee eyaletinde uygulanmakta olan sistemdir.

Bu araştırmada; yol geometrisi ve trafik koşullarına bağlı olarak gelişen çeşitli parametreleri (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, hendek etkinliği, blok algılama mesafesi, yol genişliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) tehlike derecelerine göre sayısal olarak sınıflandıran ve “Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (RHRS)” olarak adlandırılan yöntemin kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sistemin jeolojik değerlendirmeler bölümünde ilk olarak şev yenilme türleri (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunma ve döküntü) belirlenmektedir. Daha sonra belirlenen şev yenilme türlerinin yoğunluk, blok boyutu, diklik, sürtünme gibi parametrelerinin çalışma alanında bulunma yüzdelerine göre puanlaması yapılmaktadır. Bu parametrelerin puanlamasının kişiden kişiye değişebileceği sistemin eksikliği olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, “Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi”nin jeolojik karakterizasyon bölümü yerine, “GSI Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi” olarak adlandırılan yöntemin kullanılarak, sistemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Böylece, sistemde kişiden kişiye değişebilecek yorumlamalar ortadan kaldırılmış olacaktır.

Tez kapsamında Antalya-Muğla karayolunun Sarısu-Kemer mevkiinde yapılan arazi çalışmaları sonunda 1 adet B-sınıfı şevi ve 7 adet A-sınıfı şevi tespit edilmiş ve A-sınıfı şevlerin ayrıntılı sınıflandırma çalışmaları yapılmıştır. 200 puan üzerindeki şevlerin hem saha ve yol geometrisi, hem de kaya kalite göstergesi bakımından diğerlerine göre daha yüksek puanlar alarak en tehlikeli şevleri oluşturdukları görülmüştür.

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

JÜRİ: Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Doç. Dr. Yasemin LEVENTELİ

ABSTRACT

APPLICATION OF THE “HAZARD CLASSIFICATION SYSTEM” FOR ROCKFALL POTENTIAL IN ANTALYA-KEMER SECTION OF THE D400 HIGHWAY AND DEVELOPMENT OF THE EXISTING SYSTEM

Ceren ATEŞ

MSc. Thesis in Department of Geological Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Özgür AKTÜRK

May 2022; 63 pages

The aim of this study is to develop and apply the rockfall hazard classification system in the road cuts on the Antalya-Muğla highway between Sarısu Kemer. For this purpose, the rockfall hazard classification applied and planned to be developed is the system applied in the US state of Tennessee.

In this study, "Tennessee Rockfall Hazard Classification System", which numerically classifies various parameters (slope height, vehicle risk average, trench activity, block detection distance, road width, rockfall history, presence of water on the slope) depending on the road geometry and traffic conditions, according to their hazard degrees. (RHRS)” is intended to be used. In the geological evaluations section of this system, firstly, slope failure types (planar, wedge, overturning, differential weathering, and debris) are determined. Then, the parameters of the determined slope failure types such as density, block size, steepness, friction are scored according to the percentage of their presence in the study area. It is thought as the lack of the system that the scoring of these parameters can vary from person to person. For this reason, it is aimed to develop the system by using the method called "GSI Rock Mass Classification System (Geological Strength Index)" instead of the geological characterization section of the "Rockfall Hazard Classification System". Thus, a system that is based only on numerical calculations and numerically classifies the properties of rock masses will be used, and interpretations that may vary from person to person will be eliminated.

As a result of the field studies carried out in Sarısu-Kemer location of Antalya-Muğla highway within the scope of the thesis, 1 B-class slope and 7 A-class slopes were determined and detailed classification studies of A-class slopes were made and the site and road geometry of the slopes above 200 points, In addition, it was seen that they formed the most dangerous slopes by getting higher scores than the others in terms of rock quality indicator.

KEYWORDS: GSI, Highway, Rock Fall Hazard Rating System, Slope

COMMITTEE: Assist. Prof. Dr. Üyesi Özgür AKTÜRK

Prof. Dr. Hakan Ahmet NEFESLİOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Yasemin LEVENTELİ

ÖNSÖZ

“D400 Karayolunun Antalya-Kemer Kesiminde Kaya Düşme Potansiyeline Yönelik “Tehlike Sınıflandırma Sistemi” Uygulaması ve Mevcut Sistemin Geliştirilmesi” başlıklı hazırlanmış olan bu çalışma, 2019-2022 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Bugün sizlere sunmuş olduğum tezimin çalışmaları boyunca bana önemli bilgiler veren ve motive eden değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Özgür AKTÜRK’e, hem tez yazım aşamasında hem de arazi çalışmalarında her zaman yanımda olan kıymetli hocalarımdan Arş. Gör. Dr. Fatih UÇAR’a, tez çalışmam boyunca göstermiş olduğu destek ve anlayıştan ötürü saygıdeğer patronum Aykut İPEKTEN’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Karşılaştığım zorluklarda her zaman yanımda olan dostlarıma, bana karşı olan güvenleri, inançları ve her konuda göstermiş oldukları sonsuz destek için canım anneme, babama ve kardeşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

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	1
1.2. Çalışma Alanının Konumu	2
1.3. Bölgenin Coğrafi Koşulları	3
1.4. Bölgenin İklim Koşulları.....	4
2. KAYNAK TARAMASI.....	5
2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi	5
2.2. Bölgenin Tektonik Yapısı	8
2.3. Literatür Çalışması	8
2.3.1. Önceki çalışmalar	10
2.4. Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları.....	10
2.5. Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması.....	13
3. MATERYAL VE METOT.....	21
3.1. Materyal	21
3.2. Metot	21
3.2.1. Tennessee kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi	21
3.2.1.1. İlksel sınıflandırma	21
3.2.2. Arazi çalışmaları	22
3.2.2.1. Saha ve yol geometrisi	25
3.2.2.2. Jeolojik değerlendirmeler.....	30
4. BULGULAR	31
4.1. Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sisteminin Çalışma Alanında Değerlendirilmesi	31
4.1.1. İlksel sınıflandırma.....	32
4.1.2. Detaylı sınıflandırma.....	35
5. TARTIŞMA.....	57

6. SONUÇLAR	58
7. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ	



AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “D400 Karayolunun Antalya-Kemer Kesiminde Kaya Düşme Potansiyeline Yönelik “Tehlike Sınıflandırma Sistemi” Uygulaması Ve Mevcut Sistemin Geliştirilmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

16/05/2022

Ceren ATEŞ

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	: Yüzde
<	: Küçük
>	: Büyük
h	: Saat
Ho	: 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
RHRS	: Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi
RQD	: Kaya Kalite Göstergesi
YOGT	: Ortalama Günlük Trafik Değerleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008).....	2
Şekil 1.2.	Antalya ilinin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014).....	3
Şekil 1.3.	Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Çalaman 2004).....	4
Şekil 2.1.	Toroslar kuşağının coğrafik alt bölümleri (Özgül 1984) (KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KAF: Kuzey Anadolu Fayı).....	5
Şekil 2.2.	Orta ve Batı Toroslar'daki ana jeolojik birimler (Özgül 1984, Şenel vd. 1997, 2016; Poisson vd. 2013).....	6
Şekil 2.3.	Antalya naplarına ait genelleştirilmiş stratigrafik kesitler (Şenel vd. 2010'dan basitleştirilmiştir, ölçeksizdir).....	7
Şekil 2.4.	Antalya ve civarının jeolojisini gösteren harita (Akay vd 1985, Dipova ve Doyuran 2006b'den değiştirilmiştir).....	8
Şekil 2.5.	Kaya şev yenilme türleri: (a) Düzlemsel yenilmeler, (b) Kama yenilmeleri, (c) Devrilme yenilmeleri, (d) Dairesel yenilmeler (Hoek ve Bray (1981) tarafından değiştirilmiş diyagramlar).....	9
Şekil 2.6.	Enerji kapasitesi (kJ Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları (Grassl H. 2002).....	11
Şekil 2.7.	Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi (Escallon vd. 2014).....	11
Şekil 2.8.	Örnek puanlama grafiği (Pierson 1992).....	18
Şekil 3.1.	Çalışmada kullanılan DISTO D810 TOUCH marka lazer metre.....	26
Şekil 4.1.	Çalışma alanının 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası (MTA 2008)	32
Şekil 4.2.	B-sınıfı şevinin genel görüntüsü	33
Şekil 4.3.	Bölgenin kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası	34
Şekil 4.4.	Şevdeki kaya bloklarının detaylı görüntüsü	34
Şekil 4.5.	Bölgenin kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası	35
Şekil 4.6.	2020 yılı Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü Devlet Yolları Hacim Haritası.....	36
Şekil 4.7.	Çalışma alanına ait 1. Bölgedeki karayolu şevinin görüntüsü	38
Şekil 4.8.	A1-sınıfı şevinin yenilme türü ve çelik ağların görünümü	39
Şekil 4.9.	A2-sınıfı şevine ait destekleme amaçlı yapılan bulonların görüntüsü	41
Şekil 4.10.	Çelik ağda biriken malzemelerin görüntüsü	42
Şekil 4.11.	A3-sınıfına ait şev görüntüsü	44
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.....	45

Şekil 4.13.	A4- Sınıfı şevine ait görüntü (Kemer istikameti).....	47
Şekil 4.14.	Eklem takımlarının oluşturduğu yenilme türü görüntüsü	47
Şekil 4.15.	A5-sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti).....	49
Şekil 4.16.	A5-sınıfı şevine ait görüntü.....	50
Şekil 4.17.	A6-sınıfı şevin karşıdan görüntüsü	52
Şekil 4.18.	A6-sınıfı şevine ait görüntü.....	52
Şekil 4.19.	A6-sınıfı şevine ait yakından görüntü.....	53
Şekil 4.20.	A7 sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti).....	55
Şekil 4.21.	A7-sınıfı şevine ait birimlerin görüntüsü.....	55



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları Andrew, R. D. vd. (2011)	12
Çizelge 2.2.	İlksel Oregon sınıflama sistemi (Pierson 1992)	15
Çizelge 2.3.	Oregon kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin puanlama tablosu (Pierson 1992)	17
Çizelge 2.4.	Üstel formüller (Pierson 1992).....	18
Çizelge 3.1.	İlksel Oregon sınıflandırma sistemi (Pierson 1992).....	22
Çizelge 3.2.	“Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflaması” Puanlama Tablosunun “GSI Kaya Kütlesi Sınıflama Sistemi’nin” Entegre Edilerek Geliştirilmiş Hali (ön sayfa)	24
Çizelge 3.3.	Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflaması” Puanlama Tablosu (arka sayfa)	25
Çizelge 3.4.	Hendek etkinliği tablosu	29
Çizelge 4.1.	“A1- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	39
Çizelge 4.2.	“A1-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	40
Çizelge 4.3.	“A2- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	43
Çizelge 4.4.	“A2-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	43
Çizelge 4.5.	“A3- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	46
Çizelge 4.6.	“A3-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	46
Çizelge 4.7.	“A4- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	48
Çizelge 4.8.	“A4-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	48
Çizelge 4.9.	“A5- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	51
Çizelge 4.10.	“A5-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	51
Çizelge 4.11.	“A6- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	53
Çizelge 4.12.	“A6-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	54

Çizelge 4.13. “A7- sınıfı” şev için saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterleri için puanlama sonuçları.....	56
Çizelge 4.14. “A7-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları	56
Çizelge 6.1. 7 adet A-sınıfı şevin toplam tehlike puanlarını gösteren tablo.....	59



1. GİRİŞ

Bir karayolu güzergahı boyunca trafik akışının yoğunluğuna bağlı olarak meydana gelen titreşimler, depremlerin neden olduğu kuvvetli yer hareketleri ve atmosferik etkiler kaya şevlerinde duraysızlıklara neden olmakta ve sürüş güvenliğinin sağlanması için bu duraysızlıkların önceden belirlenip önlem alınması gerekmektedir. Bu sebeple A.B.D.'nin Ulusal Karayolları Kurumu tarafından “Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması (RHRS)” adı altında bir sistem geliştirilmiş (NHI, 1993) ve bu sistem yine A.B.D.'nin çeşitli eyaletleri tarafından geliştirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada ise Tennessee eyaletinde kullanılan ve Cain (2004) tarafından son hali verilen sistem temel alınacaktır. Söz konusu sistem iki bölümden oluşmaktadır ve ilk bölümünde saha ve trafik koşullarına bağlı olarak değişiklik gösteren parametreler (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok algılama uzaklığı, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) dikkate alınmaktadır. İkinci bölümünde ise jeolojik değerlendirmeler (karakterizasyon) yapılmakta ve şev yenilme türleri (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunmaya bağlı kaya düşmesi ve döküntü) belirlenmektedir. Ancak, şev yenilme türlerinin puanlaması, gözlemsel olarak, belirlenen lokasyonlarda yenilme türünün bulunma yüzdeleri esas almakta olup, kişiden kişiye farklı yorumlanabileceği ve sayısal olarak kesin sonuçlar vermeyeceği düşünülmüştür. Dolayısıyla, “Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi'nin (RHRS)” jeolojik değerlendirmeler (karakterizasyon) bölümünde Hoek (1981) tarafından önerilen ve daha sonra Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından geliştirilen “GSI Kaya Kütlesi Sınıflandırma Sistemi (Geological Strength Index)”nin kullanılması amaçlanmaktadır. Sönmez ve Ulusay (2002) tarafından geliştirilen GSI kaya kütlesi sınıflandırma sistemi, kaya kütlelerinin özelliklerini (hacimsel eklem sayısı, süreksizlik yüzeylerinin yapısı) belirleyen ve kişiden kişiye değişen farklı yorumlamaları ortadan kaldıracak bir sistem olmasından dolayı söz konusu kaya düşme tehlike sınıflandırma sistemine uyarlanacaktır. Trafik akışının yoğun olması ve yapılan ön arazi çalışmaları sonucunda şev duraysızlıklarına sıklıkla rastlanması sebebi ile çalışma alanı olarak Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer arasında kalan kesimi seçilmiştir.

1.1. Çalışmanın Amacı

Karayollarını diğer mühendislik yapılarından ayıran en önemli özellik, güzergah boyunca değişebilen birçok farklı jeolojik birimi barındırmasıdır. Yol boyunca geçilen jeolojik birimlerin kütle karakterizasyonunun iyi yapılması, yolun her iki tarafındaki şevlerin tasarımının güvenli olmasını sağlayacaktır. Bu tez kapsamında, karayolu boyunca karşılaşılan şev duraysızlıklarına yönelik olarak geliştirilen ve bu şevleri tehlike derecelerine göre sınıflandıran “Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (RHRS) (Cain, 2004)” temel alınacaktır. ABD'nin çeşitli eyaletlerinin karayolları kurumları tarafından yaygın olarak kullanılan bu sistemin eksikleri yapılan ön arazi çalışmaları sonucunda belirlenmiş ve bu eksiklerin giderilmesine yönelik olarak sistemin geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu araştırmada; yol geometrisi ve trafik koşullarına bağlı olarak gelişen çeşitli parametreleri (şev yüksekliği, araç risk ortalaması, hendek etkinliği, blok algılama mesafesi, yol genişliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı) tehlike derecelerine göre sayısal olarak sınıflandıran ve “Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (RHRS)” olarak adlandırılan yöntemin kullanılması amaçlanmaktadır. Bu sınıflandırma

sisteminin jeolojik değerlendirmeler (karakterizasyon) bölümünde ilk olarak şev yenilme türleri (düzlemsel, kama, devrilme, farklı bozunma ve döküntü) belirlenmektedir. Daha sonra belirlenen şev yenilme türlerinin yoğunluk, blok boyutu, diklik, sürtünme gibi parametrelerinin çalışma alanında bulunma yüzdelere göre puanlaması yapılmaktadır. Bu parametrelerin puanlamasının kişiden kişiye farklı yorumlanabileceği ve kesin sonuçlar vermeyeceği sistemin eksikliği olarak düşünülmektedir. Bu nedenle, “Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi’nin” jeolojik karakterizasyon bölümü yerine, “GSI Kaya Kütleli Sınıflama Sistemi (Geological Strength Index)” olarak adlandırılan yöntemin (Sönmez ve Ulusay, 2002) kullanılarak, sistemin geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Ulaşım kolaylığı, çalışma güvenliği ve şev duraysızlıklarının yoğun olarak gözlemlendiği bir güzergah olması nedeniyle çalışma sahası olarak Antalya-Muğla D400 Karayolu’nun Sarısu-Kemer arasında kalan kesimi seçilmiştir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008)

1.2. Çalışma Alanının Konumu

Antalya bölgesi Batı Toroslar'ın güneyinde yer almaktadır. Antalya İli, 29°16'-32°36' doğu boylamları ile 36°05'-37°26' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.2). Antalya İli, Akdeniz bölgesinin batısında yer almakta olup doğuda Mersin ve Karaman, kuzeydoğuda Konya, kuzeyde Isparta ve Burdur, batıda Muğla ile komşudur. Kentin yüzölçümü 20.909 kilometrekaredir (Harita Genel Komutanlığı 2009). Bu da Türkiye yüzölçümünün %2,7'sine (783.562 kilometrekare) eşittir. Antalya İli, Akdeniz bölgesinin batı kesiminde yer almakta olup, bölgenin %17,6'sını oluşturmaktadır. İl, doğal ve kültürel coğrafi özellikler açısından oldukça zengin kaynaklara sahiptir.



Şekil 1.2. Antalya ilinin coğrafi koordinatlarını gösteren uydu görüntüsü (Uçar 2014)

Çalışma alanı 1:25000 ölçekli 3 topografik haritanın O25a4, O25d1 ve O25d4 tablolarında yer almaktadır.

1.3. Bölgenin Coğrafi Koşulları

Antalya İli, karayolu ağı ile Türkiye'nin her yerine ulaşım imkanına sahiptir. İç Anadolu ile Ege bölgesini birbirine bağlayan, her mevsim ulaşımına uygun çok sayıda yol bulunmaktadır. Antalya'da ana yol Antalya-Burdur (veya Isparta)-Afyon hattıdır. Bu rota, Türkiye'nin üç büyük şehrinden gelen yolları bir araya getirir. Afyon-Bilecik-Adapazarı üzerinden İstanbul'a, Afyon-Uşak üzerinden İzmir'e ve Afyon-Polatlı hattı ile Ankara'ya bağlıdır.

Şehir deniz seviyesinden 42 metre yükseklikte olup, Antalya Körfezi'nin kuzeybatı kıyısında deniz seviyesinden 25-30 metre yükseklikte bir bank (uçurum) üzerine kurulmuştur. Antalya'nın kıyı kesimlerinde; Gazipaşa, Alanya, Manavgat, Serik, Kemer, Kumluca, Finike, Kale ve Kaş, yayla kısmında; Gündoğmuş, Akseki, İbradı, Korkuteli ve Elmalı ve merkez ilçeler Aksu, Döşemealtı, Kepez, Konyaaltı ve Muratpaşa olmak üzere 19 ilçesi, 103 beldesi ve 543 köyü bulunmaktadır. Sahildeki ilçelerin rakımı 5-44 metre, yayla kısmı deniz seviyesinden 900-1100 metre yüksekliktedir (Çalaman ve Çalaman 2004).

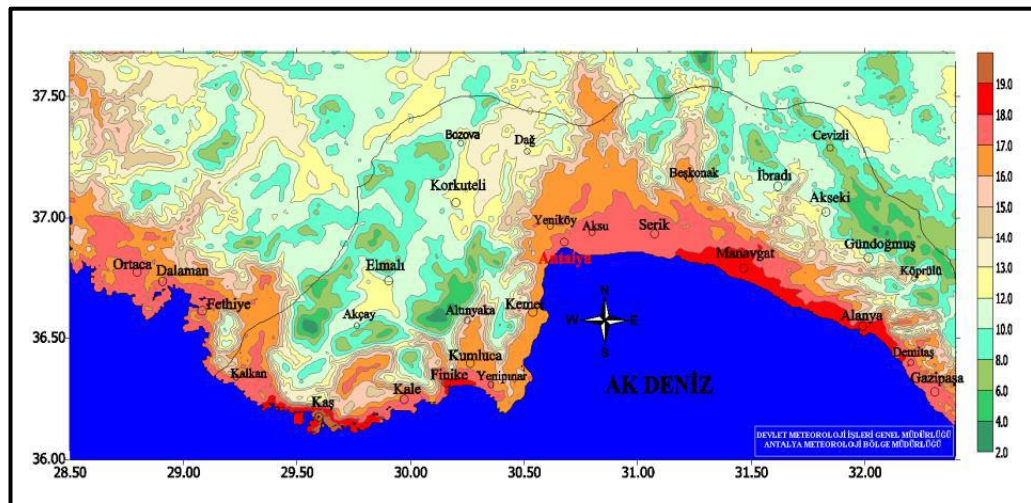
Güneyinde Akdeniz, kuzeyinde denize paralel uzanan Batı Toroslar bulunan Antalya şehri, batısında Bey Dağları ve doğusunda Geyik Dağları ile sınırlanmıştır (Şekil 1.2). Topoğrafik yapısından dolayı ön taraflarında dar kıyı düzlükleri ve bunların gerisinde yüksek sıradağlardan oluşan Antalya'da yükselti, Konyaaltı kıyısının 1 km gerisinde yaklaşık 600 metreye, Konyaaltı kıyısının 20 km gerisinde ise yaklaşık 2500 metreye kadar ulaşır.

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

Antalya'daki akarsu sayısı 29'u bulmaktadır. Bu akarsuların 25'i denize ve 4'ü içerideki göllere dökülmektedir veya göllerden çıkıp ovalarda kaybolmaktadır. Bazıları ise yazın kuruyan küçük dereciklerdir. Bunun yanı sıra; Eşen Çayı, Aksu, Köprüçayı ve Manavgat Irmağı gibi büyük debili akarsular da bulunmaktadır. Bu akarsular diğer Akdeniz illerinde olduğu gibi düzensiz rejime sahip dere ve çaylardır. Debileri ise mevsime göre değişiklik gösterir. Akarsuların yaz sonuna doğru suları azalır hatta çoğu komple kurur. Bunun sebebi yazların sıcak ve kuru geçmesidir. Sonbahar sonlarında yağmurların başlamasıyla birlikte su düzeyi artar ve ilkbaharda Toros Dağları'ndaki karların erimesiyle son aşamaya ulaşır. Kaynakları Toroslar olan dere ve çaylar çoğu zaman erozyon olayını tetiklemektedir.

1.4. Bölgenin İklim Koşulları

Antalya bölgesinde kışları ılık ve yağışlı yazları sıcak ve kurak olan Akdeniz İklimi hakimdir. Toros Sıradağları güneyden gelen yağışlı ve nemli hava etkisini artırarak belirli yükseklikte yağışın artışına sebep olmaktadır. Yağış tipi sahilde yağmur, iç kesimlerin yükseklerinde kış aylarında karla karışık yağmur ve kar yağışı olarak görülmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı: 1043.2 kg/m² Yıllık sıcaklık ortalaması: 18.4°C, 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. Rüzgar en fazla Kuzey-Kuzeybatı yönünden esmektedir. Aylar itibariyle ortalama basınç 1006,6 (hPa) olarak gerçekleşmiştir (Çalaman 2004) (Şekil 1.3).



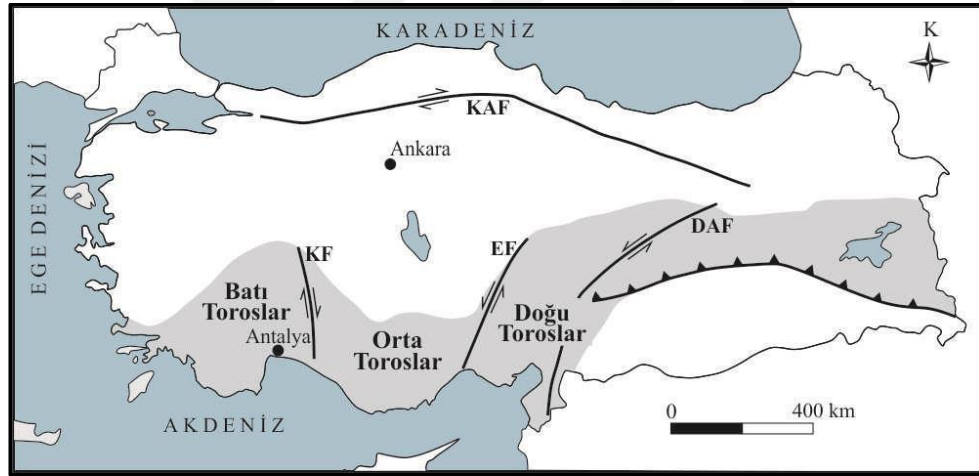
Şekil 1.3. Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı (Çalaman 2004)

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Antalya'nın Genel Jeolojisi

Orta Toroslar'da yer alan Antalya Birliği, Batı Toroslar'daki "Antalya Napları" ya da diğer adıyla "Antalya Karmaşığı" olarak anılan kaya topluluklarının devamını oluşturmaktadır. Bu bölgeye hakim olan kaya birimleri ikiye ayrılır. Bunlar allokton ve otokton birimlerdir (Blumenthal 1951, Özgül ve Arpat 1973, Özgül 1976, 1984, Okay ve Özgül 1984, Okay 1986). Bölgenin allokton birimlerini Antalya Napları oluşturur. Anamas-Akseki görelî otoktonu (Kambriyen-Eosen) platform tipi karbonat çökellerden oluşur ve Beydağları görelî otoktonu (Jura-Miyosen) ile birlikte ana kaya olarak konumlanmışlardır. Bu birimler daha sonra allokton birimlerin yerleşeceği ve genç otokton birimlerin ise çökeleceği kaya birimleri haline gelmişlerdir (Akay vd. 1985).

Toros Dağ Kuşağı, Türkiye'deki ana tektonik hatlardan biri olmakla birlikte Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı üzerinde Doğu Akdeniz Havzasında bulunmaktadır (Şengör ve Yılmaz 1981). Toroslar Bölgesi jeolojik ve morfolojik özellikler göz önüne alındığında 3 bölgeye ayrılmaktadır. Bunlar Batı Toroslar, Orta Toroslar ve Doğu Toroslar olarak adlandırılır (Şekil 2.1.).



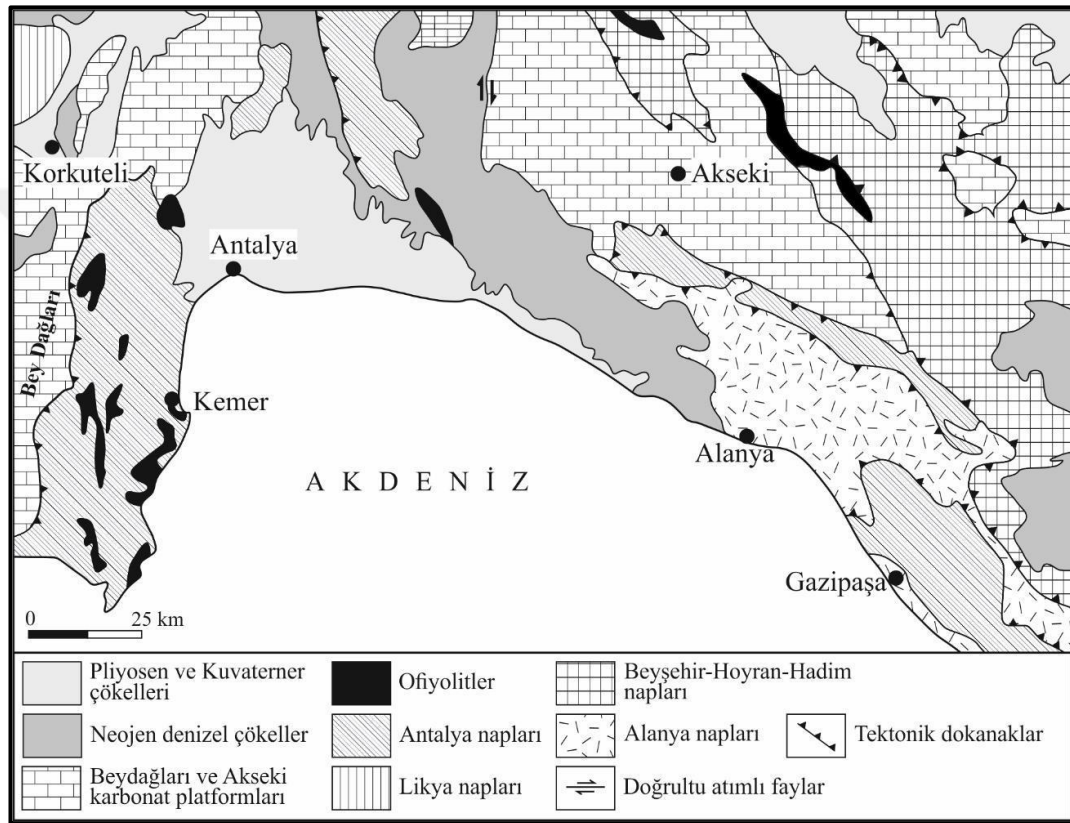
Şekil 2.1. Toroslar kuşağının coğrafik alt bölümleri (Özgül 1984) (KF: Kırkkavak Fayı; EF: Ecemiş Fayı; DAF: Doğu Anadolu Fayı; KAF: Kuzey Anadolu Fayı)

Toros Dağları sürekli fakat düz olmayan bir kuşaktır. Güneyde Akdeniz kıyılarına paralel, doğu ve güneydoğuda KD ve B-KB yönlerindedirler. Bu genel görüşten sonra Toroslar'ın bazı jeolojik ve yapısal özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

-Bu birim, Ordovisiyen'den başlayarak Miyosen'in sonuna kadar denizel fasiyeslerde gelişmiş metamorfik olmayan oluşumları içerir.

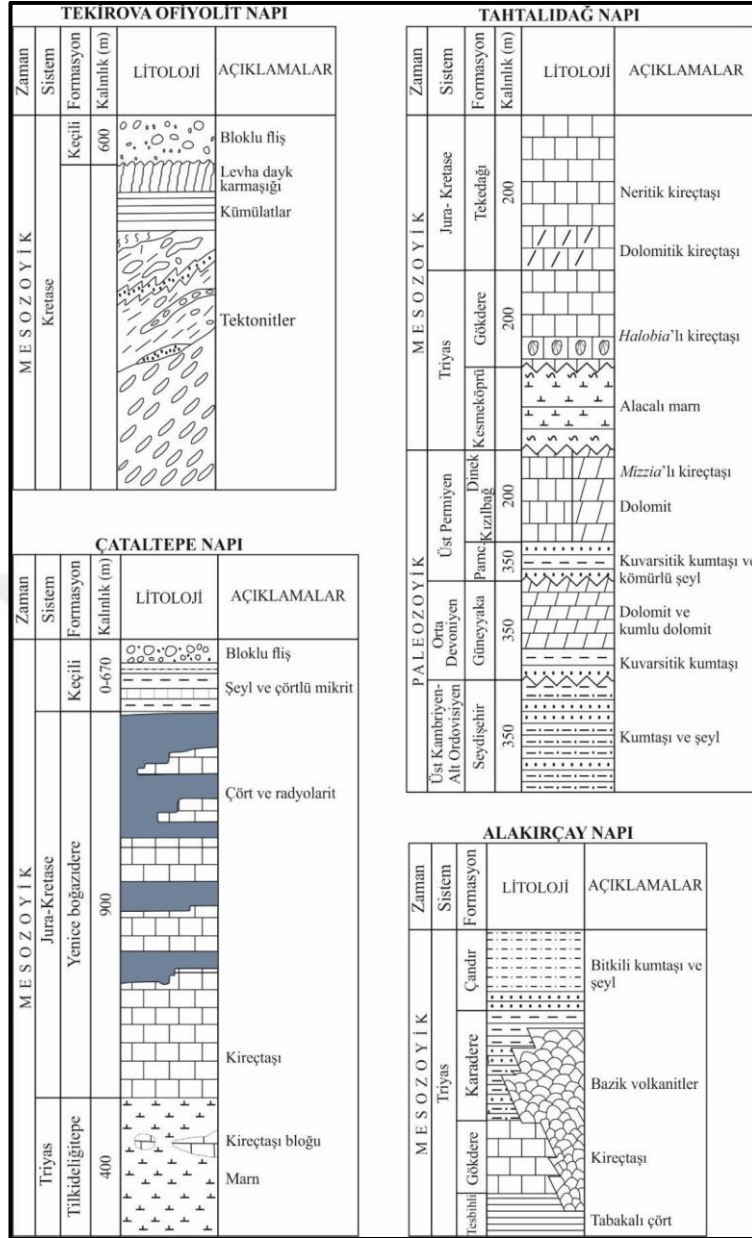
-Paleozoik ve Mesozoyik çökeller sürekli, uyumlu bir dizi oluşturur; aralarında herhangi bir uyumsuzluk gözlemlenmemiştir. Torosların batı kesimindeki "kapsamlı dizi" bu tür bir sürekliliğin en iyi kanıtını oluşturmaktadır.

-Toros sistemindeki magmatik sokulumlar Kretase döneminde, özellikle Turoniyen ve Senoniyen'de çok aktiftir. Aladağ yöresinden serpantinler ve Pozantı bunlara örnektir. Hercynian veya Kimmerian gibi daha eski izinsiz girişler bilinmemektedir (Ketin, 1965) (Şekil 2.2.).



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

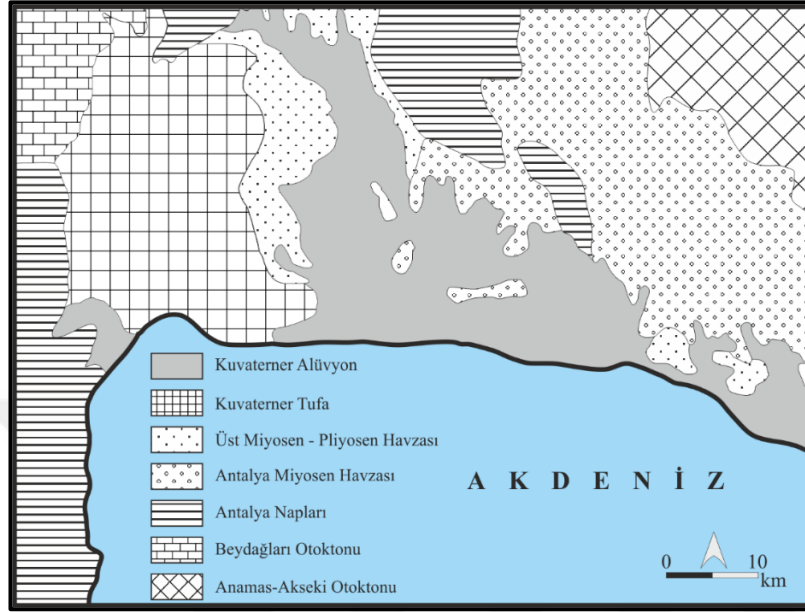
Kambriyen-Üst Kretasede oluşmuş platform karbonatları, ofiyolitik kayaçlar ve havza çökellerinden oluşan Antalya napları (Özgül 1976, 1984; Poisson vd. 2003) ilk olarak Lefevre (1967) tarafından tanımlanmıştır. İlk olarak Alt nap (Çataltepe ünitesi), Orta nap (Alakırçay ünitesi), Üst nap (Tahtalıdağ ünitesi) olarak bölümlendirilmişlerdir (Brunn vd. 1971). Ancak daha sonra Şenel vd. (1992, 1996) tarafından 4 alt sisteme ayrılmış ve Çataltepe napı, Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolit napı olarak yeniden bölümlendirilmişlerdir (Şekil 2.3). Çalışma bölgesinde Antalya naplarına ait Alakırçay napı, Tahtalıdağ napı ve Tekirova ofiyolit napı hakimdir.



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

Poisson (1977) tarafından “Antalya Travertenleri” olarak tanımlanan kalkerli birimler bölgenin hakim litolojisini oluşturmaktadır. Bu birimler Antalya ilinin 30 km kuzeyindeki Kırkgöz kaynaklarından çıkan karst sularının eğimli ve kısmen geçirimli tabanından akarak çökelen karbonatlardan oluşur. Toplamda 630 km² alana yayılan travertenler Batıda Beydağları'ndan Doğuda Aksu Çayı'na 21 km, Güneyde deniz kenarından Kuzeydeki Kırkgöz kaynaklarına kadar 30 km uzanmaktadır (İnan 1985). Travertenler ikincil kalsiyum karbonat çökelmelerinden oluşmuştur ve 1996 senesinden sonra “Tufa” olarak adlandırılmışlardır. Bunun nedeni travertenlerin düşük ortam

sıcaklığında, tatlı suların etkisi altında oluşan ılık su çökelleri olmasıdır (Dipova ve Doyuran 2006a) (Şekil 2.4.).



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

2.2. Bölgenin Tektonik Yapısı

Beydağları Zonu, kıtasal kabuk üzerine kurulmuş önemli bir karbonat platformunu temsil eder. Bu platform orta-geç Triyas'ta kıtasal riftleşme sırasında ortaya çıkmış ve Miyosen'deki tektonik bindirmeye kadar Mesozoyik ve erken Tersiyer boyunca gelişmiştir (Poisson, 1978).

Mesozoyik'te Kumluca Zonu, Bey Dağları platformunun pasif kenarının bir parçasını oluşturmuştur. Kemer Zonu'nun kökeni belirsizliğini koruyor, Tekirova Zonu ise daha genç, daha aksenal, okyanusal kabuğun yerleşmiş bir kalıntısı olarak kabul ediliyor. Bu yorum, Antalya Kompleksi'nin bu bölümünün başlangıçta Beydağları'ndan uzak olduğu ve Torosların daha iç bölgelerinden gelen büyük ölçüde allokon bir tabakanın parçası olduğu şeklindeki günümüzde tercih edilen görüşten ayrılmaktadır (Robertson and Woodcock, 1981).

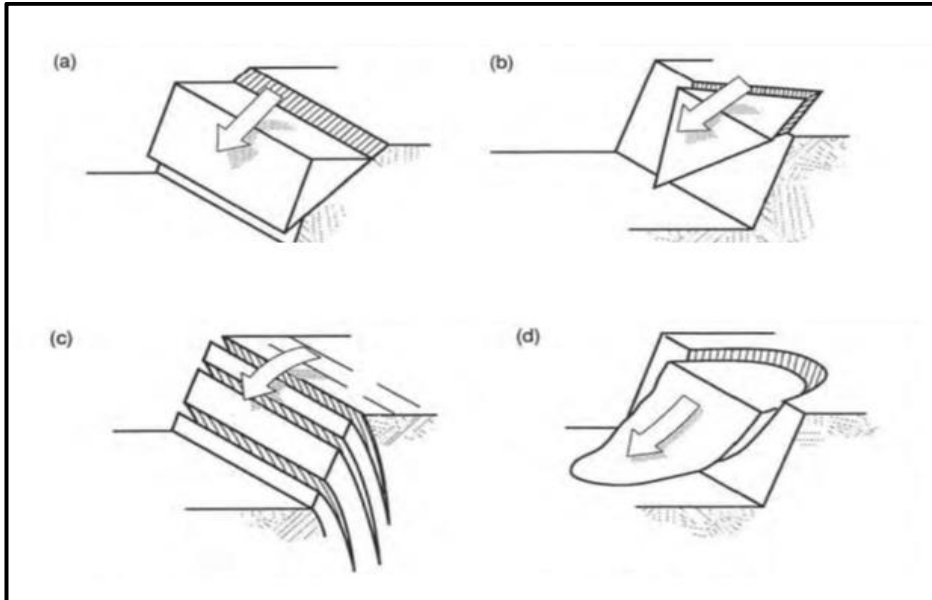
2.3. Literatür Çalışması

Genellikle kaya düşmeleri, kaya kütlelerine etki eden kuvvetlerde dengesizliğe neden olan iklimsel, jeolojik ve biyolojik olaylar gibi faktörler tarafından üretilir. Bu olaylar: suyun sızmasıyla boşluk basıncının artması, yoğun yağış nedeniyle erozyon, donma ve çözülme işlemleri, kayaların kimyasal parçalanması, herhangi bir tektonik aktivite nedeniyle kaya kütlelerinde süreksizliklerin oluşması, büyüyen bitki kökleri,

hayvanların oyuklanması veya patlatma nedeniyle önceden var olan çatlakların genişlemesi veya süreksizliklerin veya kırıkların oluşmasıdır. Kaya düşmeleri, yağış gibi meteorolojik faktörler, ağaçlar ve hayvanlar gibi biyolojik faktörler ve patlatma ve depremlerin neden olduğu titreşimler tarafından başlatılabilir. Bir kaya düşmesi başlatıldığında, davranışı büyük ölçüde şev geometrisinden, şev pürüzlülüğünden ve yanal varyasyondan etkilenir (Siddique vd. 2019). Pfeiffer ve Bowen (1989)'e göre yüzey düzensizlikleri, bir kayanın yüzeye çarpma açısını değiştirebilir ve bu nedenle, düşen blokların sıçrama yüksekliğini ve yörüngelerini belirlemede önemlidir.

Wyllie (1996) yapmış olduğu çalışmalar sonucunda kaya düşmesi kategorilerinin tanınmasının uygun analitik yöntemlerin uygulanması açısından esas olduğunu belirtmiştir. Bu kapsamda Şekil 2.5'te gösterildiği gibi, çoğu kaya şev yenilmeleri, yapısal kontrol tipine ve derecesine bağlı olarak dört kategoriden birinde sınıflandırılabilir:

- Düzlemsel yenilmeler, bir şev yüzeyinden dışarı doğru eğimli tek bir süreksizlik yüzeyi tarafından yönetilir (Şekil 2.5a).
- Kama yenilmeleri, şev yüzeyinden dışarı doğru eğimli bir kesişme çizgisine sahip iki süreksizlik tarafından tanımlanan bir yenilme kütesini içerir (Şekil 2.5b).
- Devrilme yenilmeleri, şev yüzeyine dik bir şekilde dalan süreksizliklerle tanımlanan kaya bloklarını veya sütunlarını içerir (Şekil 2.5c).
- Dairesel yenilmeler, ya çok kırıklı ya da düşük sağlam dayanıma sahip malzemeden oluşan kaya kütlelerinde meydana gelir (Şekil 2.5d).



Şekil 2.5. Kaya şev yenilme türleri: (a) Düzlemsel yenilmeler, (b) Kama yenilmeleri, (c) Devrilme yenilmeleri, (d) Dairesel yenilmeler (Hoek ve Bray (1981) tarafından değiştirilmiş diyagramlar)

2.3.1. Önceki çalışmalar

Bu aşamada inceleme alanı ve çevresi ile ilgili bütün jeolojik verilerin sağlanmasına ilişkin literatür taraması yapılmıştır. Çalışma bölgesinde yapılmış olan tezler, makaleler ve raporlar incelenmiştir.

Özgül (1976), “Toroslar’ın Bazı Jeoloji Özellikleri” adlı çalışmasında Toros kuşağında içerdikleri kaya birimleri ve stratigrafik özellikleri bakımından birbirinden farklı “Birlik”ler olduğunu belirtmiştir. Bu birlikler Aladağ Birliği, Bolkar Dağı Birliği, Geyik Dağı Birliği, Alanya Birliği, Bozkır Birliği ve Antalya Birliği şeklindedir ve ayırt edici özelliklerini kaybetmeden yüzlerce kilometre devamlılık göstermektedirler. Aynı zamanda bu birlikler birbirlerine alloktan örtü oluşturlar ve anormal dokanaklıdırlar.

Kalafatçıoğlu (1974) “Geology of The Western Part of Antalya Bay” adlı çalışmasında incelenen alanın tektonik yapısının çok sayıda fay, bindirme, bindirme ve bindirme yapılarıyla karakterize olduğunu belirtmiştir. Art arda gelen tektonik birimler, yani antiklinaller ve senklinaller, genellikle Antalya Körfezi'nin batı kıyısına paralel olarak uzanır. Tabakaların çökme ve fasiyesi ile kıvrımlanmanın eksen ve doğrultuları bölgenin tektonik yapısının karmaşık olmadığını gösterir ve basit bindirmeli yapılarla karakterizedir.

Dipova (2010) “Boğaçay (Antalya) Kıyı Ovası’nın Mühendislik Jeolojisi Değerlendirmeleri” adlı çalışmasında Boğaçay kıyı ovasının zemin yapısının fazlasıyla karmaşık olduğunu ve lagün çökellerden oluştuğunu belirtmiştir. Bölge 3 diri fay kuşağının arasında kalmaktadır ve bölgede deprem şiddeti zemine kayaya göre daha fazla hissedilecektir. Bunun sebebi zemin kalınlığının fazla olması ve zeminin yumuşak olmasıdır.

Koşun vd. (2005), “Antalya Tufalarının Litofasiyes Özellikleri” adlı çalışmasında “traverten” ve “tufa” terminolojileri ele alınmıştır. Çalışmalar sonucunda alandaki kayaçların bitki ve hayvan kalıntıları içerdiği ve soğuk kaynak suyu ortamında oluştukları belirlenmiştir. Buna dayanarak kayaçların “traverten” değil “tufa” olduğu sonucuna varılmıştır ve Antalya Tufaları olarak isimlendirilmiştir. Antalya Tufa Platosu coğrafi bilgi sistemi çalışmaları sonucunda belirlenmiş irili ufaklı 12 adet plato sisteminden oluşmaktadır. Bunların 3 tanesi, Üst plato (Döşeme altı platosu), alt plato (Düden platosu) ve deniz altında bulunan platolardır ve diğer 9 tanesi çoğunluğu düden platosu bünyesinde olmak üzere üst ve alt platoların içinde yer alırlar.

2.4. Kaya Düşmelerine Karşı Kullanılan Önleme Yapıları

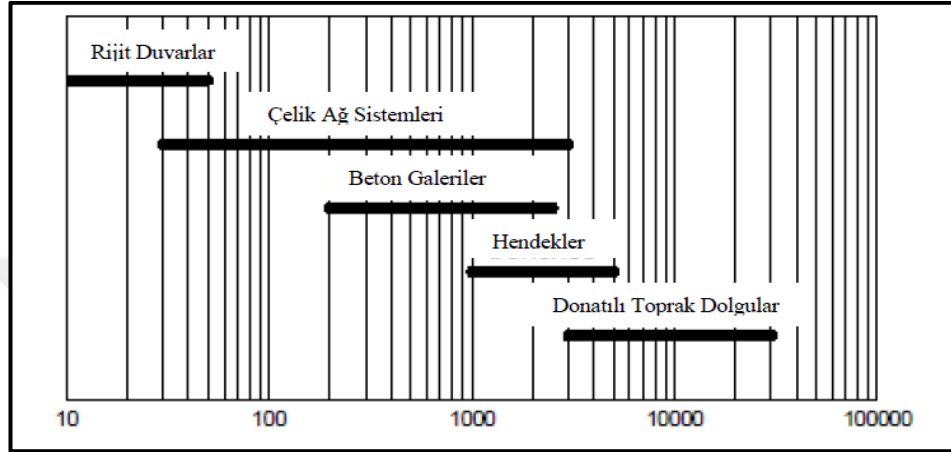
Kaya düşmelerini önlemek için kullanılan yapılar 3 çeşittir. Bunlar; tel ağ sistemleri, bariyerler ve tutucular olarak ayrılırlar.

Tel ağ sistemleri ankastre ve kaplama sistemleri olarak iki farklı şekilde uygulanır. Bu ağ sistemleri sadece düşük çarpma enerjilerine engel olabilirler.

Bariyerler ise beşe ayrılırlar. Bunlar; toprak dolgu setler, beton bariyerler, yapısal duvarlar, esnek bariyerler ve zayıflatıcılar olmak üzere beşe ayrılırlar. Yüksek çarpma enerjilerine karşı en etkili olan önleme yapılarından biri toprak dolgu setlerdir. Özellikle

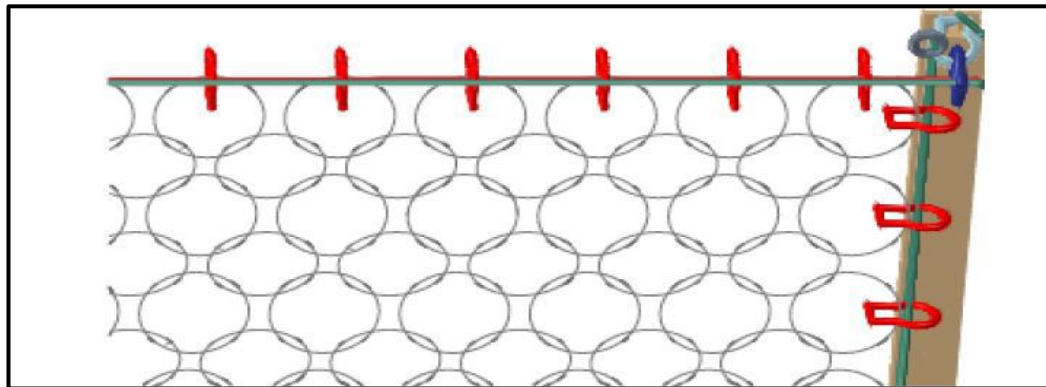
donatılı toprak dolgu setler en yüksek çarpma enerjisine karşı koyan bariyer türüdür (Şekil 2.6).

Tutucular; hendekler ve hibrit hendekler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Bariyer ve hendeğin birlikte kullanıldığı sistem hibrit hendek olarak isimlendirilir. Örneğin bir toprak dolgu set önüne açılırsa ortaya çıkan sisteme hibrit hendek denir.



Şekil 2.6. Enerji kapasitesi (kJ) Enerji kapasitelerine göre kaya düşmesi önleme yapıları (Grassl H. 2002)

Escallon vd.(2014), bariyer sisteminin parametrelerini belirlemek amacıyla bir formülasyon geliştirmişlerdir. Araştırmacılar sonlu elemanlar yöntemi (Şekil 2.7.) ile geliştirilen formülasyonu karşılaştırmış ve sonuçların uyumlu olduklarını belirlemişlerdir. Sonuçlar arasındaki uyum yalnızca kuvvet açısından değil deformasyon açısından da iyi derecede olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 2.7. Oluşturulan çelik ağ sisteminin modellenmesi (Escallon vd. 2014)

Çizelge 2.1. Kaya düşmelerine karşı kullanılan önleme yapıları Andrew 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 onarılabirler 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 ipler 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.

2.5. Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması

Bu tezin konusu, ABD’deki Tennessee Ulaşım Dairesi tarafından “Kaya Düşmesi Tehlike Yönetimi Sistemi”nin (Rose 2005) bir parçası olarak geliştirilen “Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırması” adlı sistemin Türkiye uyarlaması ile ilgilidir.

Özellikle dağlık bölgelerde meydana gelen kaya düşmeleri çok sayıda can kaybının yanı sıra büyük miktarda hasar ve yaralanmalara da neden olmaktadır. Bu riske maruz kalmanın analizi, tehlikenin (tetikleme mekanizmaları ve parametreler) ve yollardaki araçların hassasiyetinin tam olarak değerlendirilmesini gerektiren oldukça karmaşık bir işlemdir.

Harp ve Noble (1993), Barton (1978)’dan alınan kaya kütlelerindeki süreksizliklerin nicel olarak tanımlanmasına yönelik bir mühendislik kaya sınıflandırma sistemi geliştirmiştir. Bazı yazarlar, kaya düşmelerinin bittiği yolları tahmin etmek için başka yöntemler önerdi (Paronuzzi, 1989; Pfeiffer and Bowen, 1989; Pfeiffer et al., 1991; Hoek, 1998; Guzzetti et al., 2002). Bu yöntemler yalnızca kaya düşme yollarını değil, aynı zamanda kaya sıçramasının yüksekliğini ve hızı - yollardaki araçlara yönelik kaya düşme riskini değerlendirmek için yararlı olan tüm faktörleri belirlemektedir (Rose 2005).

Karayolu kaya şevleri bağlamında, potansiyel olarak duraysız şevler tehlike arz eder ve seyahat eden halk, ulaşım altyapısı, yerel ekonomiler ve çevre için risk oluşturur. Tehlikenin derecesi ve doğası büyük ölçüde kaya süreksizliklerinin özelliklerine, kaya eğiminin yüksekliğine, kaya bozunma stiline, suyun varlığına ve su toplama kanalının yeterliliğine bağlıdır. Risk seviyesi ayrıca trafiğin miktarına ve hızına, karar sahası mesafesine ve diğer faktörlere bağlıdır. Potansiyel kaya düşmesi, ekosistemler açısından da tehlikeler ve riskler yaratabilir. Örneğin, yüksek pirit konsantrasyonlarına sahip metamorfik veya tortul kayalar, kaya düşmesi ile sülfürik asit üreten bir nehir veya akıntıya girerse ciddi çevresel problemler yaratabilir (Byerly 1989).

Karayollarındaki şevlerde ortaya çıkan duraysızlıkların yol açtığı kaya düşmeleri ciddi can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bir karayolu çalışmasında hangi yol yarmasının can ve mal kaybı açısından risk oluşturacağını belirleyip, yapılan araştırmalar sonucunda çalışmalara devam edilmesini sağlayan bir sisteme ihtiyaç duyulmuştur. Bu alanda karayollarında çalışan mühendislerin kullandıkları birden fazla sistem vardır ancak bunların çoğu büyük projelerde teknik açıdan pratik değillerdir. Kaya Kalite Göstergesi (RQD) Sınıflaması ve Kaya Kütle Kalitesi (Q) şevin teknik açıdan çalışılmasını ve sondaj yapılmasını gerektiren örnekler arasında sayılabilir (Waltham 1994). Kaya düşmesi tehlikelerine karşı ABD’nin farklı eyaletlerinde farklı ulaşım müdürlükleri, Kanada, Avustralya, ve diğer benzer yerlerdeki araştırmacılar gözlem odaklı, kolay hesaplanan ve uygulanabilen sınıflandırma programları üzerinde çalışmışlardır. Bunların sonucunda tehlike oluşturabilecek şevleri en az masraf ve en kısa süre içerisinde belirleyip sınıflandırılmasını sağlayan “Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi (RHRS)” geliştirilmiştir (Szwilski 2002).

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 sağladığı veri akışı ile 1993'te tamamlanmış ve büyük ölçüde kabul görmüş olan Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi'dir.

Aşağıda birkaç farklı eyalet tarafından geliştirilmiş Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sistemi'nin ana hatları örnek olarak verilmektedir.

(1) Oregon Ulaşım Müdürlüğü (Oregon Department of Transportation-ODOT) 80'lerin sonunda kaya düşmesi açısından potansiyel bir tehlike oluşturabilecek olan alanların öncelikli olarak analizinin yapılması için sayısal bir sistem geliştirme ihtiyacı duymuştur. İlgili konuyla ilgili literatür taraması Brawner ve Wyllie (1984)'nin bir çalışması gözden geçirilerek yapılmıştır. Bu çalışma, kaya düşmesinde meydana gelebilecek potansiyel etkilerine göre şevlerin A, B, C, D ya da E gibi kategorilere ayrılarak sınıflandırılması ve puanlanması yönündeki kriterleri ve yöntemleri kapsar. Bu doğrultuda Oregon RHRS'nin geliştirilmesi üzerine çalışan mühendisler kaya düşmesiyle karşılaşma ihtimali olan şevlerin ilksel sınıflandırması için benzer bir yöntem kullanmışlardır.

Wyllie (1987)'nin yapmış olduğu bir çalışma sonucunda ise kaya düşmesiyle karşılaşabilecek sahalar için farklı kategorilerde üstel bir puanlama sistemine göre uygulanan ve bu puanlama sisteminin oluşturduğu ayrıntılı bir sınıflandırma geliştirilmiştir. Bu gelişme de Oregon RHRS'nin esas modelini oluşturmuştur (Pierson 1992). Bu çalışmalar doğrultusunda, bazı değişiklikler de yapılarak bir sınıflandırma tablosu ve üstel puanlama sistemi üyarlannıştır.

Oregon sistemi, potansiyel kaya düşmesi olaylarıyla karşılaşabilecek yerlerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve iyileştirilmesindeki yenilikçiliği nedeniyle hızlı değerlendirme, önceliklendirme ve ön müdahaleye odaklanan ileriye dönük bir kaya düşmesi yönetim modeli geliştirmiştir. Sistem üç aşamada gerçekleştirilir; şev incelemesi, ilksel sınıflandırma ve ayrıntılı sınıflandırma (Rose 2005).

Şev İncelemesi: Şev incelemesi, kaya düşmesi sayısını ve konumunu doğru bir şekilde belirlemesini gerektiren RHRS'nin temel bir özelliğidir. RHRS'nin amaçları doğrultusunda, bir kaya düşmesi kesiti, "bir karayolu boyunca, kaya düşme seviyesinin ve meydana gelen kaya düşme şeklinin aynı olduğu herhangi bir kesintisiz şev" olarak tanımlanmaktadır. Kaya düşmesi bölümünün doğru bir şekilde tanımlanması önemlidir. Farklı şevleri bir grup içerisinde incelemek, sağlanacak bilgileri ve sonuçta oluşan veri tabanının esnekliğini azaltacaktır (Pierson 1992). Aynı zamanda bir karayolu üzerinde daha önce meydana gelmiş olan kaya düşmesi ile ilgili bilgiler orada çalışma yapan personel ve mühendislerin bölge hakkında fikir sahibi olmasını sağlamaktadır.

İlksel Sınıflandırma: İlksel sınıflandırmanın amacı, kaya düşmesi gözlemleri ve hesaplamaları yapılırken yol yarmalarını daha yönetilebilir 3 kategoride gruplamaktır (Çizelge 2.2.). Bu adım uygulanmasaydı düşük ile orta derecede olan şevleri ayrıntılı olarak hesaplamak için birçok ek saat harcanacaktı (Pierson 1991). Bu sınıflama aşaması öznel bir değerlendirme olup çalışma yapan kişinin deneyimli bir personel olmasını

gerektirir. Kliche (1999), ilksel sınıflandırmadan “risk” kavramının anahtar faktör olduğunu belirtmiştir. Bu da düşen kayanın yola ulaşma olasılığına karşılık gelmektedir.

Çizelge 2.2. İlksel Oregon sınıflama sistemi (Pierson 1992)

KRİTER/SINIF	A	B	C
Kayanın Yola Gelme Potansiyeli	Yüksek	Orta	Düşük
Kaya Düşme Tarihçesi	Yüksek	Orta	Düşük

RHRS, öncelikle bir bölgedeki kaya düşme potansiyeli ile ilgilenir. Karayolu üzerindeki “tahmini kaya düşme potansiyeli” bu nedenle bu derecelendirmenin kontrol unsurudur. “Tarihi kaya düşmesi etkinliği” derecesi, açıklamanın gerekli olduğu durumlarda ön derecelendirmenin bir değiştiricisi olarak kullanılır. Ön değerlendirme, bu kararları vermek için deneyimli personel gerektiren kaya düşme potansiyelinin öznel bir değerlendirmesidir. Bu sınıflamada en önemli kriter, kaya düşmesi sahasının (hendek) yola kadar gelebilecek bloklardan oluşup oluşmadığıdır. Kaya düşmesi gerçekleştikten sonra düşen kaya karayoluna ulaşırsa bu alan A-sınıfı şev olarak atanır. En tehlikeli olan alanlar yüksekten ortaya olacak şekilde A’dan B’ye bir sınıf değişimi olacaktır. Risk taşımayan alanlar ise düşük yani C-sınıfı olarak değerlendirilir.

Eğer alanda incelenmesi gereken birçok şev varsa ilksel sınıflandırma oldukça önemli bir aşamadır. Bu durumda ilk önce sadece A-sınıfı şevler için ayrıntılı sınıflandırma yapılır ve en kritik alanlar belirlenerek burada çalışmalar yapılır. B-sınıfı şevler eğer bütçe ve zaman uygunsa değerlendirmeye alınmalıdır. C-sınıfı şevler ise tehlike yaratmayacakları için dikkate alınmaz ve RHRS veri tabanına dahil edilmezler (Pierson 1992).

Ayrıntılı Sınıflandırma Sistemi: Kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sisteminin üçüncü aşaması ayrıntılı sınıflandırma sistemidir 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 düşmesi tarihçesi

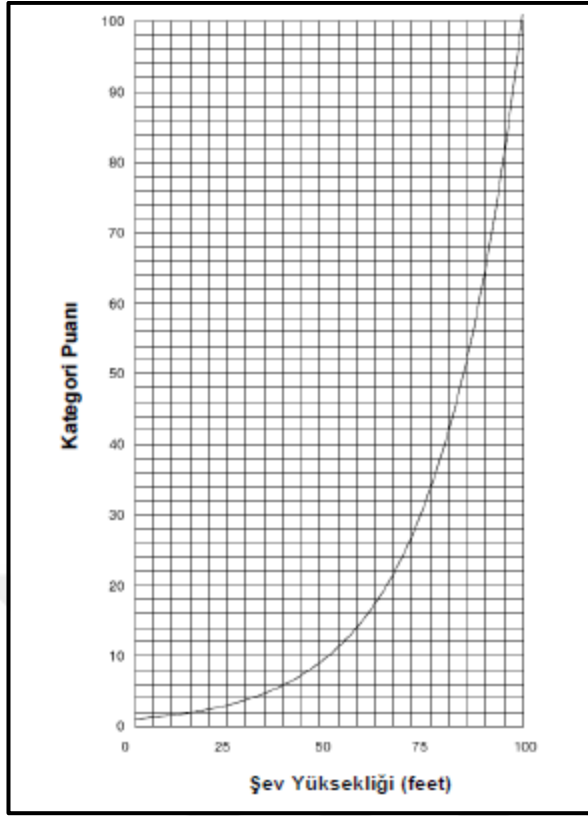
Kaya şevlerini en azdan en yüksek tehlike derecesine kadar sayısal olarak sınıflandırmak için yukarıda yer alan parametreler kullanılır. Bu sınıflandırma sistemine göre parametrelerin toplamından elde edilen puan arttıkça kaya düşme riski de artacaktır.

Çizelge 2.3’de her kategoriye bağlı olarak çoğalan risk unsurlarına karşılık gelen puanlar verilmektedir. Bu puanlar üstel olarak soldan sağa doğru 3’ten 81’e kadar artış göstermektedir. Üstel bir sistem olması puanların hızlı bir şekilde artmasını sağlar ve bu sayede daha fazla tehlike arz eden sahalara belirlenmiş olur (Pierson 1992).

RHRS, her kategori için bir puanlama grafiği içerir. Pierson’a (1992)’a göre, $y=3x$ fonksiyonu ile oluşturulan grafikteki eğri (Şekil 2.8.), her kategori için üstel puanlama sistemini tanımlar. Kategori puanı, aşağıda verilen formüldeki (Çizelge 2.4) x değeri kullanılarak hesaplanabilir ve benzer bir eğriye sahiptir. Bu grafik, kategori değerlendirmelerini uygun puanlarla ilişkilendirir. Bu çizelge, hendek aktivitesi gibi öznel kategorilerde bile, tanımlanmış kriterler arasında kalan durumlara puan atarken çok kullanışlıdır. Ölçülebilir kategorilerin doğru puanlaması, $y=3x$ fonksiyonundaki " x " değeri hesaplanarak yapılabilir. Üstel değerine karşılık gelen formül Çizelge 2.4’te gösterilmiştir

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	28 ft	20 ft
JEOLOJİK KARAKTER	DURUM 1	YAPISAL DURUM	Pürüzlü, düzensiz	Dalgalı	Düzlemsel	Kil Dolgulu kaygan
		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 yd³	6 yd³	9 yd³	12 yd³
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 donma süreci, şevde sürekli ıslaklık	Yüksek yağış ve uzun donma süreci ya da şevde sürekli ıslaklık
KAYA DÜŞMESİ TARİHÇESİ			Birkaç kaya düşmesi	Yer yer kaya düşmeleri	Çok sayıda kaya düşmesi	Sürekli kaya düşmeleri



Şekil 2.8. 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 çalışmada uygulanacak yöntem (Kaya düşmesi tehlike sınıflandırması), ABD'nin Karayolları Kurumu (National Highway Institute, NHI) tarafından 1993'te gerçekleştirilen çalışmanın bir parçasıdır (NHI 1993). ABD'nin Oregon, Arizona, Kaliforniya, Idaho, Massachusetts, New Hampshire, New Mexico, Ohio, Tennessee, Washington ve Wyoming eyaletleri de bu sistemi esas alarak kendi sınıflama yöntemlerini geliştirmişlerdir ve sistemi geliştirmek için hala çalışmaya devam etmektedirler.

(2) Washington Eyaleti Ulaşım Müdürlüğü (WASHDOT) tarafından 1993 yılında duraysız şevlere yönelik önleme amaçlı tedbirler yaklaşımının (Ho ve Norton 1991) bir parçası olan “Duraysız Şev Yönetimi Sistemi (USMS)” geliştirilmiştir. USMS 11 parametreden oluşmaktadır. Bunlar:

1. Zemin/kaya türü
2. Ortalama günlük trafik
3. Görüş uzaklığı algılama
4. Duraysızlığın yola etkisi,
5. Yol empedansı,
6. Araç 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).

Bu 11 risk faktörüne göre Oregon sisteminde de uygulandığı gibi üstel olarak bir artış vardır ve 3, 9, 27, 81 puanlarını atar.

(3) Oregon RHRS’yi Ontario eyaleti için uyarlanmıştır. Bunu yaparken sisteme 5 yeni faktör eklenmiş ve toplamda 4 faktör altında 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 Magnitüt” duraysız olan kayanın miktarı,

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

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

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

Bu faktörler 0-9 arasında puanlandırılır ve alınan puanların ortalaması alınarak yüzde cinsinden ifade edilir (Franklin ve Senior 1997). Sonuç olarak detaylı sınıflandırma gerektiren “A-sınıfı” sahaların tespit edilmesi sağlanır. RHRON sisteminin aşamaları ise aşağıda gösterildiği gibidir:

- (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 haritaları kullanılmıştır. Ayrıca arazi çalışmalarında jeolog pusulası, şerit metre, GPS, dijital fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Büro çalışmalarında bilgisayar ve ilgili bilgisayar programları kullanılmıştır.

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

3.2. Metot

Bu çalışma, literatür taraması, arazi çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere 3 aşamada gerçekleştirilmiştir.

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

3.2.1. Tennessee kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi

3.2.1.1. İlksel sınıflandırma

Çalışma alanındaki tüm kaya şevlerine yönelik gözlemler yapıldıktan sonra ve ilk yol verileri toplandıktan sonra, belirlenen tüm şevler saha personeli tarafından ziyaret edilir ve ön derecelendirmeler verilir. Bu saha çalışması için standart güvenlik protokolleri gereklidir. Güvenlik son derece önemli olabilir çünkü tehlikeli şevlerin çoğu dar hendeklere sahip ve banketsiz eski kesimler olma eğilimindedir (Cain 2004).

Ön derecelendirme, NHI (1993)'de verilen tanımlara göre yüksek (A), orta (B) veya düşük (C) olarak bir kaya şevinin genel tehlikesini aşağıdaki şekilde değerlendirmek için kullanılır:

- 1- A Sınıfı Şevler: Karayoluna kaya taşıma potansiyeli ve/veya yüksek tarihi kaya düşme aktivitesi.
- 2- B Sınıfı Şevler: Karayoluna kaya dağıtmak için düşük ila orta potansiyel ve/veya orta düzeyde tarihi kaya düşme aktivitesi.
- 3- C Sınıfı Şevler: Kayayı yola taşıma potansiyeli ve/veya düşük tarihsel kaya düşme aktivitesi (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

C sınıfı şevler tanımlanması en kolay olan şevlerdir. Çoğu C sınıfı şevin yüksekliği 3 m'den (10 ft) daha azdır ve arkada belirgin bir eğim yoktur, düz uzanan katmanlar bulunur ve su toplama alanı veya hendek genişliği en az 1,5 m (5 ft)'dir. Düzeltilmiş şevler veya onları A ve B kategorilerinden (Wyllie ve Norrish, 1996c) ayıran özelliklerle inşa edilmiş şevler, R-şevleri olarak adlandırılır. Bu şevler iyileştirilmiş şevler olarak tanımlanır. R-sınıfı şevler, kaya düşmeleri için gerekli olan mühendislik önlemleri alınmış şevlerdir.

Yapılan ilksel sınıflandırma çalışmaları sonucunda bir şevin A-sınıfı olduğuna karar verilirse, bu şevin ayrıntılı çalışması ilk aşamada ya da daha sonraki bir arazi çalışmasında yapılır. B-sınıfı olarak adlandırılan şevler veri tabanına kaydedilir ancak bu şevler için detaylı sınıflandırma yapılmasına ihtiyaç duyulmaz. Bunun yanı sıra C-sınıfı şevler ise dikkate alınmamaktadır (Cain 2004).

Öncelikli sınıflandırma yapılırken aşağıda belirtilen sorulara verilen cevaplar şevin hangi sınıfta olduğunu belirlemede çok önemlidir.

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

Bu iki soruya “EVET” cevabı alınıyorsa şev A-sınıfı şev kategorisinde değerlendirilir.

Kesin sonuç alabilmek için ise yardımcı sorular vardır:

- 3- Yamaç karakteristiği kayaç düşmesine yatkın mı? Havza taşlarla dolu mu?
- 4- 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. Şüpheli durumlarda A-sınıfı şev karar verilmelidir. Ön değerlendirmeler sonucunda A-sınıfı şevler için detaylı sınıflandırma aşamasına geçilmesi gerekmektedir (Cain 2004).

3.2.2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları boyunca şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok uzaklığı algılama mesafesi, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki

su varlığı ve kaya kütlelerinin özellikleri gibi parametreler belirlenerek kaya düşmesi tehlike sınıflandırması yapılmıştır (Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3).

Çalışmada uygulanan yöntemler aşağıdaki gibidir:

Literatür Çalışması: Güzergh ile alakalı ön incelemeler yapılmıştır ve çalışma süresince araştırmalar devam edecektir.

Ön Çalışma: Yer seçimi için arazi çalışması yapılacak ve duraysız olabilecek kaya şevleri tespit edilmiştir.

Saha Çalışmaları: Saha çalışmaları iki aşamada gerçekleşmiştir.

İlk aşama olarak şevlerin tehlike durumlarına göre sınıflandırması yapıp A, B ve C sınıflarına ayrılmıştır.

İkinci aşama ayrıntılı çalışmalar olup aşağıda belirtildiği gibidir:

- 1- Saha ve Yol Geometrisi
 - Şev Yüksekliği
 - Araç Risk Ortalaması
 - Blok Uzaklığı Algılama
 - Yol Genişliği
 - Şev Önü Hendek Etkinliği
 - Kaya Düşme Tarihçesi
 - Şevdeki Su Varlığı
- 2- Jeolojik Değerlendirmeler
 - Yüzey Koşulu Puanı
 - Yapısal Özellik Puanı

Çizelge 3.2. “Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflaması” Puanlama Tablosunun “GSI Kaya Kütleli Sınıflama Sistemi” Entegre Edilerek Geliştirilmiş Hali (ön sayfa)

TDOT RHRS SAHA FORMU		II. Saha ve Yol Geometrisi	
1. TRİMS - İlk Veriler		1. Şev Yüksekliği (m)	
Doğru No: _____ Tarih: _____		☐ Tahmini _____	
Lokasyon No: _____	Kişi: _____	Alfa (a) _____ Beta (b) _____	2. Araç Ortalama Riski (AVR)
Güzerğah No: _____	Hız Limiti: _____	Genişlik (x) _____ m	AVR = $\frac{ADT \cdot \text{araç/gün}}{(24 \text{ saat/gün}) \cdot (\text{Hız Limiti (km/h)})}$
Km No: _____	Alan: _____	Cihaz yüksekliği (H.L.) _____ m	Şev uzunluğu: _____ m Hız Limiti: _____ km/h AVR: _____ %
Ref C/L: _____	ADT: _____	3. % Blok Uzaklığı Alplama (%DSD)	4. Yol Genişliği (m)
II: _____	Enlem: _____	Biri seçilir: Uygun Orta Sınırlı Çok Sınırlı	5. Hendek Etkinliği
Bölge: _____	Boylam: _____	ya da 3 9 27 81	6. Kaya Düşme Tarihçesi
Yüksekliği $\frac{\sin a \cdot \sin b \cdot x}{\sin (a - b)} + H.L.$		Hesaplanır $\frac{(\text{gözetilen DSD})}{(\text{AASHTO DSD})} \cdot 100 = \text{_____ \%}$	7. Şevdeki Su Vuruluşu
1. Şev Yüksekliği: _____		5. Hendek Etkinliği	
2. AVR: _____	3. % DSD: _____	6. Kaya Düşme Tarihçesi	
4. Yol Genişliği: _____	5. Hendek Etkinliği: _____	7. Şevdeki Su Vuruluşu	
6. Kaya Düşme Tarihçesi: _____	7. Su Durumu: _____	8. GSI Puanı: _____	
7. Şevdeki Su Vuruluşu		NOTLAR :	
(İhtisaplar)			
3 9 27 81			
II. Jeolojik Karakterizasyon (GSI)			
DERZLİ KAYALAR İÇİN JEOLojİK MUKAVEMET ENDEKSİ (Hoek and Marison, 2000)		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULLARI	
Süreksizliklerin litolojisinden, yapısından ve yüzey koşullarından, GSI'nı ortalama değerini tahmin edin. Çok kesin bir sonuç çıkarmaya çalışmayın. 33 ile 37 arasında bir aralık belirtmek, GSI=35 olduğunu belirtmekten daha gerçekçidir. Tablonun yapısal olarak incelenen sorunlar için geçerli olmadığını unutmayın. Zayıf yapısal düzlemlerin kazı yüzeyine göre elverişsiz bir yönlende olduğu durumlarda, bunlar kaya kütleli davranışına hakim olacaktır. Nem içeriğindeki değişiklikler sonucu bozulmaya meyilli olan kayalarda yüzeylerin kayma mukavemeti azalacağından su bulunmaktadır. Kayaların çok zayıf kategorilerinde çalışma yaparken, ıslaklık bulunan koşullarda sağa kayma yapılabilir. Su basıncı, etkili stres analizi ile ele alınır.		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULLARI	
YAPI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ	
SAĞLAM VEYA MASİF		10	
Kaya malzemesi veya geniş aralıklı birkaç süreksizlik içeren masif kaya kütleli		20	
BLOKLU		30	
Keskin üç süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklardan oluşan iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütleli		40	
ÇOK BLOKLU		50	
4 veya daha fazla sayıda süreksizlik takımının kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütleli		60	
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ		70	
Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu, köşeli bloklar içeren kıvrılmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütleli		80	
PARÇALANMIŞ		90	
Köşeli ve yuvarlak kaya parçalarının birikiminden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırık kaya kütleli		N/A	
LAMİNELİ/MAKASLANMIŞ		N/A	
Zayıf şistozite veya kesme düzlemlerinin yakın aralıklarından dolayı blokaj eksikliği		N/A	

Çizelge 3.3. Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflaması” Puanlama Tablosu (arka sayfa)

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	1	300 ft	20			36	100	61	26
10-20	2	78	31	2	2	375	25			37	96	62	24
21-28	3	79	32	3	3	450	30			38	90	63	23
29-34	4	80	34	4	4	525	35			39	86	64	22
35-38	5	81	35	5	5	600	40			40	81	65	21
39-42	6	82	37	6	6	675	45			41	77	66	19
43-45	7	83	38	7	7	750	50			42	73	67	18
46-48	8	84	40	8	8	875	55			43	69	68	17
46-51	9	85	42	9	9	1000	60			44	65	69-70	16
52-53	10	86	44	10	10	1015	65			45	62	71	15
54-55	11	87	46	11	11					46	58	72	14
56-57	12	88	48	12	12					47	55	73-74	13
58-59	13	89	50	13	13					48	52	75	12
60	14	90	52	14	14					49	49	76-77	11
61-62	15	91	55	15	15					50	47	80-81	9
63	16	92	57	16	16					51	44	82-83	8
64-65	17	93-94	60	17	17					52	42	84-85	7
66	18	95	62	18	18					53	40	86-88	6
67	19	96	65	19	19					54	38	89-92	5
68	20	97	71	20	20					55	36	93-97	4
69	21	98	74	21	21					56	34	98-103	3
70	22	99	78	22	22					57	32	104-112	2
71	23	100	81	23	23					58	30	113	1
72	24	101	85	24	24					59	29		
73	25	102	88	25	25					60	27		
74	26	103	92	26	26								
75	27	104	97	27	27								
76	28	105	100	28	28								

3.2.2.1. Saha ve yol geometrisi

1. Şev Yüksekliği

Bir yamaçta yüksekten düşen bir kaya, yol seviyesine ulaştığında daha az yükseklikten düşen bir kayaya göre daha büyük bir kinetik enerjiye sahip olacaktır. Bu nedenle daha yüksek yamaçlar daha büyük bir tehlike arz etmektedir (Cain, 2004). Tennessee RHRS'de, bir şevin yüksekliği, derecelendirilen eğimin tehlikeli kısmı boyunca en yüksek noktada ölçülür. A eğimleri genellikle B ve C eğimlerinden daha uzundur ve detay derecelendirmesinin bu önemli adımı, A eğimlerinin yüksekliklerinin ölçülmesini gerektirir. Ancak bu tür şevler, yükseklik ölçümü için şevlere çıkılması durumunda iş güvenliği açısından değerlendirici için bazı riskler oluşturabilir. Bu riskleri ortadan kaldırmak amacıyla lazer metre kullanılmıştır (Şekil 3.1.). Mesafe, yükseklik ve açı ölçümleri için gerekli olan değerleri doğru bir şekilde sağlar ve tahmine dayalı hataların yaratacağı belirsizlikleri ortadan kaldırır.



Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan DISTO D810 TOUCH marka lazer metre

Lazer metreyi kullanmak hızlı ve verimlidir çünkü yalnızca bir ölçüm gerektirir ve tahminle ilgili belirsizliği azaltır. Bu çalışma boyunca DISTO D810 TOUCH marka lazer metre (Şekil 3.1.) kullanılmıştır.

Yükseklik ölçüldükten sonra, yüksekliklere karşılık gelen tehlike değerleri Çizelge 3.2. ve Çizelge 3.3. kullanılarak elde edilebilir veya aşağıdaki denklemden hesaplanır (NHI, 1993):

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

$x = \text{Şev Yüksekliği} / H_o$

H_o (referans yüksekliği)= 7.6 m (25 ft)

2. Araç Risk Ortalaması (AVR)

Kaya düşmesi olayları trafik güvenliğini etkilediğinden karayolu boyunca trafik yükünün tanımlanması açısından önemli bir parametredir. Tennessee RHRS'de AVR, sınıflandırılan şevin tehlikesine maruz kalan araç riskinin bir ölçüsü olarak tanımlanır. Cain (2004), AVR'nin tehlikeye katkısının anlaşılabilir olduğunu, çünkü araçların tehlikeli bir kaya şevine bitişik olarak ne kadar çok zaman harcarsa, bir olay olma olasılığının o kadar yüksek olacağını belirtmiştir. AVR yüzde olarak hesaplanır ve bu hesaplamanın denklemi aşağıda gösterilmiştir (NHI, 1993):

$$AVR = \frac{ADT(araç/gün) * Şev Uzunluğu(km)}{2a24(saatt/gün) * Hız Limiti (km/h)} * 100\% \quad (3.2)$$

Hesaplanan AVR'nin ardından parametreye ait tehlike puanı Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 kullanılarak bulunabilir. Bu çalışmada, Karayolları 13. Bölge 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.

3. Blok Uzaklığı Algılama Yüzdesi (%DSD)

Cain (2004), Karar Alanı Mesafesinin (DSD), bir sürücünün uygun şekilde yanıt vermek için yeterli sürede yoldaki 15 cm (6 inç) çapında bir engeli tanımlayabileceği maksimum mesafe olduğunu belirtmiştir. AASHTO (1984) tarafından standardize edilmiştir ve belirtilen hız sınırına bağlıdır. Bir sürücünün bir kaya düşmesi olayına karşı tepki verme süresi azalır, kaya düşmesi tehlikesi artar.

Tennessee RHRS, DSD'yi puanlarken değerlendiriciye iki seçenek sunar:

- 1) DSD'yi yeterli, orta, sınırlı veya çok sınırlı olarak tahmin etmek;
- 2) DSD'yi ölçün ve aşağıdaki şekilde tanımlandığı gibi DSD yüzdesini hesaplayın:

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

(AASHTO: Devlet Karayolu ve Taşımacılık Görevlileri Amerikan Derneği)

Bu çalışmada Çizelge 3.2'de verilmiş olan DSD'ye karşılık gelen puanlamalar, A-sınıf şevlerde kaya düşmesinin sürücünün geldiği yöne göre yol üzerinde herhangi bir kör noktada olup olmadığının gözlemlenmesi ve tahmin edilmesi şeklinde yapılmıştır. Bir başka deyişle yoldaki virajların durumuna göre puanlamalara karar verilmiştir.

4. Yol Genişliği

Tehlikeli bir kaya eğiminin önündeki yol genişliğinin, yolda araç kullananlar için riski artırıp artırmadığını görmek için ölçülmelidir. Puanlamadaki artış, sürücünün tepki

verebileceği zaman ve alanı sınırlayacağından, yolun dar olduğu durumlarda meydana gelir.

Yol genişliği, yolun şeve bitişik ve yolun boyuna eksenine dik olan en dar kısmında ölçülür. Bir de yolun banket içermesi durumunda dikkat edilmesi gereken bir kriter daha vardır. Bu durumda yol genişliği, banket dahil tüm kaplamalı yol hakkını kapsar ve ayrıca şev bölünmüş yol üzerinde ise sadece yolun şeve bitişik tarafı ölçülür (Cain, 2004). Bu çalışmada, yol genişliğini ölçmek için şerit metre kullanılmıştır.

5. Şev Önü Hendek Etkinliği

Patton ve Deere (1970), tüm kaya şevlerinin bir dereceye kadar kaya blokları veya levhaları döktüğünü ve herhangi bir kaya dökmeyecek şekilde kaya şevleri tasarlamamanın neredeyse imkansız ve son derece maliyetli olacağını belirtmişlerdir. Ancak, yeterince geniş su toplama alanlarına sahip şevler tasarlanarak, kaya molozlarının yola ulaşma olasılığı azaltılabilir (Cain, 2004). Hendek etkinliği aynı zamanda bir şevin A mı yoksa B mi olduğunu belirlemede belirleyici bir faktördür.

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

- 1) 12.2 m'ye kadar olan tüm şevler için minimum 5,5 m su toplama 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

Hendek genişliği ve Tennessee RHRS hendek tasarım gereksinimleriyle karşılaştıran hendek etkinliği puanlaması Çizelge 3.4'te görülebilir. Bu puanlamada dikkate alınan parametreler tasarım genişliği yüzdesi, hendek şev açısı (6:1), topografik özellikleri yapısı varlığı ya da yokluğu şeklindedir. Sektirme özelliği/yapısı, şev profilinde görülen ve duraysızlık sonucu kayanın izlemiş olduğu yolu değiştirmesi ile ilgilidir. Bu sektirme yapıları düşen kayanın yola gelme olasılığını yükselten topografik çıkıntılardır (Cain 2004).

Cain (2004), sektirme özelliklerinin, şev profilindeki kaya düşme enkazının yörüngesini değiştirebilen ve kayaların yola ulaşma olasılığını artıran “topografik çıkıntılar” olduğunu açıklamıştır.

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		
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

6. Kaya Düşme Tarihçesi

Kaya düşme tarihçesinin bilinmesi bir şevin ne kadar tehlike taşıdığının tespit edilmesi için elde edilen bir bilgidir. Bu bilgi:

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

Daha önceki kayıtlara ulaşmak zor olduğu için bu tür çalışmalarda saha gözlemleri en uygun yoldur ve etkin olarak kullanılan bir yöntem olmuştur. Cain (2004), yol üzerinde karşılaşılabilecek darbe izleri veya şev önü hendekte tutulabilecek kaya miktarının kontrolünün yapılmasının bu bilgiyi elde etmek için önemli bir faktör olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma esnasında saha gözlemleri ve kaya düşmesi tarihçesi için Çizelge 3.2’de verilen puanlar kullanılarak parametreye ait puanlama yapılmıştır.

7. Şevdeki Su Varlığı

Su varlığı (Çizelge 3.2)'de duraylılığı azaltıcı yönde etkisi olmasından dolayı tehlike puanlamasında değerlendirilen bir başka parametredir. Bir şev üzerindeki su, kayma yüzeyine etki eden efektif gerilmeyi azaltarak ve dolayısıyla sürtünme direncini azaltarak yapısal yenilme türlerinin (kama ve düzlemsel) oluşmasını tetikler. Ayrıca su, erozyon oranını artırır ve donma çözülme ve farklı hava koşullarının sebep olduğu mekanizmalar yoluyla yamaçtaki malzemeyi gevşetir (Cain 2004).

3.2.2.2. Jeolojik değerlendirmeler

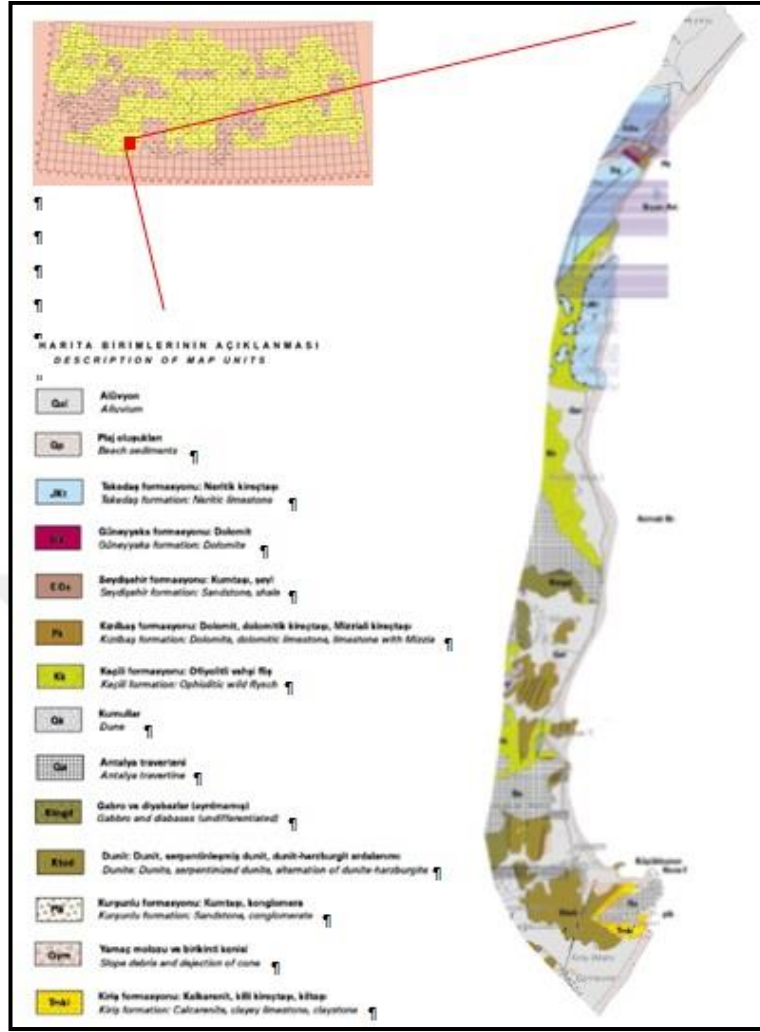
Ayrıntılı sınıflandırmaların ikinci aşaması jeolojik parametrelerin tayininden oluşmaktadır. Jeolojik parametrelerin puanlaması için Tennessee puanlama sisteminde standart şev yenilme mekanizmaları (örneğin; düzlemsel kayma, devrilme, kama vb.) dikkate alınmaktadır. Tennessee sistemi jeolojik parametre tayininde, sınıflandırmayı yapacak kişinin, karşılaşılan yenilme türlerini belirlemesi ve bunlara bağlı olan yoğunluk, blok boyutu, diklik, sürtünme ve blok şeklini tanımlayan parametreleri tespit ederek puanlamasını yapması gerekmektedir. Bu jeolojik parametrelerin tespiti ve puanlaması, belirli lokasyonlarda bulunma yüzdesine göre belirlenmekte olup, kişiden kişiye değişebileceği ve kesin sonuçlar vermeyeceği aşikârdır. Bu nedenle, “Kaya Düşme Tehlike Sınıflandırma Sistemi”nin jeolojik değerlendirmeler bölümündeki gözlemsel çalışmalar yerine, sayısal hesaplamalara dayalı olan, şev yenilmelerinin ve kaya kütlelerinin özelliklerini sayısal olarak sınıflandıran ve kişiden kişiye değişmeyen “GSI Kaya Kütle Sınıflama Sistemi (Geological Strength Index)” olarak adlandırılan yöntemin kullanılması amaçlanmaktadır (Çizelge 3.2). Bu puanlama sistemiyle, ilk olarak araştırmacı tarafından süreksizlik yüzey koşulu puanı ve yapısal özellik puanı hesaplanarak kaya kütlelerinin yapısı belirlenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Tennessee Kaya Düşmesi Tehlike Sınıflandırma Sisteminin Çalışma Alanında Değerlendirilmesi

Antalya-Muğla D400 Karayolu'nun Sarısu-Kemer kesiminde bulunan şev duraysızlıklarına yönelik tehlike sınıflandırma sistemi uygulaması ve bu sınıflandırma sistemine "GSI Kaya Kütlesi Sınıflandırma Sistemi(Geological Strength Index)"nin uyarlanarak, değerlendirmede kişisel farklılıkların ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Çalışma alanı 3 adet 1:25000 ölçekli topografik haritadan, O25a4, O25d1 ve O25d4 paftaları içerisinde yer almaktadır. Çalışma alanının 1:100000 ölçekli jeoloji haritası Şekil 4.1'de sunulmuştur. 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) ve kaya kütlelerinin özellikleri (hacimsel eklem sayısı, süreksizlik yüzeylerinin yapısı) 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 sağlanmıştır. Araç risk ortalaması hesabında gerekli olan araç sayısı bilgisini elde etmek amacıyla 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 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 bölgesindeki yol yarmalarına yönelik ilk bilgiler bu kısımda anlatılacaktır. İncelenecek olan kaya şevlerinin lokasyonları ön saha incelemeleri ile belirlenmiştir. Daha sonra saha gözlemleri ve arazide çekilen fotoğrafların ofis çalışmaları sırasında incelenmesi ile belirlenen şevler için ilksel sınıflandırma yapılmıştır.

Öncelikli sınıflandırma amacıyla arazi çalışmaları yapılmış ve incelenen karayolu şevleri kategorize edilmiştir. Bölgenin genel olarak kaya düşmesi açısından yüksek tehlike arz ettiği düşünülerek birçok kaya şevi A-şevi olarak sınıflandırılmıştır. Bölge tehlikeli öngörülen 1 adet B-şevine ve 7 adet A-şevine ayrılmıştır.

“B-Sınıfı Şevler”

İlksel sınıflandırma sonucunda çalışma bölgesinde 1 adet B-sınıfı şev tespit edilmiştir. Bu şeve ait bilgiler aşağıda verilmiştir (Şekil 4.2.).

8. Bölge

Çalışma alanı başlangıç noktasından itibaren yaklaşık 35 km mesafede olup bölgedeki kaya düşmelerine karşı duyarlılık sağlanmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4.).



Şekil 4.2. B-sınıfı şevinin genel görüntüsü



Şekil 4.3. Bölgenin kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası



Şekil 4.4. Şevdeki kaya bloklarının detaylı görüntüsü

4.1.2. Detaylı sınıflandırma

‘A-Sınıfı’ Şevler ve Detaylı Sınıflandırılmaları

İlksel sınıflandırma esnasında 7 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 değerlendirilmiştir. Dolayısıyla çalışma bölgesindeki şev yükseklikleri ve hendek durumlarına yönelik gözlemler oldukça önemlidir.

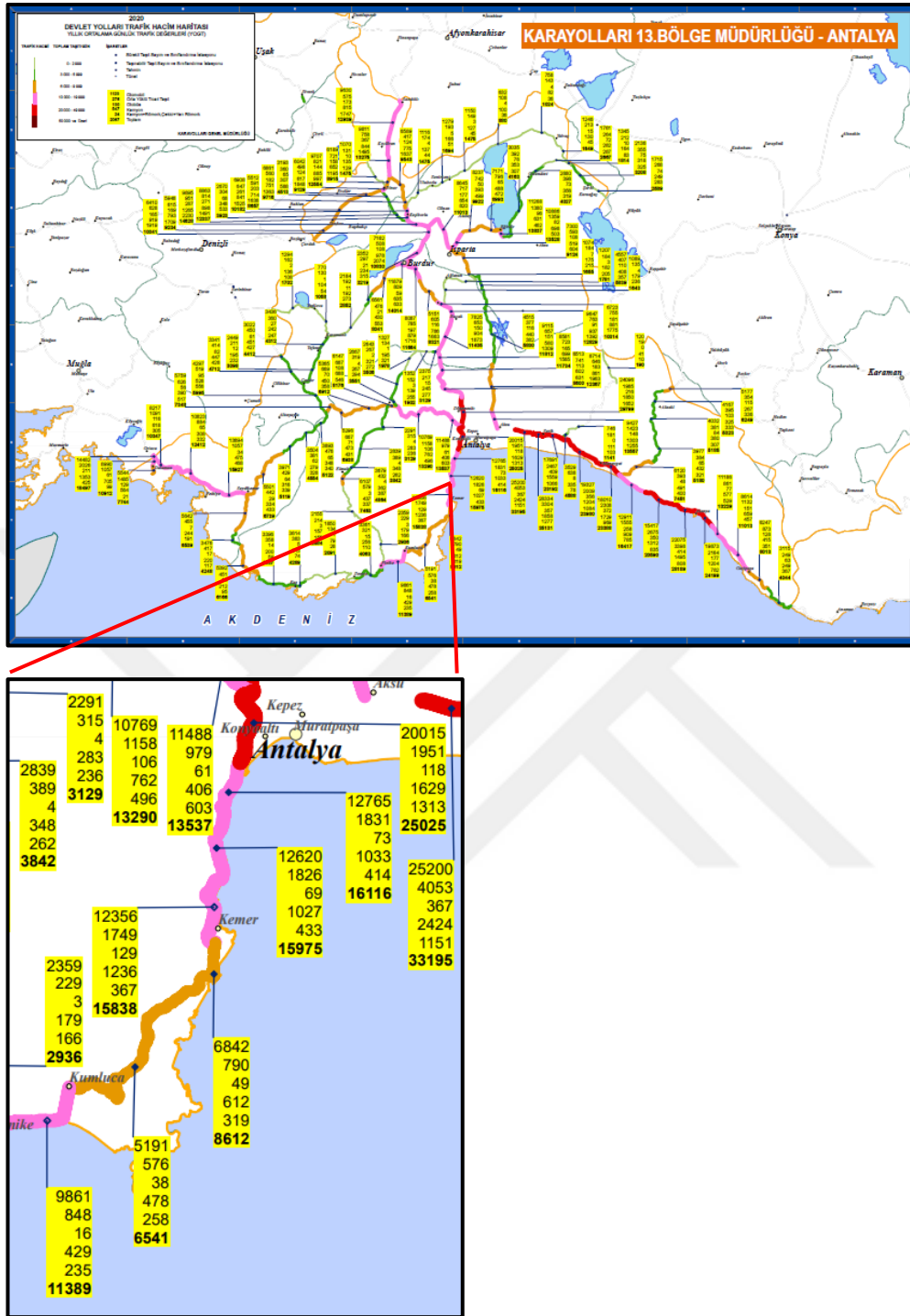
Çalışma alanı başlangıç noktasından itibaren yaklaşık 35 km mesafede olup bölgede kaya düşmelerine karşı duyarlılık saptanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Bölgenin kaya düşmelerine duyarlı olduğunu gösteren uyarı levhası

Şevlerin sayısal olarak detaylı sınıflandırılmaları iki aşamada uygulanmakta olup her aşamada farklı parametreler incelenmektedir. Bu iki aşama; 1) Saha ve Yol Geometrisi, 2) GSI Kaya Kütlesi Sınıflandırma Sistemi şeklindedir. Öncelikle detaylı sınıflandırmanın ilk aşaması çalışma alanı için tamamlanmış olup bu aşamada yapılması gerekenler Bölüm 3’te detaylı olarak aktarılmıştır. 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 ilişkileri göz önünde bulundurularak saha gözlemleri ile tespit edilir. Ayrıca, bir güzergahtan yıl boyunca geçen araç sayısının araç sayaç cihazları ile sürekli olarak ölçülmesi sonucu elde edilen AVR (Araç Risk Ortalaması) hesaplamasında kullanılır. Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü tarafından D400 Karayolu’nun belli bölgelerine yerleştirdikleri araç sayım cihazlarına göre hazırlanmış olan bir yıl içerisindeki günlük trafik durumu verileri Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6. 2020 yılı Karayolları 13. Bölge Müdürlüğü Devlet Yolları Hacim Haritası

Şekil 4.6’da verilmiş olan sayıların açıklamaları aşağıdaki gibidir;

12356 - Otomobil

1749 - Orta Yüklü Ticari Taşıt

129 - Otobüs

1236 - Kamyon

367 - Kamyon + Römork, Çekici + Yarı Römork

15838 - Toplam

Şev uzunluklarına ilişkin ölçümler şev boyunca gerçekleştirilmiş olup şevin tamamının gösterilmediği fotoğraflarda da şev uzunluğu tüm şev için verilmiştir. Fotoğraflar genellikle şevlerin tehlikeli olan kısımlarının tamamı ya da bir parçası şeklinde verilmiş olup çizelgelerde verilen yoğunluklar tüm şevi dikkate alarak tespit edilmiştir.

1. Bölge:

Antalya’dan Kemer istikametine giderken sağda yer alan bu şevde jeolojik birim olarak kireçtaşı biriminin hakim olduğu görülmektedir. Bu birimlerde birden fazla eklem takımı bulunmaktadır. Bu bölge az-orta derecede ayrılmış ve dayanımlı-orta dayanımlı olarak gözlemlenmiştir. Eklem takım sayılarının fazla olması sebebiyle yarmadaki su miktarının ıslak ve akışkan olduğu görülmüştür ve bu durum stabilite sorunlarına sebep olmuştur. Bu stabilite sorunlarının önüne geçme amacıyla çelik ağ destekleme sistemi uygulanmıştır (Şekil 4.7 ve 4.8.).

“A1-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Çalışma alanına ait 1. Bölgedeki karayolu şevinin görüntüsü



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

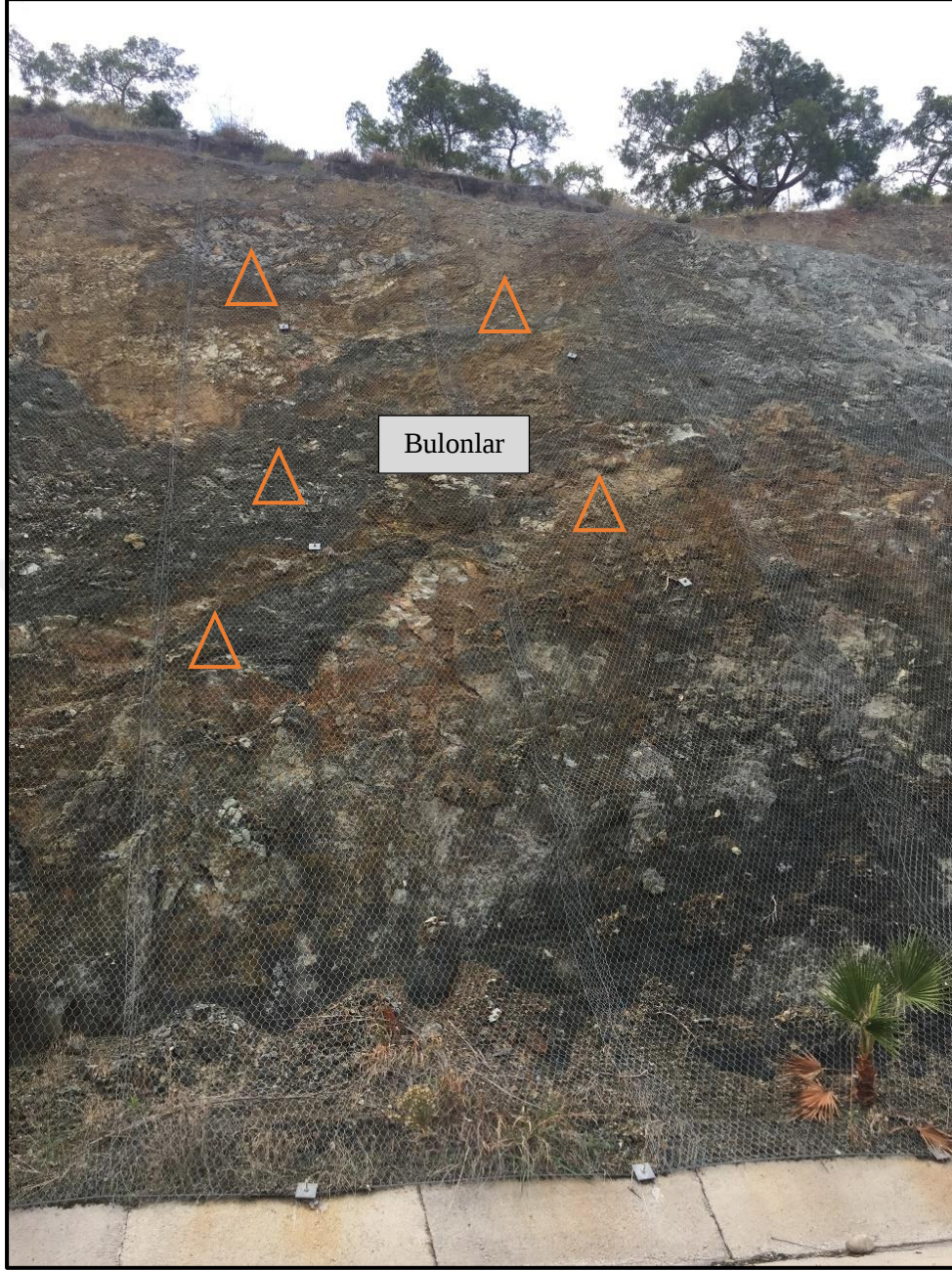
Çizelge 4.2. “A1-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSI PUANI
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ	ORTA	50-55

2. Bölge:

Şekillerde görüldüğü üzere (Şekil 4.9 ve Şekil 4.10) jeolojik birim olarak ofiyolit hakimdir. Bu birimler bu bölgede orta derecede ayrılmış ve orta dayanımlıdır. Gözlemlenen ofiyolit birimlerinde birden çok eklem takım sistemi bulunmaktadır ve bu eklemler arasında kil dolgular gözlemlenmiştir. Eklem takım sistemlerinin çok olması ve yarmadaki su miktarının fazla olması, yer yer nemli olması gibi faktörler stabilite problemlerine yol açmıştır.

“A2-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.3 ve 4.4’de verilmiştir.



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



Şekil 4.10. Çelik ağda biriken malzemelerin 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	9
Yol Genişliği (m)	6,14	81		TOPLAM	277

Çizelge 4.4. “A2-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
ÇOK BLOKLU	ZAYIF	55-60

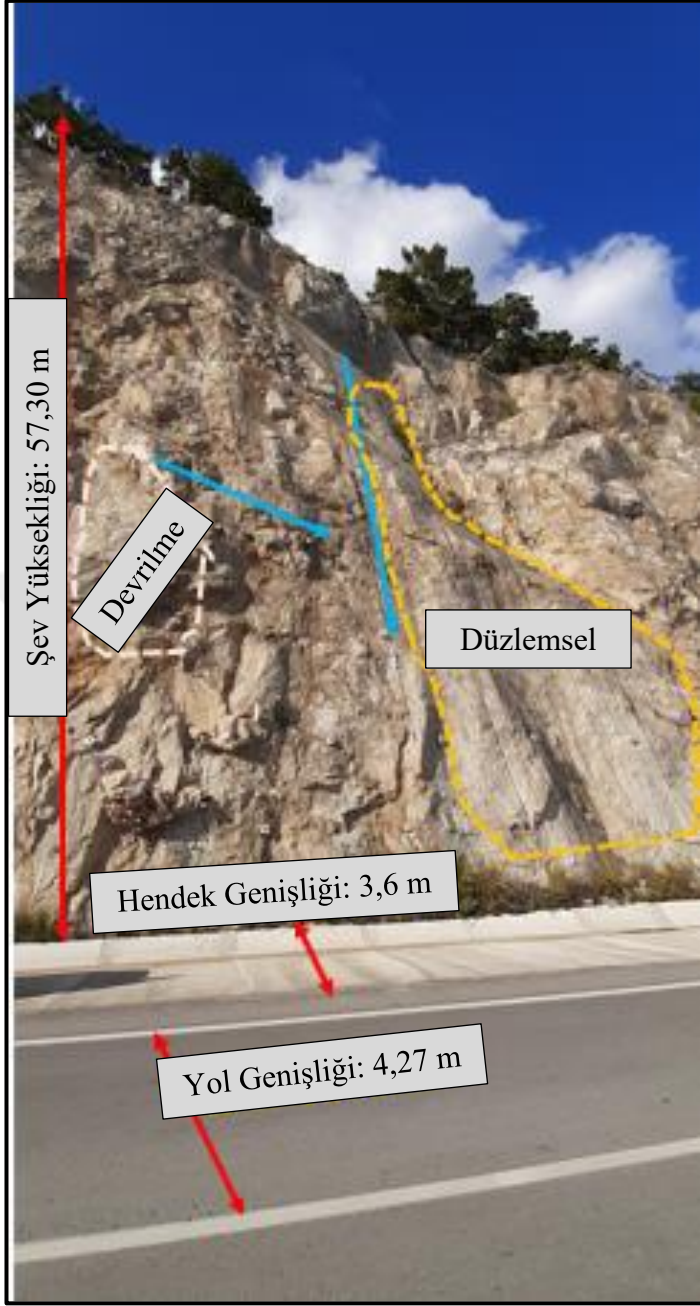
3. Bölge:

Şekillerden de (Şekil 4.11 ve 4.12) anlaşılacağı üzere jeolojik birim olarak şevde kireçtaşı birimi hakimdir. Kireçtaşı birimleri bu bölgede dayanımlı-orta dayanımlıdır ve az-orta derecede ayrılmıştır. Bu birimlerde birden fazla eklem takımı gözlemlenmiştir. Yamaç karakteristiği açısından kaya düşme potansiyeli olduğu tespit edilmiş ve A sınıfı şev olarak sınıflandırılmıştır.

“A3-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.11. A3-sınıfına ait şev görüntüsü



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.

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

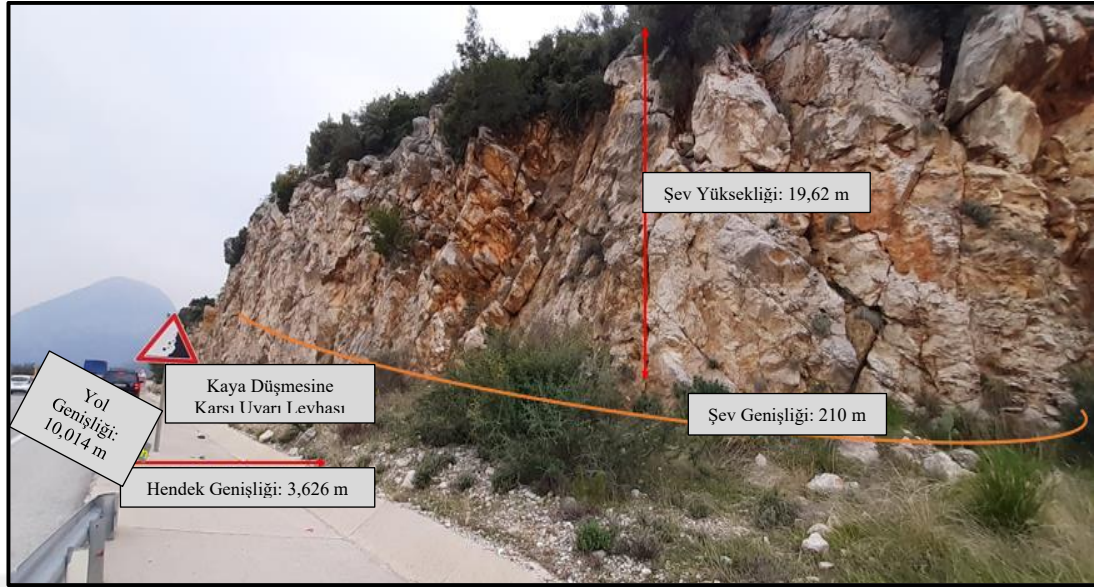
Çizelge 4.6. “A3-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ	ZAYIF	70-75

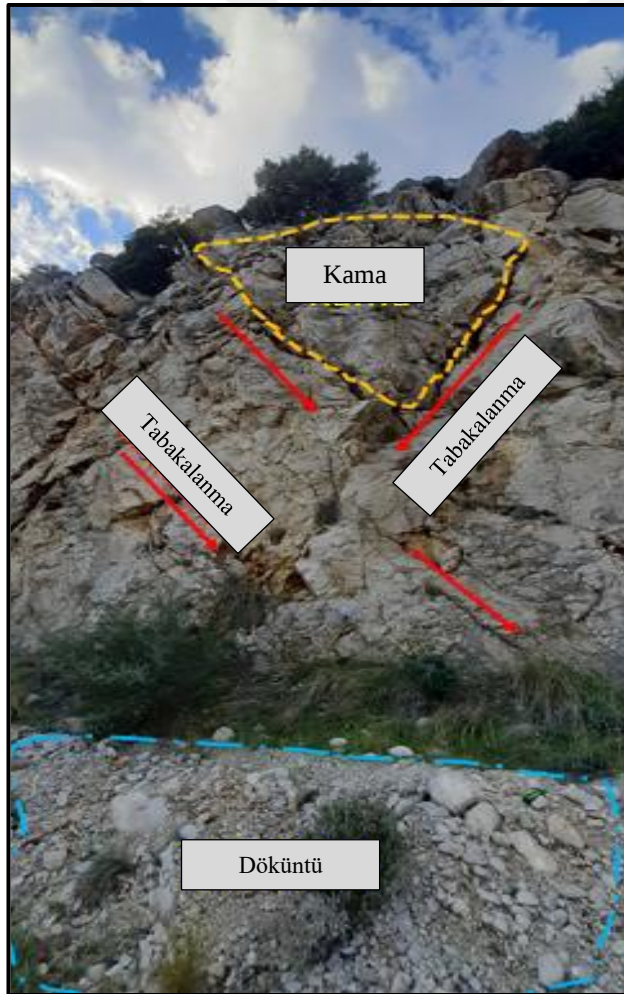
4. Bölge:

Kemer’den Sarısu kavşağına doğru giderken solda kalan şeve ait görüntüler Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere jeolojik birim olarak kireçtaşı hakimdir. Birden fazla eklem takımı gözlemlenmiştir. Eklemler arasında kil dolguları mevcuttur. Eklem takımı sistemlerinin düzensiz oluşu ve şevin yüksekliğinin oldukça fazla olmasından dolayı bu şev A-sınıfı olarak tanımlanmıştır.

“A4-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.13. A4- Sınıfı şevine ait görüntü (Kemer istikameti)



Şekil 4.14. Eklem takımlarının oluşturduğu 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” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ	ZAYIF	70-75

5. Bölge:

5. bölgede kireçtaşı biriminin hakim olduğu görülmektedir (Şekil 4.15 ve Şekil 4.16). Bu birimlerde birden fazla eklem takımı bulunmaktadır. Çalışma alanı incelendiğinde oldukça fazla risk olduğu tespit edilmiştir. Şevin açısı 85 derece olup yamaç tipi düşmeye eğilimli olduğu için A-şevi olarak değerlendirilmiştir.

“A5-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.9 ve 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.15. A5-sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti)



şekil 4.16. A5-sınıfı şevine ait görüntü

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)	71	23	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	177

Çizelge 4.10. “A5-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ	ORTA	65-70

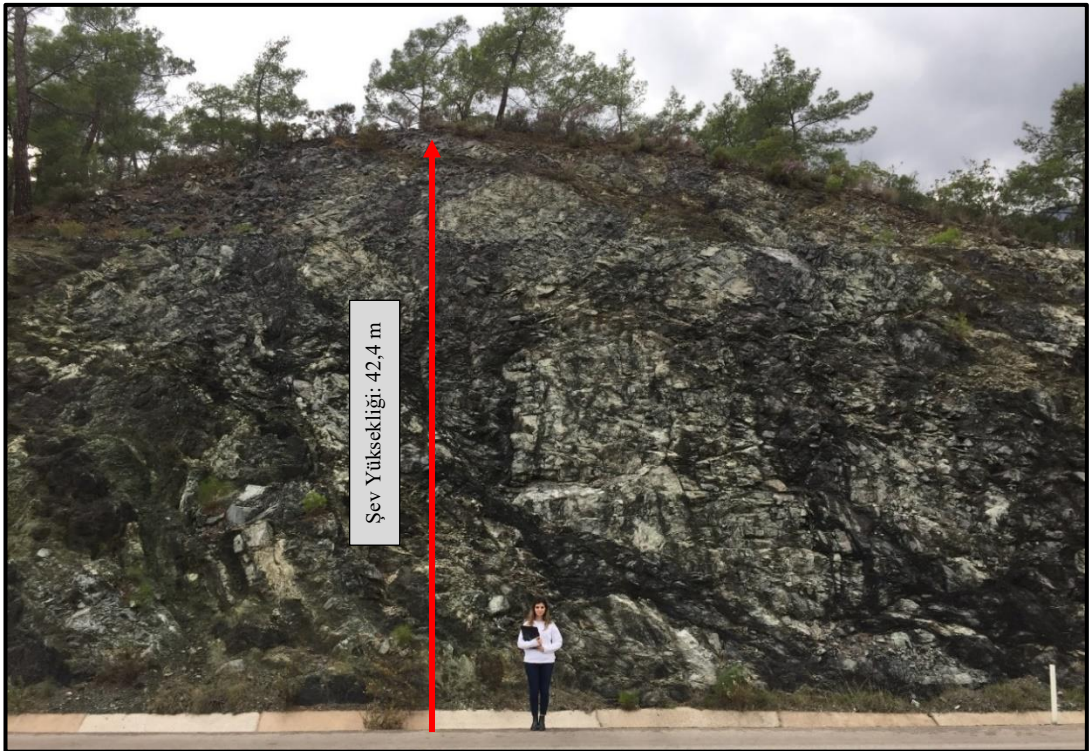
6. Bölge:

Bölgenin Antalya istikametinde yer alan bu şevde birim olarak ofiyolitik seri tespit edilmiştir ve birim içerisinde kumtaşının yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Kumtaşları orta dayanımlı ve orta derecede ayrılmıştır. Aynı zamanda eklemler arası yoğun killeşme gözlemlenmiştir. (Şekil 4.18 ve Şekil 4.19)

“A6-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.17. A6-sınıfı şevin karşıdan görüntüsü



Şekil 4.18. A6-sınıfı şevine ait görüntü



Şekil 4.19. A6-sınıfı şevine ait yakından görüntü

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)	42,4	6	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	150

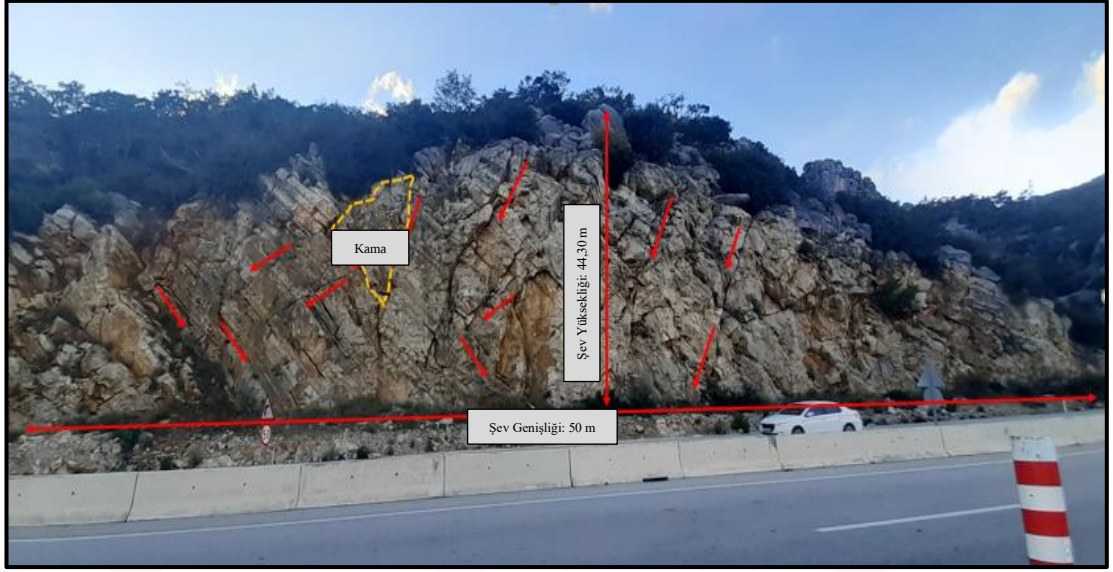
Çizelge 4.12. “A6-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
ÇOK BLOKLU	ZAYIF	60-65

7. Bölge:

Antalya’dan Kemer’e giderken sağda kalan şeve ait görüntüler Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir. Bu bölgede de yine kireçtaşlarının hakim olduğu gözlemlenmiştir. Bu birimler az-orta derecede ayrılmış ve orta dayanımlıdır. Birden fazla eklem takım sisteminin olduğu ve eklemler arasında yer yer kil dolguların olduğu görülmüştür. Süreksizlikler pürüzlü, eklem takım sistemleri düzensiz ve şev yüksekliğinin de oldukça fazla olmasından dolayı şev A tipi olarak değerlendirilmiştir.

“A7-sınıfı” şeve ilişkin puanlamalarla tahmini yoğunluklar, saha ve yol geometrisi ile diğer puanlama kriterlerine (su durumu ve kaya düşme tarihçesi) ve “yapı” ile “süreksizlik yüzey koşulu” parametrelerine ilişkin puanlamalar Çizelge 4.14 ve 4.15’te verilmiştir.



Şekil 4.20. A7 sınıfı şevine ait genel görüntü (Antalya istikameti)



Şekil 4.21. A7-sınıfı şevine ait birimlerin görüntüsü

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)	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 4.14. “A7-sınıfı” şev için yapısal özellik puanı ve süreksizlik yüzey koşulu puanı sonuçları

YAPI	SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULU	GSİ PUANI
BLOKLU/ÖRSELENMİŞ	ORTA	60-65

5. TARTIŞMA

Kaya düşmesi tehlike derecelendirme sistemleri, kaya düşmesi için en büyük potansiyele sahip kaya şevlerini belirlemeye ve iyileştirmeye yardımcı olduğundan, bütçe ve alt yapı çalışmalarının sürekli etkin bir şekilde yürütülmesi açısından birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Şevlerin bazı özelliklerine ilişkin parametreleri derecelendirmeye yardımcı olan üstel bir puanlama sistemi kullanılarak çeşitli tehlike derecelendirme sistemleri geliştirilmiştir. Bu çalışmanın literatür taramasına göre, kaya düşmesi tehlike derecelendirme sistemleri için yeni parametrelerin eklenebileceği ve değiştirilebileceği görülmektedir. Bu çalışmada mevcut sistemin geliştirilerek sonuçların yorumdan çok sayısal verilere dayandırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar şevler ile birlikte doğal yamaçları da kapsamaktadır.

Bu çalışmada, kaya düşmesi tehlikesini, özellikle kaya şevinin jeolojik karakterine ilişkin yönlerini değerlendirmek için rehberlik sunan RHRS'nin kuralları izlenmiştir. Çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir: Ön Derecelendirme ve Ayrıntılı Derecelendirme. Bir şevin ön derecelendirmesi, sistemin en öznel kısmıyken, ayrıntılı derecelendirmeler, şevin tehlikeye göre değerlendirilmesine izin veren sayısal puanlamalar sunar. Bu adım uygun şekilde değerlendirilmezse, tehlikeli olabilecek bazı kesim eğimlerinin eğrilmesine neden olabilir. Böyle bir durumda, derecelendirme yanlış bir cevap verecektir. Ancak bu çalışmada ayrıntılı değerlendirme kısmında bulunan öznel yorumların daha çok sayısal verilerle tespit edilmesi için GSI abağı kullanılmıştır. Böylelikle kaya şevlerinin duraylılığı, tasarımına ilişkin yapılan detaylı çalışmalar ile sisteme yeni parametrelerin dahil edilmesi mümkün kılınmıştır.

Hem Tennessee RHRS hem de diğer çeşitli sistemlerden elde edilebilecek puanlama sonuçları, belirli bir aralık veya sınırlama sunmadıklarını göstermektedir. Sisteme bir parametre ve buna ilişkin puan eklendiği sürece puanlama sonuçları da yükselebilir. Bu sistemde en yüksek puana sahip eğim en tehlikeli olandır.

“Tehlike” terimi, son on yılda jeoteknik ve heyelan literatüründe çeşitli ve özel yorumlarla tanımlanmıştır. Araştırmacılar tarafından yaygın olarak, belirli bir büyüklükteki belirli bir olayın sabit bir zaman aralığında meydana gelme olasılığı olarak tanımlansa da, bu çalışmada sadece potansiyel olarak tehlikeli bir olay veya durumun tanımı ele alınmıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın bir kaya düşmesi olayının kesin zamanını tanımlamaktan uzak olduğu söylenebilir.

Ayrıca sistemin adının (Kaya Düşmesi Tehlike Derecelendirme Sistemi) sadece kaya düşmelerini içermediği için içeriğini temsil etmemektedir. Ayrıca, ağır eklemli kayalara sahip bazı kesme şevler için, beklenen kaya yenilmesi dairesel kaymaya dönüşebilir ve sistemi bu tür olasılıklar açısından değerlendirmek gerekebilir.

6. SONUÇLAR

Çalışma alanında, karayolu boyunca görülen kaya blokları tehdit oluşturmaktadır. Yoldan geçen araçların da dikkate alındığı bu araştırmada, şev yüksekliği, araç risk ortalaması, blok uzaklığı algılama, yol genişliği, şev önü hendek etkinliği, kaya düşme tarihçesi, şevdeki su varlığı ve kaya kütlelerinin özellikleri gibi parametreler belirlenerek kaya düşmesi tehlike sınıflandırması uygulanmıştır.

Yukarıda belirtilen ayrıntılarla Türkiye’de uygulanabilirliği değerlendirilecek olan bu sistemin, trafik akışının yoğun olduğu Antalya-Muğla D400 Karayolu’nun Sarısu-Kemer arasında kalan alanında ilk kez uygulanacak olması önem arz etmekte ve ileride bu alanda yapılması planlanan projelere kılavuzluk etmesi beklenmektedir. Tez kapsamında elde edilecek sonuç verileri can güvenliğini ve turistik bir bölge olması açısından ulusal ekonomiyi de doğrudan etkilemektedir.

Bu çalışma ile geliştirilecek olan kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi, ulaşımda sürücülerin can ve mal güvenliğinin sağlanması konusunda ilgili kurumlara şevlerin duraysızlıkları ile ilgili karar almada ve bu konuda ayırdıkları bütçeyi nerede ve nasıl kullanacakları konusunda yardımcı olacaktır. Ayrıca halihazırdaki kaya düşmesi tehlike sınıflandırma sistemi içerisindeki jeolojik faktörlerin puanlamasının yapıldığı bölüm, GSI kaya kütlesi sınıflama sisteminin eklenmesi ile yeni bir sistemin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Böylelikle halihazırdaki sistemin zayıf yönü olan kişiden kişiye değişen değerlendirmeler giderilmiş olacaktır ve herkesin kullanabileceği pratik bir hal alacaktır.

Bu çalışmanın sonucunda, var olan sistemde yer alan jeolojik değerlendirmeler bölümü ülkemizde uygulanabilirliği açısından modifiye edilerek, şev duraylılık çalışmalarına pratik bir yaklaşım kazandırılmıştır. Bu projenin az maliyetle ve zaman kaybını ortadan kaldırarak ülke ekonomisine ve güvenliğe büyük oranda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Uygulanan sınıflandırma sistemi iki aşamadan oluşmaktadır. İlk 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 kadar gelirse şev A-sınıfı olarak tanımlanır.

İlksel sınıflandırma aşamasında sekiz adet yol yarması sınıflandırılmıştır ve bunlardan yedi tanesi tehlikeli olduğu tespit edilerek A-sınıfında 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 129 ile 333 arasında değiştiği görülmektedir. Bu çalışmada 200 üzerinde puan alan şevler en tehlikeli şevler olarak değerlendirilmektedirler. A-sınıfı şevlerden 5 tanesi (A2, A3, A4, A5 ve A6) belirlemiş olduğumuz yüksek puan kriterinde oldukları için en tehlikeli şevler olarak kabul edilmişlerdir.

Çizelge 6.1. 7 adet A-sınıfı şevin toplam tehlike puanlarını gösteren tablo

Şev No	Saha ve Yol Geometrisi Toplam Puanı	Jeolojik Karakterizasyon Toplam Puanı	Genel Toplam
A1	92	55	147
A2	277	60	367
A3	237	75	312
A4	159	75	234
A5	177	70	247
A6	150	65	215
A7	128	65	193

Jeolojik karakterizasyon puanı hesaplanırken puanlar aralık olarak belirtilmiştir ancak nihai tehlike puanı hesaplaması yapılırken aralığa denk gelen en yüksek puan baz alınmıştır.

Bu çalışmadan da görüldüğü üzere şev yüksekliği ile uygulanmış olan sınıflandırma sistemi puanı doğru orantılıdır. Yüksekliği fazla olan şevlerde iyileştirme çalışmalarında ayrılacak olan bütçenin de fazla olması gerekmektedir. Her ülke kendi saha özelliklerine göre bu sistemi uyarlamış ve ülkemizde de bu sistem uyarlanabilir özelliktedir.

7. 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., 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.
- Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support, Rock Mechanics 6, 5, pp. 189-236.
- Bateman, V. 2002, 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.
- 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.
- Çalaman İ. ve Çalaman G. 2004, Antalya İli Ve Çevresi İklim Elemanlarının Dağılımı Ve Meteorolojik Risk Haritaları, 18 s.
- 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 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.
- 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.
- 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*.
- 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.
- Kalafatçioğlu, A. 1973, Antalya körfezi batı kısmının jeolojisi. *MTA Dergisi*. 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
- 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.

- 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.
- 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 geologique 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
- 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 Geniş-Köprü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanların jeolojisi:TPAO Rap.3132, MTA Rap. 9390, 559s, Ankara(yayımlanmamış).
- Şenel, M., Gedik, I., Dalkılıç, H., Serdaroğlu, M., Bilgin, A.z., Uğuz, M. F., Bölükbaşı, A. F., Korucu, M. ve Özgül. N. 1996, Isparta bölümü doğusunda, otokton ve allokon 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.
- 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.



ÖZGEÇMİŞ

Ceren ATEŞ

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2019-2022	Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Antalya
Lisans	Hacettepe Üniversitesi
2014-2018	Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara

MESLEKİ VE İDARİ GÖREVLER

Stajyer	T.C. Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı
2018	Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü, Ankara