KAYA DÜŞMESİ ANALİZİNDE GERİ SIÇRAMA KATSAYISININ ETKİSİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COEFFICIENT OF RESTITUTION ON ROCKFALL ANALYSIS BY USING EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL METHODS

NECİB ÇAPAR

PROF. DR. CANDAN GÖKÇEOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

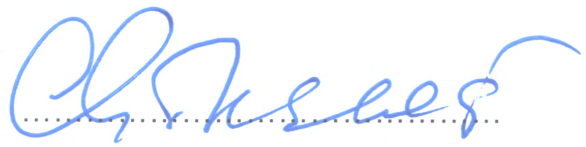
2018

NECİB ÇAPAR'ın hazırladığı **"Kaya Düşmesi Analizinde Geri Sıçrama Katsayısının Etkisinin Deneysel Ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi"** adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından **JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'** nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Haluk AKGÜN

Başkan ..... 

Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Danışman ..... 

Prof. Dr. Murat ERCANOĞLU

Üye ..... 

Doç. Dr. Hakan A. NEFESLİOĞLU

Üye ..... 

Doç. Dr. Mehmet Celal TUNUSLUOĞLU

Üye ..... 

Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından **DOKTORA TEZİ** olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



Kardeşime, …

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel, ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/11/2018

NECİB ÇAPAR

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişiime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- ☐ Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren .... ay ertelenmiştir
- ☐ Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

14 / 11 / 2018

(İmza)

ÖĞRENCİNİN ADI-SOYADI

Necib ÇAPAR

ÖZET

KAYA DÜŞMESİ ANALİZİNDE GERİ SIÇRAMA KATSAYISININ ETKİSİNİN DENEYSEL VE ANALİTİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

Necib ÇAPAR

Doktora, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

Kasım 2018 / 299 Sayfa

Çalışmanın amacı kaya düşmesi sorunlarının çözümlenmesinde literatürde sıklıkla kullanıldığı tespit edilen RocFall ticari yazılımının kullanıldığı durumlar ile MATLAB yazılımı kullanılarak hazırlanmış N-TEK adlı yazılımın kullanıldığı durumlar arasındaki benzerliklerin ve/veya farkların belirli bir çalışma alanını kapsayan uygulama örneği yardımıyla nitel ve nicel olarak belirlenmesidir. Kinematik geri sıçrama katsayılarının (R_n, R_t) girdi değişkeni olduğu RocFall adlı ticari yazılım öbek kütle yaklaşımı kullanarak tekil bloklara ait hareket hesaplamalarını 2 boyutta yapılabilmesini sağlamaktadır. Benzer şekilde öbek kütle yaklaşımı kullanan, yay (k_x, k_y) ile sönümleme (c_x, c_y) katsayılarının girdi değişkeni olduğu N-TEK yazılımı

ilgili hareket hesaplamalarının yapılabilmesini kuvvet modelleri kullanarak sağlamaktadır. Her iki yazılıma ait girdi değişkenlerinin belirlenebilmesi için uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak çalışma sahasına ait sayısal arazi modeli oluşturulmuş, arazi deneyleri yürütülmüş ve geriye dönük analiz çalışmaları yapılmıştır. Arazi deneyleri yüksek hızlı kamera ile yapılan çekimleri ve ilgili mühendislik jeolojisi birimlerine ait yer değiştirme miktarlarının belirlenmesini

kapsamaktadır. RocFall yazılımı içerisinde farklı birimlerin tanımlanmasını sağlayan normal ve teğet geri sıçrama katsayılarının belirlenmesinde yüksek hızlı kamera görüntülerinin kullanılmasının ilgili yöntemin kullanıcı hatasına açık olması ve bloğun çarpışma yüzeyi ile temas ettiği ve çarpışma yüzeyinden ayrıldığı anların çoğunlukla tespitinin mümkün olmaması nedeniyle yetersiz kaldığı sonucuna varılmıştır. Geriye dönük analiz çalışmaları ile çalışma sahası içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerine ait normal ve teğet geri sıçrama katsayıları belirlenebilmiştir. N-TEK yazılımı içerisinde mühendislik jeolojisi birimlerinin tanımlanmasını sağlayan yatay ve düşey yay ile sönümlenme sabitlerinin arazi deneyleri yardımıyla belirlenen yer değiştirmeler kullanılarak tespiti ilgili hareket modeline ait kabuller dikkate alındığında sorunun matematiksel çözümünün bulunmaması nedeniyle mümkün olamamıştır. İlgili hareket modellerinin nitel/nicel karşılaştırması yapılamamıştır, ancak mevcut durum ile ilgili açıklamalar çalışma içerisinde detaylı biçimde ortaya konmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kaya Düşmesi, Geri Sıçrama Katsayısı, Deterministik Yöntem, RocFall, N-TEK, Kaya Düşmesi Önleme Yapıları

ABSTRACT

THE INVESTIGATION OF THE EFFECT OF COEFFICIENT OF RESTITUTION ON ROCKFALL ANALYSIS BY USING EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL METHODS

Necib ÇAPAR

Doctor of Philosophy, Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

November 2018 / 299 Pages

The study aimed to compare the situations for solving rocfall problems that a commercial software called Rocfall and a proprietary software called N-TEK that have been written in MATLAB is used qualitatively/quantitatively by using a case study. RocFall software allows the calculation of motions of singular blocks in 2 dimensions bu using the lumped mass approach and kinematic coefficients of restitutions (R_n, R_t). Similarly N-TEK software uses the lumped mass approach but allows the related motion calculations by using spring (k_x, k_y) and damping (c_x, c_y) coefficients and force models. By using remote sensing methods digital elevation model of the study area have been formed, field studies and back-analyses studies have been conducted to determine the input parameters for both of the softwares. Field studies were comprised of high-speed camera recordings and mesaurement of displacements for related engineering geology units.The usage of high-speed camera images for determining the coefficients of restitutions which have to be defined for the widely used RocFall Software have been concluded to

be insufficient because of the susceptibility of the method against user errors and lack of ability to determine the impact and rebound velocities of the moving block. By using back-analyses methods, the related normal and tangential coefficients of resititutions have been determined for the engineering geology units that are present in the study-area. Determination of the variables used in the suggested motion model defined for the engineering geology units as spring and damping coefficients by using the deformation values measured during the field tests was not possible due to the lack of mathematical solution of the problem. Comparison of both motion models qualitatively and quantitavely have not been possible but related explanations about the situation have been explicitly presented in the study.

Keywords: Rockfall, Coefficient of Restitution, Deterministic Method, RocFall, N-TEK, Rockfall Prevention Structures

TEŞEKKÜR

Öncelikle doktora çalışması süresince sürekli olarak beni destekleyen kardeşime, anneme ve babama teşekür etmek isterim. Tez konusunun seçiminde ve tezin hazırlanma süresinde birinci derecede katkısı olan hocam Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na minnettarlığımı sunmak isterim. Arazi çalışmaları ve tezin hazırlanması sırasında tarafıma yol gösteren ve yardımcı olan hocam Doç. Dr. Hakan NEFESLİOĞLU'na; uzaktan algılama verileri için İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi Doç. Dr. Tolga GÖRÜM'e; tez konum ile ilgili uluslararası durumu daha iyi anlamamı sağlayan hocam Prof. Dr. Reşat ULUSAY'a; hareket modellerinde kullanılan eşitlikleri daha iyi anlamamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Uygulamalı Matematik Ana Bilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Mustafa Turkyılmazoğlu'na; hazırlamış olduğum yazılımda kullanmış olduğum hareket eşitliklerinin dinamik bilimi açısından doğruluğu ve çalışmamda irdelemiş olduğum konunun dinamik bilimi çerçevesinde incelenmek istendiğinde kullanılması gereken yöntemler hakkında tarafımı sabırla bilgilendiren Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği öğretim üyesi Prof. Dr. R. Orhan YILDIRIM'a, çalışmam sırasında karşılaşmış olduğum dinamik bilimi ile ilgili sorunları dinleyerek fikirlerini paylaşan ve Prof. Dr. R. Orhan YILDIRIM ile görüşmemi sağlayan Ortadoğu Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği öğretim üyeleri Prof. Dr. Serkan DAĞ'a ve Prof. Dr. F. Suat KADIOĞLU'na şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez çalışmam açısından büyük bir öneme sahip olan hazırlamış olduğum yazılımın ve içerisinde kullanılan algoritmaların kontrolleri için bölüm olanaklarından faydalanmamı sağlayan, yardımcı olan ve sabırla tüm sorularımı cevaplayan Hacettepe Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Ebru Akçapınar SEZER'e teşekkür etmek isterim. Tez çalışmam kapsamında tamamlamış olduğum laboratuvar deneyleri için numunelerin şeçiminde, hazırlanmasında ve ilgili deneylerin yürütülmesinde sahip oldukları bilgileri tarafımla paylaşan ve yardımcı olan Hacetepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Kayaç ve Toprak(Zemin) Mekaniği Laboratuvarı Sorumlusu Doç. Dr. Adil BİNAL'e ve laboratuvar teknisyenleri Ahmet BAY ile Özgür EROL'e minnettarlığımı belirtmek isterim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET……..... i

ABSTRACT……..... ii

TEŞEKKÜR……... iii

İÇİNDEKİLER…… iv

ÇİZELGELER DİZİNİ……..... xii

ŞEKİLLER DİZİNİ……..... xvii

SİMGELER VE KISALTMALAR…….. xxiv

1. GİRİŞ 1

2. KAYA DÜŞMESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER..... 3

2.1. Tanımlar 3

2.1.1. Kaya Düşmesi 4

2.1.2. Kaya Düşmesi Tehlikesi 9

2.1.3. Kaya Düşmesi Riski..... 11

2.2. Kaya Düşmelerinin Sınıflandırılması 12

2.3. Kaya Düşmelerinin İncelenmesinde Kullanılan Yöntemler 13

2.3.1. Risk Derecelendirme Sistemleri 17

2.3.1.1. Gölge Açı-Koni Yaklaşımı..... 17

2.3.1.2. Kaya Düşmesi Tehlike Derecelendirme Sistemi (RHRS) 19

2.3.1.3. Kaya Şevi Derecelendirme Süreci (RSRP)..... 26

2.3.1.4. Ontario Kaya Düşmesi Tehlike Değerlendirme Sistemi (RHRON) 33

2.3.1.5. Kaya Düşmesi Risk Yönetim Değerlendirmesi (RO.M.A) 40

2.3.1.6. Taş ocakları için Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi (ROFRAQ)..... 44

2.3.2. Hareket Modelleri 47

2.4. İyileştirme Yöntemleri 50

2.4.1. Duraylılığı Arttırıcı Yöntemler 50
2.4.1.1. Destekleme Yöntemleri 51
2.4.1.1.1. Kesme Takozları 51
2.4.1.1.2. Kaya Ankrajları 52
2.4.1.1.3. Bağlamalı Ankrajlı Duvar 53
2.4.1.1.4. Püskürtme Beton 54
2.4.1.1.5. Drenaj 55
2.4.1.1.6. Payanda 56
2.4.1.2. Kaya Kaldırma Yöntemleri 57
2.4.1.2.1. Yeniden Şevlendirme 58
2.4.1.2.2. Şevlerin Traşlanması 58
2.4.1.2.3. Şev Temizliği 58
2.4.2. Korunma Önlemleri 58
2.4.2.1. Yakalama Hendekleri 59
2.4.2.2. Bariyerler 60
2.4.2.2.1. Gabiyon 61
2.4.2.2.2. Beton Blok Bariyerler 62
2.4.2.2.3. MSE Bariyerler 63
2.4.2.3. Uyarı Çitleri 64
2.4.2.4. Tel Ağlar 65
2.4.2.5. Yakalama Çitleri 67
2.4.2.6. Zayıflatıcı Asılı Ağlar 70
2.4.2.7. Kaya Sundurmaları ve Tüneller 71
2.4.2.7.1. Donatılı Beton Sundurmalar 72
2.4.2.7.2. Konsol Sundurmalar 72
2.4.2.7.3. Eğimli Tavana Sahip Sundurmalar 73

2.4.2.7.4. Ağ Sundurmalar 74
2.5. Kaya Düşmeleri ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Standartlar 76
2.5.1. Ulusal Durum 76
2.5.2. Uluslararası Durum 78
2.5.2.1. Destekleme Yöntemleri 79
2.5.2.1.1. Kesme Takozları 79
2.5.2.1.2. Kaya Ankrajları 79
2.5.2.1.3. Bağlamalı Ankrajlı Duvarlar 79
2.5.2.1.4. Püskürtme Beton 79
2.5.2.1.5. Drenaj 80
2.5.2.1.6. Payanda 80
2.5.2.2. Kaya Kaldırma Yöntemleri 80
2.5.2.3. Korunma Önlemleri 81
2.5.2.3.1. Yakalama Hendekleri 81
2.5.2.3.2. Bariyerler 81
2.5.2.3.2.1. Gabiyon 81
2.5.2.3.2.2. Beton Blok Bariyerler 81
2.5.2.3.2.3. MSE Bariyerler 81
2.5.2.3.3. Uyarı Çitleri 82
2.5.2.3.4. Tel Ağlar 82
2.5.2.3.5. Yakalama Çitleri 82
2.5.2.3.6. Zayıflatıcı Asılı Ağlar 84
3. MEKANİK BİLİMİ VE HAREKET SORUNLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER 85
3.1. Fizik ve Mekanik Bilimi ile Hareket Sorunu 85
3.2. Analitik ve Sayısal Yöntemler 86

3.3. Ölçümler ve Birimler 86
3.3.1. Standartlaştırılmış Ölçüm Birimleri 87
3.3.2. Belirsizlik ve Anlamlı Rakamlar 87
3.4. Newton Yasaları 89
3.5. Hareket Sorunları 89
3.5.1. Tanımlar 90
3.5.2. Yapılandırılmış Sorun Çözme Yaklaşımı 94
3.5.3. Koordinat Sistemleri 95
3.5.3.1. 2 Boyutlu Sistemler 96
3.5.3.1.1. Kartezyen Koordinat Sistemi (x-y) 96
3.5.3.1.2. Normal ve Teğet Koordinatlar (n-t) 97
3.5.3.1.3. Kutupsal Koordinatlar (r-θ) 99
3.5.4. Kuvvet 102
3.5.4.1. Kuvvetlerin Sınıflandırılması 102
3.5.4.2. Kuvvet Modelleri 102
3.5.4.2.1. Yerçekimsel Kuvvet (Ağırlık) 102
3.5.4.2.2. Sürüklenme Kuvveti 104
3.5.4.2.3. Yay Kuvveti 105
3.5.4.2.4. Sönümlendirici Kuvveti 106
3.5.4.2.5. Sürtünme Kuvveti 107
3.5.5. Analitik Yöntemler 108
3.5.6. Sayısal Yöntemler 112
3.5.6.1. Simplektik Yöntemler 112
3.5.6.1.1. Euler-Chromer Yöntemi 112
3.5.7. Geri Sıçrama Katsayısı 113
4. HAZIRLANAN N-TEK ADLI YAZILIM HAKKINDA GENEL BİLGİLER 121

4.1. Kabuller 121
4.2. Genel Hesap Algoritması 121
4.3. Temas Tespit Algoritması 122
5. ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARI 124
5.1. Giriş 124
5.2. Çalışma Sahası 124
5.2.1. Konum 124
5.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü 125
5.2.3. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi 125
5.2.3.1. Çalışma Sahası İçerisindeki Jeolojik Birimler 125
5.2.3.1.1. (Tmh) Hançili Formasyonu 127
5.2.3.1.2. (Qal) Alüvyon 128
5.2.3.2. Çalışma Sahasının Yapısal Jeolojisi ve Tektonizması 128
5.2.3.3. Çalışma Sahasının Depremselliği 129
5.3. İnceleme Yöntemleri 131
5.3.1. Arazi Çalışmaları 131
5.3.1.1. Sayısal Arazi Modelinin Oluşturulması 131
5.3.1.2. Mühendislik Jeolojisi Birimlerinin Tanımlanması 134
5.3.1.2.1. Alüvyon 136
5.3.1.2.2. Birim 1 (Tmh – Hançili Formasyonu) 136
5.3.1.2.3. Birim 2 (Tmh – Hançili Formasyonu) 136
5.3.1.2.4. Birim 3 137
5.3.1.2.5. Birim 4 137
5.3.1.3. Kaya Kütlesi İçerisindeki Ana Süreksizlik Takımlarının Tanımlanması .. 137
5.3.1.4. Kaya Düşmesi Kaynak Bölgeleri ile Düşmüş Blokların Hacimlerinin Değerlendirilmesi 141

5.3.1.5. Süreksizlik Yüzeyine ait Sürtünme Açısının Tespiti Amacıyla Arazide Yürütülen Schmidt Çekici Deneyleri 143

5.3.1.6. Geriye Dönük Analiz Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlara ait Girdi Değişkenlerinin Belirlenmesi..... 143

5.3.2. Laboratuvar Çalışmaları 147

5.3.2.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kumpas Yöntemiyle)..... 147

5.3.2.2. Deformasyon Kontollü Doğrudan Makaslama Cihazıyla Makaslama Deneyi 148

5.3.2.3. Tilt Deneyi 150

5.3.2.4. Süreksizlik Yüzeyine ait Sürtünme Açısının Tespiti Amacıyla Laboratuvarda Yürütülen Schmidt Çekici Deneyleri 151

5.3.3. Ofis çalışmaları..... 152

5.3.3.1. Kaya Düşmesi Kaynak Bölgeleri ile Düşmüş Blokların Hacim, Konumlarının Belirlenmesi..... 152

5.3.3.2. Kinematik Analizler..... 155

5.3.3.3. Geriye Dönük Analiz Çalışmaları..... 159

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA 172

6.1. Sonuçlar 172

6.2. Tartışma 174

7. KAYNAKLAR..... 176

8. EKLER 187

9. ÖZGEÇMİŞ 296

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1**:** İsviçre terimlerine dayaranak yapılmış kullanılan pratik kaya düşmesi terimleri yaklaşımı ([41]'den değiştirilerek alınmıştır.). 8

Çizelge 2.2: Kaya düşmesi terminolojisindeki belirsiz tanımlamalar için öneri ([41]'den değiştirilerek alınmıştır.). 8

Çizelge 2.3: Literatüdeki kütle hareketi tehlikesi tanımları ([45]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 10

Çizelge 2.4: Kütle hareketi riski tanımları ([45]'ten değiştirilerek alınmıştır.)..... 12

Çizelge 2.5: Ön derecelendirme sistemi ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 21

Çizelge 2.6: AASHTO (1984) [75] Karar Verme Görüş Mesafesi Değerleri ([73]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 22

Çizelge 2.7: Kaya düşmesi bölgesi özelliklerine ait sayısal değerlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 22

Çizelge 2.8: Oregon RHRS Özet Tablosu ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.). ... 23

Çizelge 2.9: Kaya düşmesi bölgesi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan arazi tablosu ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.)..... 24

Çizelge 2.10: RSRP içerisindeki Jeolojik Faktörlerin (GF) Puanlanmasında kullanılan tablo ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 27

Çizelge 2.11: Eyaletler arası ve diğer karayolları için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 29

Çizelge 2.12: Kırsal arterler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 30

Çizelge 2.13: Şehir içi arterler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 30

Çizelge 2.14: Kırsal kollektörler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 31

Çizelge 2.15: Şehir içi kollektörler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 31

Çizelge 2.16: Yerel kırsal yollar için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 32

Çizelge 2.17: Dönen yollar için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.). 32

Çizelge 2.18: Karar Verme Görüş Mesafesi Değerleri ([83]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 33

Çizelge 2.19: RHRON etmenlerinin derecelendirilmesi ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 34

Çizelge 2.20: Ayrıntılı RHRON puanının hesaplanmasında kullanılan etmenler ve ilgili eşitlikler ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 37

Çizelge 2.21: Kaya yüzeyindeki düzensizliklere (R4) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 38

Çizelge 2.22: Kaya yüzeyindeki gevşekliğin (R5) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 38

Çizelge 2.23: Süreksizlik yönelimi ve devamlılığına (R6) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 38

Çizelge 2.24: Kayanın (R7) ve süreksizlik dolgu malzemesinin (R8) dayanımına ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 39

Çizelge 2.25: Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine (R10) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 40

Çizelge 2.26: Temizleme zonu genişliğine (R14) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 40

Çizelge 2.27: Literatürde tanımlı yeryüzeyi üzerinde kaya düşmesi olaylarının incelenmesinde kullanılan hareket modellerine ait özellikler 49

Çizelge 2.28: Amerika'da ve Avrupa'da kullanılan iyileştirme yöntemlerine ait standartlar. 78

Çizelge 2.29: NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu özellikler ([176'dan değiştirilerek alınmıştır.). 83

Çizelge 2.30: NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu olumlu ve olumsuz yönler ([176'dan değiştirilerek alınmıştır.). 83

Çizelge 3.1: Uluslararası Birimler Sistemi (SI) ve Ön Ekleri ([128]'den değiştirilerek alınmıştır). 87

Çizelge 3.2: Güneş sistemindeki gezegenlerin yüzeyinde yerçekimi ivmesinin sahip olduğu değerler ([128]'den değiştirilerek alınmıştır.). 103

Çizelge 3.3: Bloğun serbest düşme hareketini hava sürtünmesini gözardı ederek tanımlayan eşitlikler..... 109

Çizelge 3.4: Bloğun temas hareketini çarpmanın direkt merkezsel çarpışma olduğu kabulü ile tanımlayan eşitlikler..... 110

Çizelge 3.5: Geri sıçrama katsayısını etkileyen değişkenler ve bu değişkenlerin literatürde tanımlanan eğilimleri. ↗ ve ↘ sırasıyla ilgili olduğu değişkendeki artış ve azalışı, ↔ ise ilgili olduğu değişkende değişim gözlemlenmediğini belirtmektedir ([137]'den değiştirilerek alınmıştır.). 117

Çizelge 5.1: SenseFly Firması tarafından üretilmiş "eBee Plus" insansız hava aracına ait özellikler [155]. 132

Çizelge 5.2: İnsansız hava aracı sayesinde elde edilen veri kümelerine ait metre cinsinden bağıl ortalama konum duyarlılıkları 133

Çizelge 5.3: Birim 1'i oluşturan kaya kütlesine ait tanımlamalar..... 136

Çizelge 5.4: Birim 2'yi oluşturan kaya kütlesine ait tanımlamalar 137

Çizelge 5.5: Hat etütlerinin yapıldığı istasyonların konumları 137

Çizelge 5.6: Hançili Formasyonu içerisindeki ana eklem takımlarına ait özellikler 138

Çizelge 5.7: Örnek bloklara ait hacim ölçümleri..... 142

Çizelge 5.8: Ayrışmış süreksizlik yüzeyleri üzerinde yapılan Scmidt Çekici Deneyi Sonuçları (r) 143

Çizelge 5.9: Yüksek hızlı kamera ile çekilen görüntülerin değerlendirilmesi sonucu ulaşılan sahadaki mühendislik jeolojisi birimlerine ait Rn ve Rt değerleri 144

Çizelge 5.10: Küresel beton numunelere ait özellikler 145

Çizelge 5.11: Deformasyon vektörlerinin tespiti amacıyla yürütülen deneysel çalışmaların sonuçları 146

Çizelge 5.12: Çalışma sahaları içerisinde önceden hareketlenmiş blokları oluşturan kayaçlara ait birim hacim ağırlık değerleri 147

Çizelge 5.13: Numunelere ait normal gerilme ve makaslama gerilmesi değerleri 148

Çizelge 5.14: Tilt deneyi sonuçları 151

Çizelge 5.15: Laboratuvarda kesilmiş taze kayaç yüzeyleri üzerinde yürütülmüş Scmidt Çekici Deneylerine ait sonuçlar (R) 152

Çizelge 5.16: Düşmüş bloklara ait hacim değerlerinin sınıflanması 155

Çizelge 5.17: Ana süreksizlik takımlarına ait hacimsel eklem sayıları 155

Çizelge 5.18: Eklem1'e ait JCS değerleri 156

Çizelge 5.19: Süreksizlik yüzeyine etkiyen efektif normal gerilmeler 157

Çizelge 5.20: Tilt Deneyi sonuçları kullanılarak hesaplanan artık sürtünme açısı değerleri 157

Çizelge 5.21: Süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısı hesaplamalarına ait sonuçlar 158

Çizelge 5.22: Kaynak alanındaki şevlere ait kinematik analiz sonuçları 158

Çizelge 5.23: Olası Durma Noktaları için net blok hacimlerinin sınıflanması 159

Çizelge 5.24: Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılan literatürde tanımlı R_N ve R_T değerleri 162

Çizelge 5.25: RocFall yazılımı kullanılarak tespit edilmiş Rn ve Rt değerleri 162

Çizelge 5.26: Hazırlanan yazılım içerisinde kullanılan harekete başlangıç konumları 165

Çizelge 5.27: Tüm mühendislik jeolojisi birimlerine ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı 170

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1: Cruden ve Varnes 'a (1996) ait heyelan sınıflaması ([35]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 6

Şekil 2.2: Parçacıklı kaya düşmesi sonucu La Guingueta, Merkez Pireneler, İspanya'da oluşan çökeller ([39]'dan değiştirilerek alınmıştır.). 7

Şekil 2.3: Riski tanımlayan model ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 11

Şekil 2.4: Tehlike Değerlendirmesi Sürecine ait adımların birbirleri ile ilişkilerini gösterir şekil ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 14

Şekil 2.5: Tehlike Değerlendirmesi Sürecine ait adımların birbirleri ile ilişkilerini gösterir şekil ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 15

Şekil 2.6: Kaya düşmesi olayına ait tehlike tanımlamasına ait bileşenler ([60]'tan değiştirilerek alınmıştır). 16

Şekil 2.7: Enerji çizgisi a çısı ve ilgili enerji çizgisi açısı üzerindeki değerlerde yamaç üzerinde hareketsiz duran blok yüzdesi ilişkisini gösterir şekil ([62]'den değiştirilerek alınmıştır.). 18

Şekil 2.8: Enerji çizgisi tanımlarını gösterir şekil ([62]'den değiştirilerek alınmıştır.). 18

Şekil 2.9: Kaya düşmesi olayına ait tehlike tanımlamasına ait bileşenler ([28]'den değiştirilerek alınmıştır.). 19

Şekil 2.10: Ritchie'nin hendek Ölçütü – Hendek Tasarım Abağı [81] 28

Şekil 2.11: Tepe açısı tespit yöntemleri ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 35

Şekil 2.12: İlgili kaya düşmesi bölümü için tehlike sınıflaması ölçütleri ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 35

Şekil 2.13: RO.M.A. yaklaşımı eşik risk değerleri, kabul edilebilir değerler yeşil, kabul edilemez değerler kırmızı, kritik değer ise sarı renk ile gösterilmektedir ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 41

Şekil 2.14: RO.M.A. yaklaşımı süreç akış şeması ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 42

Şekil 2.15: Karayolu üzerinde kaya düşmesi nedeniyle meydana gelebilecek ölümcül bir kaza olasılığına ait olay ağacı değerlendirmesi ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 43

Şekil 2.16: Taşocaklarındaki kaya düşmesinin belirlenmesinde kullanılan ROFRAQ veri sayfası ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.). 45

Şekil 2.17: ROFRAQ sistemi içerisindeki D(c) etmeninin tahmininde kullanılan şekil ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.). 46

Şekil 2.18: ROFRAQ sistemi içerisindeki E(d) etmeninin hesaplanmasında kullanılan şekil ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.). 46

Şekil 2.19: Kaya şevlerinde kullanılan iyileştirme önlemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.). 50

Şekil 2.20: Kaya şevi destekleme yöntemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.). 51

Şekil 2.21: Ankraj gövdesinin (a) rijit bir çubuk olduğu ve (b) esnek bir halat olduğu durum ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.). 52

Şekil 2.22: Şev drenajında kullanılan yöntemler ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.). 56

Şekil 2.23: Kaya şevi duraylılığını arttırmak için kullanılan kaya kaldırma yöntemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.). 57

Şekil 2.24: Korunma yapılarının sönümleyebilecekleri çarpışma enerjisi miktarları ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 59

Şekil 2.25: Yakalama hendeği geometrileri a) eğimli tabana sahip hendekler b) yatay tabana ve çakıl seddelere sahip hendekler([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 60

Şekil 2.26: Gabiyon bariyer örnekleri. a) Karayolu kotundan aşağıda, iki katlı, ardı dolgulu gabiyon bariyer, b) Kaya düşmesi sonucu yaşanan çarpışma ile hasar görmüş gabiyon bariyer [123]. 62

Şekil 2.27: Beton blok bariyerin çarpışma sonrası durumu, 5 adet beton blok yer değiştirmiş ve 1 adet blok çatlamıştır [123]. 63

Şekil 2.28: MSE bariyer örneği. a) 8m yüksekliğinde yüzeyi gabionlarla kaplı MSE bariyer, b) İlgili MSE bariyere ait kesit ve detaylar, Boston yakınındaki Trans-Kanada Karayolu, British Coulumbia ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 64

Şekil 2.29: Uyarı Çitleri [123]. 65

Şekil 2.30: Asılı tel ağ uygulaması örneği. a) Kaya yarmasının tepesinde sabitlenmiş tel ağ, b) Yarma tepesindeki destek sistemi detayı (Sea to Sky Karayolu, British Coulumbia) [123]. 66

Şekil 2.31: Sabit ağ uygulaması örneği [123]. 67

Şekil 2.32: Rijit temelli yakalama çiti tip kesiti ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.). 69

Şekil 2.33: Yakalama ağı, frenleme mekanizması, saplama, kablo bağlantı sistemi detayları [123] a) halka frenleme mekanizmasına sahip halka ağlar b) sarmal frenleme mekanizması ve kablo bağlantı detayları [123]. 70

Şekil 2.34: Zayıflatıcı asılı ağ uygulaması örneği [123] 71

Şekil 2.35: Tipik bir öndökümlü beton sundurma örneği (Niigata, Japonya) [123]. 72

Şekil 2.36: Konsol sundurma örnekleri a) Kar çığları ve kaya düşmelerini yansıtması içi kullanılan konsol sundurma (Kanada Pasifik Demiryolu), b) "Kaya Yakalacısı" (Japonya) [123]. 73

Şekil 2.37: Eğimli tavana sahip sundurma örneği [123]. 74

Şekil 2.38: Ağ sundurma örneği (İsviçre) [123]. 75

Şekil 3.1: Yapılandırılmış sorun çözme yaklaşımı [128]. 95

Şekil 3.2: Bir P parçacığının herhangi bir t zamanındaki uzaydaki konumu [131] 95

Şekil 3.3: Kartezyen(x-y), Kutupsal (r-θ) ile Normal ve Teğet (n-t) koordinat sistemleri içerisinde tanımlanan hız ve ivme vektörlerine ait bileşenler [131]. 96

Şekil 3.4: Kartezyen koordinat sistemi içerisinde yörünge üzerindeki A parçacığının konumu [131]. 97

Şekil 3.5: Parçacığın eğrisel yörünge üzerinde yaptığı hareketin A, B, C noktalarında yörüngeye dik ve teğet bileşenler yardımıyla gösterimi [131]. 97

Şekil 3.6: A Parçacığına ait hız vektörünün ve konumun dt süresince değişimi [131] 98

Şekil 3.7: dt süresince birim vektördeki değişim [131]. 99

Şekil 3.8: Kutupsal koordinat sisteminde yörünge üzerindeki A parçacığının konumu [131]. 100

Şekil 3.9: Kutupsal koordinat sisteminde birim vektörlerin zamana göre türevleri [131]. 101

Şekil 3.10: A cismi üzerinde B cismi nedeniyle oluşan F kuvveti [128]: 103

Şekil 3.11: Deniz seviyesinde yerçekimi ivmesinin sahip olduğu değerlerin enleme bağlı değişimleri [131]..... 104

Şekil 3.12: Cismin yaya sabitlendiği ve serbest kalabildiği durumlarda yay uzunluğuna bağlı olarak değişen yay kuvvetleri [128]. 106

Şekil 3.13: Zamana bağlı olarak sönümlendirici kuvvetin değişimi 107

Şekil 4.1: Genel hesaplama algoritmasına ait akış şeması 123

Şekil 5.1: Ankara İli Nallıhan İlçesi yerbulduru haritası 125

Şekil 5.2: Çalışma sahasına ait jeoloji haritası (M.T.A. Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış 1/100000 ölçekli Bolu-B27 Jeoloji Haritası Paftası'ndan değiştirilerek alınmıştır, [151]). 126

Şekil 5.3: Çalışma alanında gözlemlenen Hançili Formasyonu ve alüvyonun M.T.A Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Bolu-B27 Jeoloji Haritası Paftasın'da tanımlanan diğer jeolojik birimler ile stratigrafik ilişkilerini özetleyen stratigrafik kolon [151]. 127

Şekil 5.4: Çalışma sahası çevresinde 1900-2015 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından kayıt altına alınmış depremler [153]. 129

Şekil 5.5: Ankara İli Deprem Bölgeleme Haritası [154]. 130

Şekil 5.6: Türkiye Deprem Tehlike Haritası [154]. 130

Şekil 5.7: SenseFly Firması tarafından üretilmiş “eBee Plus” insansız hava aracının ve “S.O.D.A” algılayıcısının genel görünümü [155]. 132

Şekil 5.8: Çalışma sahasında yapılan uçuşlara ait rotalar (Sarı: Uçuş 220, Kırmızı: Uçuş 221) 133

Şekil 5.9: Çalışma sahasına ait sayısal yükseklik modeli 134

Şekil 5.10: Çalışma sahası içerisindeki mühendislik jeolojisi birimleri 135

Şekil 5.11: Hat etütlerinin yapıldığı istasyonların oblik hava fotoğrafı üzerindeki konumları 138

Şekil 5.12: Birim1 ile Birim2’yi oluşturan Hançili Formasyonu içerisindeki ana eklem takımlarının yönelimlerini gösterir stereonet 139

Şekil 5.13: Eklem 1’in ve Tabaka Düzlemleri’nin sahadaki görünümleri,(a) İstasyon-2, (b) İstasyon-4, (c) İstasyon-6(Batı), (d) İstasyon-6 ve 7 arası (Doğu), (e) İstasyon-6, (f) İstasyon-8 140

Şekil 5.14: Eklem 2’nin ve Tabaka Düzlemleri’nin sahadaki görünümleri, (a) İstasyon-4, (b) İstasyon 5 ve 6 arası 140

Şekil 5.15: Ana eklem takımlarının sahadaki tipik görünümleri (İstasyon-6 ve 7 arası)..... 141

Şekil 5.16: Yüksek hızlı kamera görüntülerinin incelenmesi, a) Birim3’e ait görüntü, b) Birim4’e ait görüntü, c) Birim1 ve Birim2’ye ait görüntü. 144

Şekil 5.17: Deformasyon vektörlerinin belirlenmesi 146

Şekil 5.18: Deformasyon vektörlerinin tespiti amacıyla yürütülen deneysel çalışmaların çalışma sahası içerisindeki konumları..... 146

Şekil 5.19: Kumpas yöntemi ile yoğunluk-birim hacim ağırlık tayininde kullanılan örnekler 147

Şekil 5.20: Deformasyon kontrollü doğrudan makaslama cihazıyla yürütülen makaslama deneylerinde kullanılan numuneler 148

Şekil 5.21: Numunelere ait makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirmesi ilişkisi..... 149

Şekil 5.22: Doruk ve artık makaslama için τ-σ grafiğinde yenilme zarfları .. 149

Şekil 5.23: Tilt deneyi aleti..... 150

Şekil 5.24: Tilt deneyinde kullanılan numuneler 151

Şekil 5.25: Çalışma sahasına ait ortomozaik ve düşmüş bloklar..... 153

Şekil 5.26: Düşmüş bloklara ait hacim değerlerinin kümülatif frekansları 154

Şekil 5.27: Geriye dönük analizlerde kullanılan kritik kesitlerin yönelimleri... 159

Şekil 5.28: Sınıf1'e ait yatay yayılma mesafeleri 160

Şekil 5.29: Sınıf2'ye ait yatay yayılma mesafeleri..... 160

Şekil 5.30: Sınıf3'e ait yatay yayılma mesafeleri 161

Şekil 5.31: Sınıf4'e ait yatay yayılma mesafeleri 161

Şekil 5.32: Birim1 ve Birim2'ye ait R_n ve R_t değerleri..... 163

Şekil 5.33: Birim3'e ait R_n ve R_t değerleri 163

Şekil 5.34: Birim4'e ait R_n ve R_t değerleri 164

Şekil 5.35: Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılan blok başlangıç konumu (F noktası) hesaplamaları..... 165

Şekil 5.36: Tüm mühendislik jeolojisi birimlerine ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı 166

Şekil 5.37: Birim1 ve Birim2'ye ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı 167

Şekil 5.38: Birim3'e ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı 168

Şekil 5.39: Birim4'e ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı 169

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

g, g_0 yerçekimi ivmesine ait vektörün büyüklüğü

F: Kuvvet vektörü

F: Kuvvet vektörünün büyüklüğü

m: kütle

a: İvme vektörü

a: ivme vektörünün büyüklüğü

$\Delta x(t)$ Belirli bir zaman aralığında nesnenin tek boyuttaki konumundaki değişimi ifade eden yer değiştirme

$\Delta \mathbf{r}(t)$ Belirli bir zaman aralığında nesnenin birden fazla boyuttaki konumunda gerçekleşen değişimi ifade eden yer değiştirme vektörü

v(t) Tek boyutlu harekete ait ortalama hız

v(t) Birden fazla boyuttaki harekete ait ortalama hız vektörü

$\dot{x}$ Tek boyutlu harekete ait anlık hız

$\dot{\boldsymbol{r}}$ Birden fazla boyuttaki harekete ait anlık hız vektörü

a(t) Tek boyutlu harekete ait ortalama ivme

a(t) Birden fazla boyuttaki harekete ait ortalama ivme vektörü

$\dot{v}$ Tek boyutlu harekete ait anlık ivme

$\dot{\boldsymbol{v}}$ Birden fazla boyuttaki harekete ait anlık ivme vektörü

γ Evrensel yerçekimi sabiti

F_D Sürüklenme kuvvetinin büyüklüğü

ρ Akışkanın yoğunluğu

S Katı cismin hareket yönüne dik olan düzlem içerisinde bulunan cisim kesit alanı

C_D Sürüklenme katsayısı

Re Reynolds sayısı

η Akışkanın viskozitesi

d Karakteristik uzunluk ölçeği

ρ Akışkanın yoğunluğu

k Yay sabiti

k_x Yatay yay sabiti

k_y Düşey yay sabiti

c Sönümleme katsayısı

c_x Yatay sönümleme katsayısı

c_y Düşey sönümleme katsayısı

μ_s Statik sürtünme katsayısı

μ_d Dinamik sürtünme katsayısı

N Temas yüzeyine dik yönde cisim üzerine etkiyen normal kuvvet

r_1, r_2 Denklem kökleri

$d(t)$ Bloğa ait, analitik yöntem kullanılarak hesaplanan anlık konum

$\dot{d}(t)$ Bloğa ait, analitik yöntem kullanılarak hesaplanan anlık hız

$\ddot{d}(t)$ Bloğa ait anlık ivme

R_v Kinematik geri sıçrama katsayısı

R_n Normal kinematik geri sıçrama katsayısı

R_t Teğet kinematik geri sıçrama katsayısı

R_{Kin} Kinetik geri sıçrama katsayısı

R_E Enerji geri sıçrama katsayısı

τ Süreksizlik yüzeyine ait doruk makaslama dayanımı

σ_n Süreksizlik yüzeyine etkiyen efektif normal gerilme

JRC Süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı

JCS Süreksizlik yüzeyinin dayanımı

$\emptyset_b$ Süreksizlik yüzeyine ait temel sürtünme açısı

$\emptyset_r$ Süreksizlik yüzeyine ait artık sürtünme açısı

$\emptyset_i$ Süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısı

Kısaltmalar

ISRM:	International Society of Rock Mechanics
TennRMS:	Tennessee Rocfall Management System
RHRON:	Ontario Kaya Düşmesi Tehlike Değerlendirme Sistemi
RHRS:	Kaya Düşmesi Derecelendirme Sistemi
ROFRAQ:	Taşocaklık için Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi
RO.M.A:	Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi
RSRP:	Kaya Şevi Derecelendirme Sistemi

1. GİRİŞ

Bu bölüm içerisinde tamamlanmış doktora tezi çalışmasının amacı, konusu ve kapsamı, tez konusu ile ilgili yürütülmüş olan literatürde kayıtlı çalışmalar ve yürütülen çalışmada kullanılan yöntemler hakkında bilgiler verilmektedir.

Tamamlanmış olan doktora tez çalışmasının amacı tekil hareketli blokların incelenmesinde kullanılan, geri sıçrama katsayısının girdi değişkeni olduğu, 2 boyutlu parçacık kinematiği ile kinetiği esaslarının kabul edildiği literatürde tanımlı hareket modelleri ile yay ve sönümleme katsayılarının girdi değişkeni olduğu, parçacık kinematiği ile kinetiği esaslarının kabul edildiği basit malzeme modellerinin hareket modelleri içerisinde kullanıldığı durumlar arasındaki benzerliklerin ve/veya farkların belirli bir çalışma alanını kapsayan uygulama örneği yardımıyla nitel ve nicel olarak belirlenmesidir.

Tekil blokların hareket ettiği kaya düşmesi durumlarında blokların yörüngelerinin belirlenmesinde kullanılan literatürde tanımlı hareket modelleri, ilgili hareket modelleri tarafından blok yörüngelerinin, hızlarının, enerjilerinin ve sıçrama yüksekliklerinin belirlenmesi için yapılan hesaplamaları doğrudan etkileyen girdi değişkenleri (normal ve teğet geri sıçrama katsayıları), mekanik bilimi tarafından kaya düşmesi sorununun tanımlanması ve çalışmanın amacı içerisinde tanımlanan sınırlamalar kapsamında çözümlenmesi, tez çalışması içerisinde tanımlanan ve kullanılan basit malzeme modeline ait girdi değişkenleri (yay ve sönümleme katsayısı) tamamlanmış tez çalışmasının konularını oluşturmaktadır.

Yukarıda sunulan bilgiler ışığında yapılacak olan bu çalışmada, sadece tekil blokların hareketlerin birbirinden bağımsız olarak incelendiği yer yüzeyinde başlayıp sonlanan, ağaçlandırılmamış bir bölgede gerçekleşen kaya düşmesi durumları incelenecektir.

Bilindiği gibi kaya düşmeleri, mühendislik amacıyla imal edilen yer altındaki açıklıklarda ve yer üstündeki ormanlık bölgelerde bir bloğun tekil hareketi veya birden fazla bloğun birlikte hareketi şeklinde de yaşanmaktadır. Bu ortamlardaki kaya düşmelerinin incelenmesi için kullanılmakta olan çeşitli yöntemler literatürde tanımlanmasına rağmen kullanılan bu yöntemlerin incelenmesi tamamlanan çalışmanın kapsamı dışındadır.

Sunulan amaç doğrultusunda öncelikle literatür taraması yapılarak kaya düşmesinin tanımı, türleri, yaşanabileceği ortamlar belirlenmiştir. Ardından kaya düşmesinin incelenmesinde kullanılan mühendislik jeolojisi bilimi tarafından tanımlanmış yöntemler tespit edilerek ilgili yöntemlere ait kabuller özetlenmiştir. Geri dönüş katsayısına etkiyen etmenler tamamlanan literatür taraması sonucu Bölüm 3 içerisinde sunulmaktadır. Mekanik bilimi tarafından kaya düşmesi sorunun tanımlanmasında kullanılan yöntemler, yaklaşım ve malzeme modeli değişkenleri hakkında genel bilgiler sunulmuştur. Kaya düşmesi olayının gözlemlenebildiği bir çalışma alanı uygulama örneği olarak seçilerek çalışma alanı içersindeki litolojik ve mühendislik jeolojisi birimleri ISRM tarafından önerilen yöntemler [22, 23] (hat etütleri, laboratuvar deneyleri) kullanılarak tanımlanmıştır. Basit malzeme modelleri kullanarak hareket hesaplamalarını 2 boyutta parçacık kinematiği ve kinetiği esaslarına uygun şekilde yapabilen bir yazılım hazırlanarak kaya düşmelerinin incelenmesinde kullanıllan, hazırlanan yazılım ile aynı özelliklere sahip ticari yazılımlar tarafından benzer koşullar altında tamamlanmış hesaplamalara ait uygulama örneği sonuçları karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Bölüm 2.3. içerisinde sunulan Çizelge 2.27 görüldüğü gibi literatürde tanımlı birçok model ve kullanılan birçok yazılım bulunmaktadır. Tez çalışması içerisinde Rocscience firması tarafından hazırlanmış RocFall Version 4.039 yazılımı kullanılmıştır.

2. KAYA DÜŞMESİ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1. Tanımlar

Kaya düşmeleri bir veya birden fazla bloğun yer yüzeyinde başlayıp yer yüzeyinde [1, 2] veya deniz altında [3] sonlanan, ağaçlandırılmış [4, 5, 6, 7, 8, 9] veya bitki örtüsü ile kaplı olmayan [10; 11] yüzeyler üzerindeki hareketleri şeklinde gerçekleşmektedir. Blok veya blokların zamana bağlı olarak konumlarının, hızlarının, ivmelerinin, enerjilerinin bilinmesi oluşturacakları tehlikenin tanımlanması ve alınacak önlemlerin belirlenip boyutlandırılması için gereklidir [12, 13]. Blok veya blokların hareketlerinin incelenmesi için çeşitli kabuller yaparak, benzer-farklı eşitlikler kullanarak yukarıda belirtilen hareket değişkenlerinin birkaçını veya tümünü iki veya üç boyutta hesaplayabilen modeller çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [12, 13]. Blokların hareketleri sırasında takip ettiği yörüngeler serbest düşme, yuvarlanma, kayma ve sıçrama olarak tanımlanan dört farklı hareketin kombinasyonlarından oluşmaktadır [12]. Çalışmanın konusu olan geri sıçrama katsayısı/katsayıları, kaya düşmesi sırasında blok tarafından yapılan hareketlerin tahmini en zor ve en az anlaşılmış olanı sıçramanın basitleştirilerek modellenmesini sağlamaktadır [12]. Hareketli blok yörüngesinin ilgili modeller ile tahmini sayesinde bloğun oluşturacağı tehlikenin tanımlanması ve alınacak önlemlerin boyutlandırılması mümkün olmaktadır.

Literatürde farklı ortamlara ait geri sıçrama katsayıları farklı çalışmalar sonucu tanımlanmış olmasına rağmen farklı çalışmalarda ilgili sonuçların sınırlı sayıdaki ortam için tespit edilmiş olması [14, 15, 16, 17], benzer ortamlar için aldıkları değerlerin büyük bir aralıkta değişmesi [17] nedeniyle pratikte ilgili değerlerin kullanımı oldukça güç olmaktadır. Yapılan bibliyografya araştırması sonucu konu hakkında yapılmış ayrıntılı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca yukarıdaki ilgili çalışmalar incelendiğinde geri sıçrama katsayılarının 1'den küçük değerler aldığı görülmektedir fakat literatürde bulunan deneysel çalışmalar sonucu geri sıçrama katsayılarının 1'den büyük değerler de alabildiği görülmektedir [18; 19, 20]. Pratikte yapılan uygulamalarda da 1'den küçük geri sıçrama katsayıları kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Literatürde oluşturulan birçok farklı modelin farklı ortamlardaki performanslarının incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [12; 21] fakat mevcut modellerin verimlerinin geri sıçrama

katsayılarının 1’den büyük olduğu durumlarda incelendiği bir çalışmaya Spadari vd. tarafından 2013 yılında yapılmış olan çalışma [20] hariç tamamlanan literatür taraması sonucu ulaşılamamıştır. Literatürde bu konuda bir eksik bulunduğu açıktır. Bahsi geçen durumun varlığı deneysel çalışmalar sonucu tespit edilmiş olması nedeniyle bilinmekte fakat hangi koşullarda ilgili durumun gerçekleştiği net olarak tanımlanamamaktadır.

2.1.1. Kaya Düşmesi

Kaya düşmelerinin literatürde çeşitli araştırmacılar tarafından verilmiş farklı tanımları bulunmaktadır.

Lambert ve Nicot [24] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmeleri bir veya birden fazla kaya parçasının (bloklar) kayma, yuvarlanma veya düşme sonucu bağlı bulunduğu ortamdan ayrılarak düşey - düşey altı eğimli bir kayalık boyunca düşmeye başlaması, harekete şev aşağı yönde balistik bir yörünge boyunca sıçrayarak ve uçarak veya yuvarlanarak ve kayarak devam etmesi olarak tanımlanmaktadır.

Zimmer [25] çalışmasında kaya düşmelerini ayrık blokların hareketlerine gerilme nedeniyle oluşan bir patlamayla, eğimli bir yüzey üzerinde kayarak veya devrilerek aniden başladıkları; yamaç yüzeyine yapılan bölgedeki bitki örtüsünün üyeleri olan ağaçları devirebilecek büyüklüğe sahip çoğul çarpmalarla devam ettikleri ve blokların hareketlerinin durması ile sonlanan olaylar olarak tanımlamaktadır.

Nejati [26] çalışmasında kaya düşmelerini kaya şevleri içerisindeki tabakalanma düzlemleri veya süreksizlik yüzeylerinden aniden ayrılan blokların yaptığı serbest düşme veya şev aşağı yönde sıçrama (kayma/yuvarlanma) hareketlerinin tümü olarak tanımlamaktadır.

Pierson, Gullixson ve Chassie [27] kaya düşmesini kayanın serbest düşme, sıçrama, yuvarlanma veya kayma şeklinde yaptığı şev aşağı hareketini sürdürebileceği eğime sahip bir şev üzerindeki hareket olarak tanımlamaktadır.

Hungr ve Evans [28] kaya düşmesini kayaç parçalarının ana kayadan ayrılmalarını ve düşerek, yuvarlanarak, kayarak ve sıçrayarak şev topuğunda birikimlerini kapsayan şev süreci olarak tanımlamaktadır.

Youssef vd. [11] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmeleri desteksiz kaya kütlesinin yamaç yüzeyinden ayrılarak yerçekimi ivmesi etkisi altında serbest düşme hareketi yaptığı kütle hareketleri olarak tanımlanmaktadır.

Abellân vd. [29] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmesi yamaçtaki veya oldukça dik bir şevdeki anakayadan yeni ayrılmış bir kayaç parçasının yaptığı serbest düşme ve çökelme hareketi olarak tanımlanmaktadır.

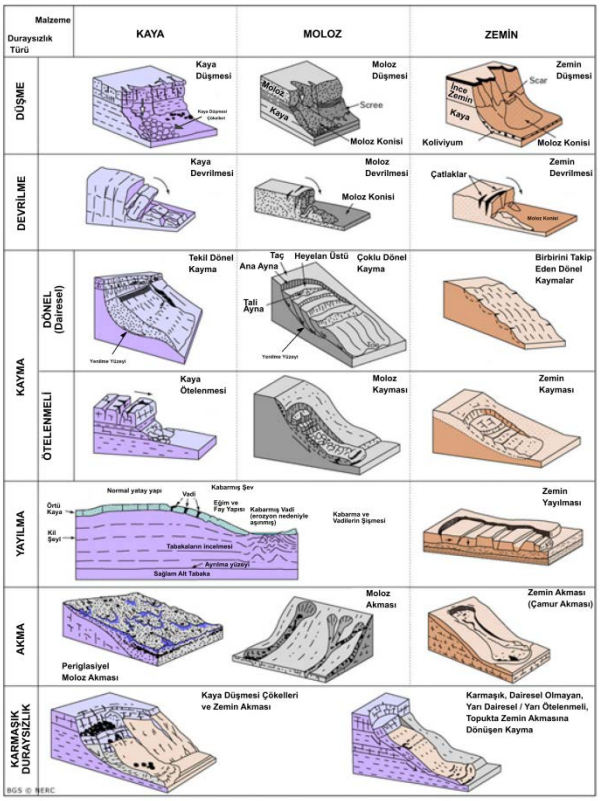
Ansari vd. [30] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmesi düşey-düşeyaltı eğime sahip bir yamaçtan devrilme, kayma, düşme nedeniyle hareketine başlayan bir ana kaya parçasının şev aşağı yönde sıçrayarak ve düşerek, balistik yörüngeler izleyerek veya yuvarlanarak yamaç molozu üzerinde hareketine devam ettiği olay olarak tanımlanmaktadır.

Singh vd. [31] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmesi yamaç yüzeyinden ayrılan kaya kütlesinin yerçekimi ivmesi etkisi altında serbest düşme hareketine başladığı küçük kaymalar olarak tanımlanmaktadır.

Keskin [32] tarafından yürütülmüş çalışmada kaya düşmesi eğimi yüksek yamaçlarda kaya bloklarının gevşeyerek yerçekimi ivmesinin etkisiyle yaptıkları serbest düşme, şev aşağı yönde yuvarlanma ve/veya kayma hareketleri olarak tanımlanmaktadır.

Day [33] kaya düşmesini bir kemerden, mağaradan, uçurumdan veya yüksek eğime sahip şevden ayrılarak serbest düşme hareketi yapan kayaç veya kayaç parçaları olarak tanımlamaktadır.

Kliche [34] kaya düşmesini yeni ayrılmış ana kaya parçası veya bloğun yaptığı serbest düşme hareketi olarak tanımlamaktadır.



Şekil 2.1: Cruden ve Varnes ‘a (1996) ait heyelan sınıflaması ([35]’ten değiştirilerek alınmıştır.).

Frattini vd. [36] tarafından kaya düşmelerinin oluşumuna etkiyen etmenlerin kayaç dayanımı, süreksizliklerin geometrik, mekanik ve hidrolik durumları, ayrışma ve yerel statik veya dinamik gerilmeler olduğu belirtilmektedir.

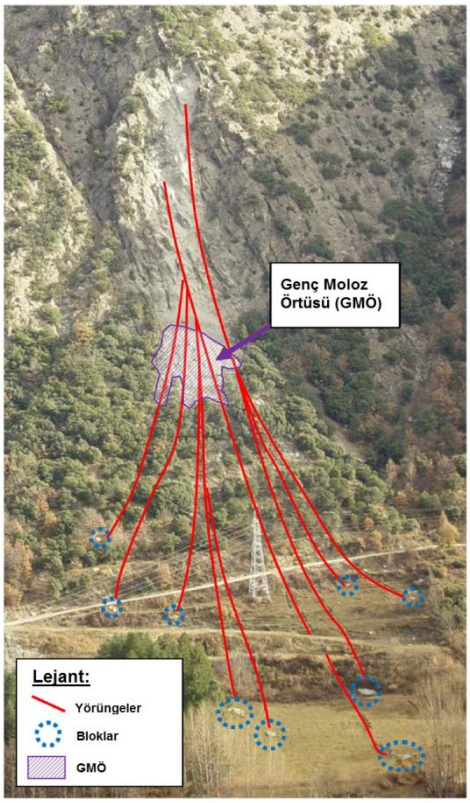
Parçacıklı kaya düşmeleri

Frattini vd. [36] tarafından blok hacimleri 10^5 m^3’ten küçük, hareketli bloklar arası dinamik etkileşim gözardı edilebilir boyutta olduğu kaya düşmesi olayları parçacıklı kaya düşmeleri olarak tanımlanmaktadır. Yüksek dereceli belirsizliklerden paraçacıklı kaya düşmelerinin davranışlarının etkilendiği belirtilmektedir. Bloğun çarpma ve yuvarlanma sırasında kaybettiği enerji bloğun jeomekanik özellikleri, şekli, boyutu, şevin yerel pürüzlülüğü ile geometrisinin karmaşık bir fonksiyonu olduğu ve çoğunlukla bu değişkenlerin ölçümlerinin oldukça güç olduğu ve uzayda dikkate değer bir şekilde değişkenlik gösterdikleri vurgulanmaktadır.

Agliardi ve Crosta [37] tarafından parçacıklı kaya düşmeleri düşen parçacıklar arasında etkileşim olmayan veya gözardı edilebilecek boyutta etkileşim bulunan kaya düşmeleri olarak tanımlanmaktadır.

Lambert vd. [38] tarafından parçacıklı kaya düşmelerinin insan hayatı ve altyapılar için düşük şiddetlerine (kaya kütlesinin hacmi 3 m^3'e kadar varan) rağmen tehdit oluşturduğu belirtilmektedir

Ruiz-Carulla vd. [39] parçacıklı kaya düşmelerini birbirinden bağımsız parçacıkların yer yüzeyi ile süreksiz çarpışmalar yaparak etkileştiği rijit cisimler olarak kabul edildiği olaylar olarak tanımlamaktadır. Kaya çığları parçacıklı kaya düşmelerinden hareketli parçacıkların yaptığı akış hareketi ile ayrılmaktadır. Parçacıklı kaya düşmelerinde süreksizlikleri içerir kaya kütlesi yeryüzü ile yaptığı ilk çarpışmanın ardından kırılır ve/veya tamamen parçalanır. Şev aşağı yönde çarpma sonucu oluşan yeni parçacıklar bağımsız olarak hareketlerine devam ederler. Parçacıklı kaya düşmesi sonucu yeryüzü üzerinde dağılmış farklı boyutlu kaya parçalarını içeren çökeller oluşmaktadır. Orta-büyük(binlerce metreküpten büyük) kaya düşmelerinde neredeyse sürekli bir genç yamaç molozu oluşabilmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi genç yamaç molozlarını oluşturan malzemenin tane boyu kaynak bölgesine daha uzakta bulunan blokların boyutundan küçüktür.



Şekil 2.2: Parçacıklı kaya düşmesi sonucu La Guingueta, Merkez Pireneler, İspanya'da oluşan çökeller ([39]'dan değiştirilerek alınmıştır.).

Abellân vd. [40] tarafından yapılan çalışmada küçük boyutlu(<10m^3) parçacıklı kaya düşmelerinin gerçekleşmesinden önce herhangi bir belirtecin mevcut yöntemlerle algılanmasının çok nadir gerçekleştiği ve konu ile ilgili konumsal ve zamansal tahminleri içeren çalışmaların nadiren yer aldığı belirtilmektedir.

Bourrier vd. [41] parçacıklı kaya düşmelerini hareketli blokların sadece üzerinde hareket ettikleri şev yüzeyi ile etkileştiği kaya düşmeleri olarak tanımlamakta ve gerçek hayatta ise parçacıklar arası etkileşimin gözardı edilmesinin her zaman mümkün olmadığı, parçacıklık kaya düşmesi hareketinden taneli akış davranışa doğru tedrici bir geçiş olduğu belirtilmektedir. Akış hareketinin hakim olduğu davranışa sahip kaya düşmelerinin "kaya kütlesi düşmesi" olarak adlandırılabildiği, kaya çığlarının ise akış özelliği gösteren fakat uç yayılma mesafelerine ulaşabilen büyük ölçekli kaya düşmeleri olduğu bildirilmektedir. Ayrıca araştırmacı pratik kaya düşmesi terminolojisini Çizelge 2.1'de sunulan şekilde özetleyerek terminoloji içerisindeki belirsiz tanımlamalar için Çizelge 2.2'de sunulan önerileri sunmaktadır.

Çizelge 2.1**:** İsviçre terimlerine dayaranak yapılmış kullanılan pratik kaya düşmesi terimleri yaklaşımı ([41]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Almanca(İsviçre)	İngilizce	Fransızca	Norveççe	İtalyanca	İlgili Tane Boyu veya Hacim
Steinschlag	Rockfall	Chute de pierres	Steinsprang	Caduta sassi	Ortalama tane boyu 50cm'ye kadar
Blockschlag	Rockfall	Chute de blocs	Steinsprang	Caduta massi	Tane boyu 50cm'den büyük, fakat 100cm'den küçük
Felssturz	Rockfall, Rock Slide	Éboulement	Steinskred	Crollo in roccia	Blok hacmi 100m^3'ten büyük, $10^6$$m^3$'e kadar
Bergsturz, Sturzstrom	Rock Avalanche	Écroulement	Fjellskred	Valanga di roccia	Blok hacmi $10^6$$m^3$'ten büyük

Çizelge 2.2: Kaya düşmesi terminolojisindeki belirsiz tanımlamalar için öneri ([41]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Kaya Düşmesi Terimi	1.Ölçüt: Taşınma Mekanizması	2.Ölçüt: Çökelme Mekanizması[a]
Parçacık Düşmesi	Parçacıklı kaya düşmesi (ayrık parçacıklar birbirleri ile üzerinde hareket ettikleri yüzey ile etkileştikleri kadar etkileşmezler)	Tane boyu 50cm'e kadar ve toplam yenilen kütle 100m^3'ten küçük
Blok Düşmesi/İri Kaya Düşmesi (ERM, 1998)		Tane boyu 50cm'den büyük ve toplam hacim 100m^3'ten küçük veya sınırlı sayıda ayrık parçacığa sahip (en fazla 20)
Kaya Kütlesi Düşmesi (Nemcôk et al., 1972, Selby, 1993)	Kuru granüler akış (hareket akma gibi gerçekleşir, parçacıklar birbirleri ile etkileşir ve şekil değişimine uğrayan bir kütle gibi hareket ederler	Hacim 100m^3'ten büyük ve lobat çökel morfolojisine sahip
Kaya Çığı	Özel hareket şekline sahip granüler akış (uç yayılma mesafelerine sahiptirler)	Hacim 10000m^3'ten büyük (birçok olayda 100000'lerce m^3'ten büyük)

[a]Sayısal çökel özellikleri kesin değildirler fakat deneyimlere dayanılarak kestirilmişlerdir

Parçacıklı kaya düşmelerinin tekil rijit cisimlerin üzerinde yerçekimi etkisi altında hareket ettikleri yüzey ile aralıklarla etkileştiği kabulü yapılarak, kaya kütlesi düşmelerinin ise akış yatağı ile genel olarak sürekli temas halinde bulunan taneciklerin yaptığı akış hareketi olarak incelenmesi gerektiği belirtilmektedir [41].

Her iki davranışın birbiri ile geçişli olarak birlikte bulunduğu durumları incelemek için mevcut bir yöntem bulunmadığı belirtilmektedir.

Clague ve Stead [42] çalışmalarında parçacıklı kaya düşmesi olaylarında hareketli malzeme hacminin 10^5 m^3'ten küçük olduğunu ve düşmekte olan bloklar arası etkileşimin gözardı edilebilecek düzeyde olduğunu belirtmektedir.

Lambert ve Nicot [24] çalışmalarında parçacıklı kaya düşmelerini ayrık kayaç parçalarının kayaç yüzeyinden ayrılmalarının ardından birbirlerinden bağımsız olarak hareket ettikleri kaya düşmesi tipi olarak tanımlamaktadır.

2.1.2. Kaya Düşmesi Tehlikesi

Pine [43] çalışmasında tehlikeyi bir topluluğa, bir bölgeye veya bir ülkeye ait sosyal, ekonomik ve doğal kazanımlara zarar verme potansiyeline olaylar olarak tanımlanmaktadır ve doğal tehlikeler (sel, kasırga, deprem, vb.), insan kaynaklı tehlikeler (biyokimyasal tehlikeler, kitle imha silahları, terörizm), teknolojik tehlikeler (tehlikeli madde yayılımları, nükleer kazalar, güç kesintileri vb.) ve kaynağı tanımlanan diğer tehlikelerin bileşkesi olan bileşke tehlikeler (sel nedeniyle yıkılan barajlar, aşırı yağış nedeniyle meydana gelen heyelanlar, vb.) olmak üzere dört grupta incelenmektedir.

Coppola [44] çalışmasında tehlikeyi ölümlere, yaralanmalara, mal zararına, altyapı hasarına, tarımsal kayba, çevresel hasara, ticari faaliyetlerin durmasına veya diğer zararlar ile kayıplara neden olan olaylar veya fiziksel koşullar olarak tanımlamakta ve tehlikeleri kaynaklarına göre "doğal tehlikeler", "teknolojik tehlikeler' ve "kasıtlı tehlikeler" olarak üç gruba ayırmaktadır.

Rose [45] çalışmasında tehlikenin jeoteknik ve kütle hareketleri literatürü içerisinde aşağıda sunulan şekillerde tanımlandığını belirtmekte ve orijinal tanımları Çizelge 2.3'te özetlemektedir:

- İstenmeyen sonuçlar doğurma potansiyeline sahip durum
- Hasara neden olan olayın meydana gelme olasılığı
- Olumsuz olayların büyüklüklerinin ve meydana gelme olasılıklarının tanımı

Sunulan bu tanımların kapsam bağımlı olduklarını vurgulayan Rose [45] Çizelge 2.3'te sunulan ikinci tanımın teknik olmayan genel bir tanım olduğunu, belirsizliği çağrıştıran bu tanımın üstü kapalı olarak olasılığı kapsadığını belirtmektedir.

Üçüncü tanımın bir olasılık tanımı olduğunu fakat tehlikenin doğası hakkında bilgi vermediğini ve ilk iki tanımın kaya düşmesi ile heyelan literatürü içerisinde kullanıldığını ve yanlış anlaşılmalara neden olduklarını belirtmektedir. Bu nedenle kaya düşmesi olayları için kullanılacak en uygun tanımın Çizelge 2.3'te sunulan birinci tanım olduğunu savunmaktadır.

Çizelge 2.3: Literatüdeki kütle hareketi tehlikesi tanımları ([45]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Genel Tehlike Tanımı	Birim	Kaynak	Not
(1) Olumsuz olayların olasılıklarının ve büyüklüklerinin tanımı	[Tanımlayıcı]	Fell, 1994 [46] Finlay & Fell, 1997 [47] IUGS, 1997 [48] Morgenstern, 1995 [49]	1 2 3
(2) İstenmeyen sonuç potansiyeli ile durum	[Tanımlayıcı]	Fell & Hartford, 1997 [50] Alexander, 2002 & 2004 [51] NRC, 2004 [52] Crozier & Glade, 2004 [53]	4 5 6 7, 11
(3) Zarar veren olayın meydana gelme olasılığı	Yok	Whitmann, 2000 [54] Chang-Jo & Fabbri, 2004 [55] Crozier & Glade, 2004 [53] Sorriso-Valvo, 2005 [56]	8 9 10, 11 12
Belirsiz olarak değerlendirilmiştir: dikkate alınmamaktadır	Uygulanamaz	Vick, 2002 [57] Baecher & Christian, 2003 [58]	13 14

Belirli Açıklamalar ve Tehlike Tanımları

1. Geniş anlamda {beklenen[büyüklük | oluşum] x olasılık[oluşum]}.
2. Tehlike {heyelanların hacimlerinin ve meydana gelme olasılıklarının tanımı} olarak tanımlanmaktadır
3. Tehlike boyut ve olasılığın tanımlarını içermelidir. Tehlike farklı olarak {olasılık[belirli bir zaman aralığında belirli bir heyelanın meydana gelmesi]} olarak tanımlanabilir. Tehlike tanımlaması ve analizi frekans-büyüklük dağılımını oluşturabilecek şekilde olasılık[heyelanların sayıları ve özellikleri]'nin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır.
4. Tehlike boyut ve olasılığın tanımlarını içermelidir.
5. Tehlike {meydana gelebilecek tehlikeli olay, durum veya oluşumun tanımı} olarak tanımlanmaktadır.
6. Tehlike {zarar veren heyelanın oluşum potansiyeli} olarak tanımlanmaktadır.
7. Tehlike {zarar verme potansiyeline sahip durum veya süreç} olarak tanımlanmaktadır.
8. Tehlike "bazı olayların meydana gelebilme olasılığı" olarak tanımlanmaktadır.
9. Tehlike {verilen zaman aralığı ve alan içerisindeki olasılık[zarar veren olay]} olarak tanımlanmaktadır.
10. Tehlike {olayın büyüklüğü ile değişen olasılık[zarar veren olay]} olarak tanımlanmaktadır.
11. Araştırmacılar doğal tehlike araştımalarında kullanılan tehlike tanımlarından (1) {tehlike potansiyeline sahip olay veya durum} ile (2) {tehlikeli olayın meydana gelme olasılığı} tanımlarını birlikte kullanmaktadır.
12. Tehlike {belirli bir boyuta sahip belirli bir olayın sabit bir zaman aralığı içerisinde oluşma olasılığı} olarak tanımlanmaktadır.
13. Tehlike'nin belirsiz ve yetersiz tanımlandığını kabul etmesi nedeniyle ilgili terimin kullanımından kaçınmaktadır.
14. Araştırmacılar tehlike ile ilgili kaynak göstermemekt ve terimin tanımını vermemektedir.

Li vd. [59] tarafından kaya düşmesi tehlikesi insan hareketliliğinin olduğu veya inşaat faaliyetlerinin sürdürüldüğü bir alan içerisine alanda bulunan insanlara veya yapılara hasar verecek şekilde bir kaya bloğunun düşmesi olarak tanımlanmaktadır.

Day [33] .çalışmasında tehlikeyi zarar verme ve yaralama potansiyeline sahip cisim veya durum olarak tanımlamaktadır.

2.1.3. Kaya Düşmesi Riski

Pine [43] çalışmasında riski bir tehlikenin meydana gelme olasılığı ile aynı tehlikenin meydana geldiği durumda karşılaşılacak olumsuz sonuçların çarpımı olarak tanımlamakta ve Şekil 2.3'te sunulan modeli önermektedir.

$$\boldsymbol{Risk = (Olabilirlik\ veya\ Olasılık) \times Sonuç}$$

Şekil 2.3: Riski tanımlayan model ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Coppola [44] çalışmasında riskin nicel tanımını bir olayın meydana gelme olasılığı ile aynı olayın sonucu ile çarpımı olarak vermektedir.

Rose [45] çalışmasında riskin jeoteknik ve kütle hareketleri literatürü içerisinde aşağıda sunulan şekillerde tanımlandığını belirtmekte ve orijinal tanımları Çizelge 2.4'te özetlemektedir:

- Tehlikenin ve kaybın meydana gelme olasılığı
- Tehlike, kayıp ve duyarlılık etkileşimi
- Olayın sonucunun meydana gelme olasılığı ile sonucun çarpımı

Çizelge 2.4'te sunulan ikinci tanımda risk tehlike, duyarlılık ve kayba yatkınlık olarak tanımlanan maruz kalmanın birbirleriyle çarpımlarını içeren bir fonksiyon olarak sunulmakta ve sonucun değer veya kayıp yüzdesi cinsinden verildiği belirtilmektedir. Üçüncü tanımda ise risk para birimi veya can sayısı cinsleriyle tanımlanmaktadır. TennRMS(Tenessee Kaya Düşmesi Yönetim Sistemi) içerisinde risk Şekil 2.3'te sunulan modele uygun olarak birimi meydana gelen sonuç sayısı/zaman cinsinden hesaplanmaktadır. Olabilirliğin birimi yaşanan tehlikeli olay sayısı/zaman ve sonucun birimi ise karşılan tehlikeli olay sonucu/ yaşanan tehlikeli olay sayısıdır.

Çizelge 2.4: Kütle hareketi riski tanımları ([45]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Genel Risk Tanımları*	Birimler	Kaynaklar	Notlar
Olasılık[tehlike & kayıp]	Yok	Whitmann, 2000 NRC, 2004	1 2, 6
(Tehlike, hassaslık, kayıp) Etkileşimi	Değer veya % kayıp	Alexander, 2002	3
(*a) Olasılık x sonuç* veya, daha belirgin bir biçimde: *(b) Olasılık[sonuç] x sonuç* Alternatif veya eşit olarak (bkz. Notlar) *(c) Kayıp miktarı*	Dolar veya Can (tipik olarak)	Fell, 1994 Morgenstern, 1995 Finlay & Fell, 1997 IUGS, 1997 Fell & Hartford, 1997 Vick, 2002 Baecher & Christian, 2003 NRC, 2004 Chang-Jo & Fabbri, 2004 Crozier & Glade, 2004 Sorriso-Valvo, 2005 Alexander, 2004	4, 6 5 4, 6 7 7, 5 8 7, 5 9, 5 10 11, 5 12 13

*Tanımlamalar açık bir zaman dilimini, mekansal bir bileşen veya dozaj oranını içerebilir; diğer durumlarda zaman ve mekan bileşenleri ima edilmektedir. Bazı tanımlamalar kırılganlık terimini içerebilir; tüm durumlarda son sonuc yukarıda sunulan a, b veya c'den biri olmaktadır (bkz. Notlar).

** Beklenen kayıp miktarı kayıp beklentisi veya kayıp için beklenen değer ile aynıdır.

1. Risk {olasılık[tehlikenin oluşumu] x olasılık[kayıp | tehlikenin oluşumu]} olarak tanımlanmaktadır. Olasılığın basit temellerine dayanılarak ilgili tanım olasılık[tehlike ve kayıp]'a eşit kabul edilmektedir.
2. Risk {olasılık[tehlike ve kayıp]} olarak ve buna bağlı olarak {beklenen kayıp miktarı**} olarak tanımlanmaktadır. Bunlar farklı tanımlamalardır; Önceki boyutsuzdur, sonraki ise boyut olarak dolar veya can'a sahiptir.
3. Risk {tehlike ve kırılganlığın etkileşim potansiyeli} olarak tanımlanmaktadır ve genel olarak kayıp yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Ayrıca risk {tehlike x kırılganlık x maruz kalma miktarı} olarak görülmektedir, kırılganlık {kayıplara hassasiyet} olarak tanımlanmaktadır.
4. Kırılganlık {kayıp miktarı} olarak tanımlanmaktadır, sonuç ile araştırma içerisinde eş
5. Risk {olasılık[sonuç] x sonuç} veya {beklenti[sonuç]**} olarak tanımlanmaktadır. Önceki tanım olasılık x sonuç olarak ifade edilmektedir; tanım içerisinde sunulan olasılık sonuca ait olasılıktır.
6. Belirli ve toplam riski birbirinden ayırmaktadır.
7. Risk {olasılık x sonuç} olarak tanımlanmaktadır.
8. Risk {(başarısızlık olasılığı) x (başarısızlığın sonuçları)} olarak tanımlanmaktadır.
9. Risk {tüm tehlikeler için (kaymanın olabilirliği) x (konumsal etkinin olasılığı) x (zamansal olasılık) x (kırılganlık) x (risk altındaki bileşenler)} olarak tanımlanmaktadır.
10. Risk {beklenen kayıp miktarı} olarak tanımlanmaktadır; tehlike ve kırılganlığın bir ürünü olabilir. Kırılganlık {Tehlike oluşumunun 0 ile 1 arasında bir ölçekte tanımlandığı ve tehlike oluşumuna bağlı kayıp miktarı} olarak tanımlanmaktadır.
11. Risk {kaybın olasılığının ve ciddiyetinin bir ölçütü; genellikle belirli bir alan, cisim, etkinlik veya zaman dilimi için tanımlanan} olarak tanımlanmaktadır.
12. Risk {para veya can kaybı cinsinden ifade edilen, tehlike x kırılganlık x riske sahip ürün değeri} olarak tanımlanmaktadır; kırılganlık {verilen olaydan etkilenildiğinde gerçekleşen değer kaybı yüzdesi} olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Kaya Düşmelerinin Sınıflandırılması

Rochet (1987) çalışmasında kaya düşmesi olaylarını hareket eden hacmin büyüklüğüne göre aşağıda sunulan dört ayrı grupta sınıflandırmıştır:

- Tekil blok düşmeleri (hareketli hacim: 10^{-2} -10^{2} m^3)
- Kütle düşmeleri (hareketli hacim: 10^{2} -10^{5} m^3)

- Çok büyük kütle düşmeleri (hareketli hacim: 10^5 -10^7 m^3)
- Kütle yer değiştirmeleri (hareketli hacim: 10^7 m^3'ten büyük)

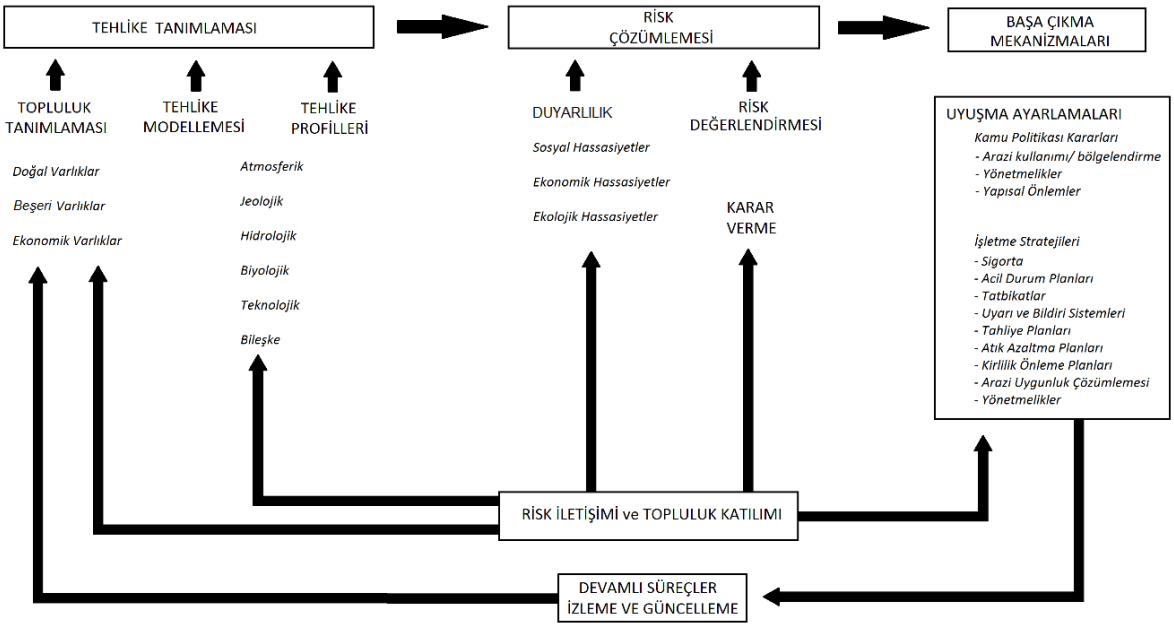
Hutchinson [177] çalışmasında kaya düşmelerini aşağıda sunulan iki ayrı grupta sınıflandırmıştır.

- Birincil Düşmeler: Hareketli kütle ana kütleden taze ayrılmış malzemeden oluşmaktadır. Gerilme çatlaklarının gelişmesiyle oluşan bu malzeme ana kütleden kesme yenilmesi sonucu ayrılmaktadır (kaya ve zemin düşmeleri).
- İkincil Kaya Düşmeleri: Hareketli kütle kayaç yüzeyi üzerinde konumlanmış ana kütleden daha önce ayrılmış malzemeden oluşmaktadır (kaya düşmeleri).

2.3. Kaya Düşmelerinin İncelenmesinde Kullanılan Yöntemler

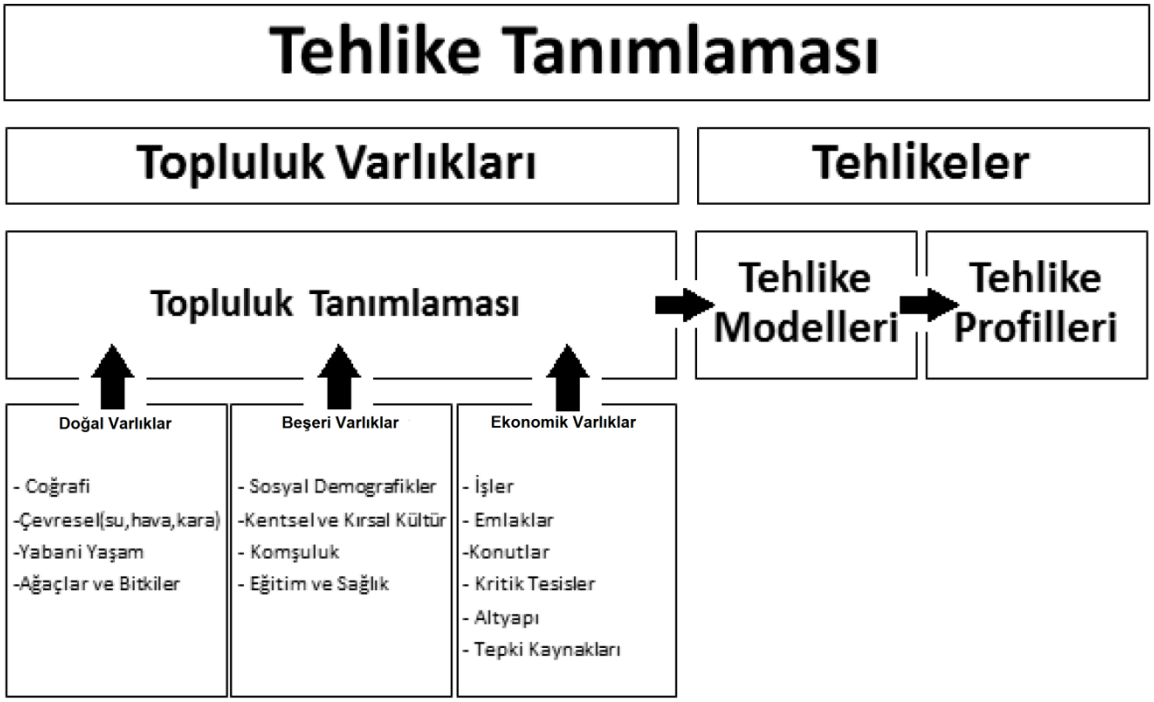
Bölüm içerisinde tehlike ve risk değerlendirme yöntemleri, ilgili yöntemlerin kaya düşmesi olayı ile ilişkisi, konu ile ilgili gerekli tanımlar hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Kaya düşmesi olayı beklendiği bölgeye bağlı olarak ilgili bölgedeki toplum ve/veya çevre için tehlike oluşturması nedeniyle hakkında tehlike ve risk değerlendirilmesinin yapılması gereken bir kütle hareketidir. Tehlikeden etkilenen alana ait; hayatların kurtarılmasını; mülkiyetlerin korunmasını; sosyal, ekolojik, ekonomik ve politik dengenin korunmasını sağlayacak şekilde tepki verme kabiliyetini aşan sıra dışı bir olay olarak nitelenen afetin ilgili bölgede oluşan bir tehlike veya birden çok tehlikenin sonucu ortaya çıkması nedeniyle tehlikelerin değerlendirilmesi önem taşımaktadır [43]. Tehlike ve risk çözümlemeleri karşılaşılacak maddi ve manevi kayıpların toplumsal ve örgütsel seviyede mümkün olduğunca azaltılması, karşılaşılacak afetlere karşı toplumsal ve örgütsel direncin arttırılması için yapılmaktadır. Toplumsal seviyede yapılan tehlike analizi sırasıyla (1) tehlikelerin tanımlanması, (2) duyarlılık değerlendirmelerinin yapılması ve (3) risk değerledirmelerinin yapılması olarak üç adımdan oluşan bir süreçtir (bkz.Şekil 2.4) [43].



Şekil 2.4: Tehlike Değerlendirmesi Sürecine ait adımların birbirleri ile ilişkilerini gösterir şekil ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Fiziksel özellikleri, olabilirlikleri ve sonuçları ile ölçülen tehlikelerin tanımlanması risk yönetimi stratejilerinin ve topluluk karar vericileri tarafından alınan tehlike hafifletici kararların temeli olan tehlike analizi sürecinin ilk adımıdır [43]. Acil durum yönetimi, topluluk planlaması ve sürekliliği ile ilgili alınan kararların temelini oluşturan tehlikelerin tanımlanması topluluğun doğasının ve topluluğa ait sosyokültürel, ekonomik ve çevresel varlıkların anlaşılmasını kapsamakta, böylece tehditin çevresel modelleme yolu ile değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır [43]. Çevresel modelleme yardımı ile topluluğun ve tehlikelerin tanımlanması topluluk içerisinde karşılaşılacak tehlikelerin anlaşılmasını ve mevcut problemler içerisinde toplumdaki duyarlılıkların azaltılması için müdahele edilmesi gerekenlerinin belirlenmesini sağlamaktadır [43]. Tehlike tanımlaması sürecinin adımları ve bu adımların birbirleri ile ilişkileri Şekil 2.5'te gösterilmektedir.

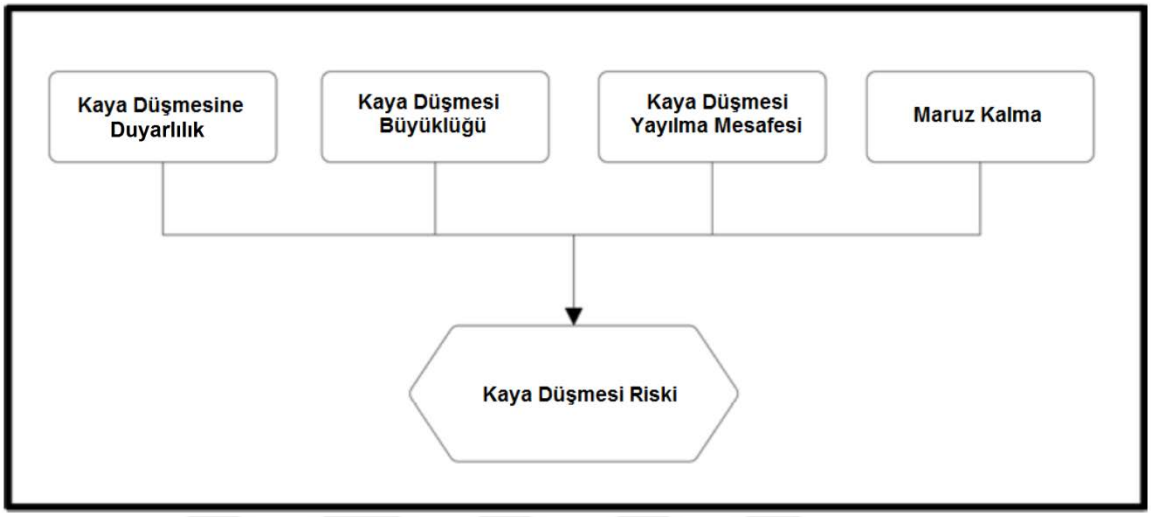


Şekil 2.5: Tehlike Değerlendirmesi Sürecine ait adımların birbirleri ile ilişkilerini gösterir şekil ([43]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Amacı topluluğu veya örgütü etkileyen tehlikelerin tanımlanması olan tehlike tanımlaması süreci topluluk profilinin hazırlanması ile başlamaktadır [43]. Doğal, beşeri, ekonomik ve inşa edilmiş varlıklarlardan oluşan topluluğun tehlike altında olan bileşenlerinin belirlenmesiyle topluluk profilinin oluşturulması mümkün olmaktadır [43]. Topluluk varlıklarının tanımlanması ile topluluğun zayıf ve kuvvetleri yanları belirlenmektedir. Böylece herhangi bir afet durumunda topluluğun vereceği tepkilerin, göstereceği dayanımın, vereceği kayıpların tespit edilmesi mümkün olacaktır. [43]. Topluluk tanımlanmasının topluluk profilleri oluşturularak tamamlanmasının ardından tehlike modelleri kullanılarak ilgili topluluk için yerel tehlike hafifletme planlarında ve tehlikeli olaylarının sınıflandırılmasında kullanılmak üzere tehlike profilleri oluşturularak tehlike tanımlanması tamamlanmaktadır [43]. Topluluğun sahip olduğu her bir risk için bir tehlike profilinin bulunması topluluğun sahip olduğu risklerin açık olarak belirlenmesini sağlamaktadır [43].

Sunulan bilgiler ışığında kaya düşmesi tehlikesinin bir topluluk için tanımlanması genel olarak Şekil 2.6'da sunulan bileşenlerin belirlenmesi ile mümkün olmaktadır. Topluluğun kaya düşmesine karşı sahip olduğu duyarlılığın ve maruz kalma

miktarının belirlenmesi kaya düşmesi olayının büyüklüğü ve yayılma mesafesinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu değişkenlerin tahmini ilgili topluluk için tehlike olarak tanımlanan kaya düşmesi olayının canlandırılmasını sağlayan hareket modelleri (tehlike modelleri) kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 2.6: Kaya düşmesi olayına ait tehlike tanımlamasına ait bileşenler ([60]'tan değiştirilerek alınmıştır).

Model fiziksel bir olgunun basitleştirilmiş bir sunumu olarak tanımlanmakta, tehlike tanımlamaları açısından incelendiğinde ise doğanın ve olası veya süregelen bir afet durumu ile ilgili afet durumunun boyutunu canlandıran, çeşitli girdi parametreleri ve matematiksel eşitlikler kullanarak ilgili çıktı değişkenlerinin tahminine olanak sağlayan, genellikle bilgisayar yazılımları olarak karşımıza çıkan basitleştirilmiş sunumlardır [43]. Tehlike modelleri kullanılarak tehlikelerin tanımlamalarının yapılabilmesi ve topluluğa ait doğal, beşeri ve ekonomik varlıkların sahip olduğu duyarlılıkların belirlenmesi mümkün olmaktadır [43].

Uygun tehlike modelinin belirlenebilmesi için ilgili modelin doğruluğu, model çıktılarının kalitesi, model fonksiyonlarının zaman ile ilişkisi ve model çıktılarının bütünlüğü dikkate alınmalıdır [43]. Benzer girdiler ile birbiriyle tutarlı çıktıların tekrarlanabilir ve gerçeğe yakın olarak istenen zaman aralığında karar vericilerin dikkate alabileceği bütünlüğe sahip olarak hesaplayan modeller tehlike değerlendirmelerinde kullanılmak üzere uygun modeller olarak nitelendirilmektedir [43].

Modelin doğruluğu aynı girdiler kullanılarak aynı çıktıların elde edilip edilememe durumu olarak tanımlanmaktadır. Ender olarak ilgili modelin çalıştırılabilmesi için gerekli tüm tarihi verilere ulaşılabildiği durumlarda modelin doğruluğu yaşanan tarihi olayın sonuçları ile model çıktılarının karşılaştırılmasıyla belirlenebilmektedir [43].

2.3.1. Risk Derecelendirme Sistemleri

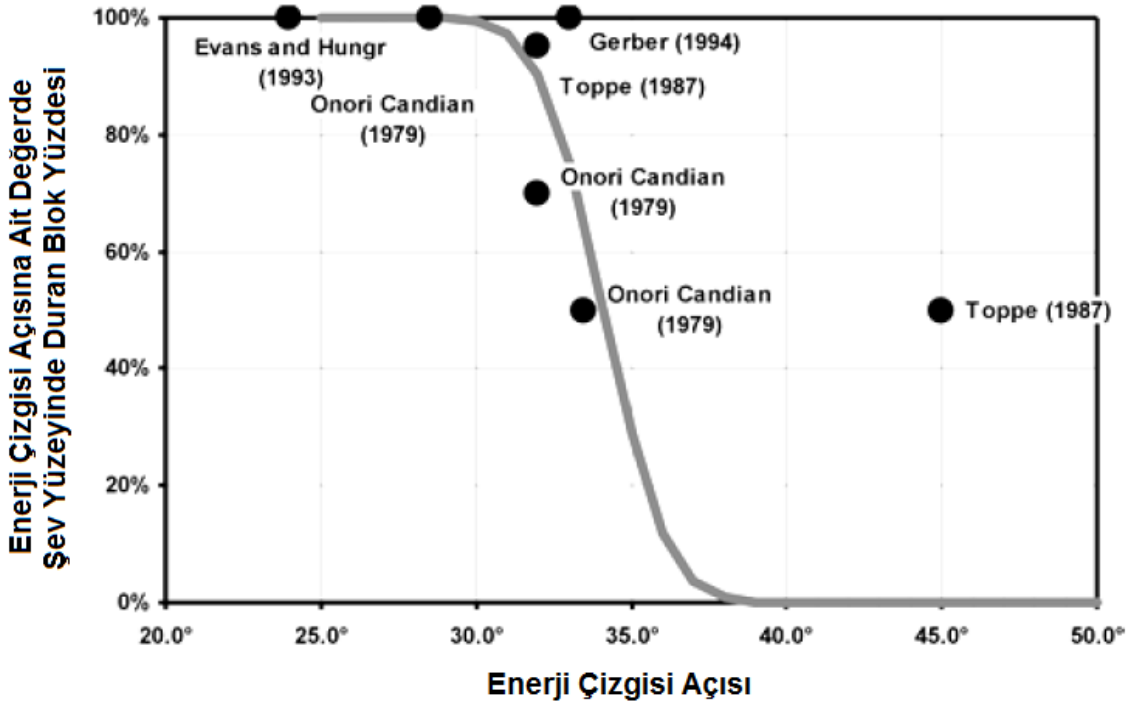
Risk Derecelendirme Sistemleri kaya düşmesi yaşanan/yaşanabilecek bölgelere özel, iyileştirilme amaçlı kullanılan, tehlike ve risk değerlendirmelerini içeren değerlendirme sistemleri olarak tanımlanmaktadır [45]. Bölüm içerisinde gölge açı-koni yaklaşımı, RHRS, RSRP, RHRON, RO.M.A, ve ROFRAQ sistemleri hakkında bilgiler verilmektedir. Karayollarının incelenmesinde kullanılan risk derecelendirme sistemlerinin karşılaştırmaları Pantelidis'in 2011 yılında yaptığı çalışma [61] içerisinde sunulmaktadır.

2.3.1.1. Gölge Açı-Koni Yaklaşımı

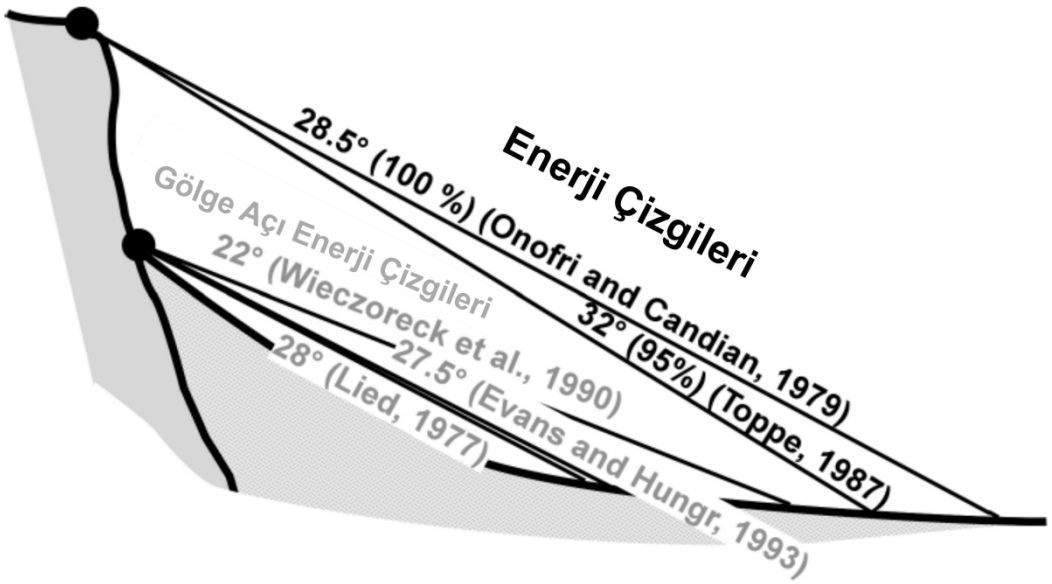
Gölge açı-Koni yaklaşımının temelleri Heim (1932) tarafından yürütülen ve büyük ölçekli kaya düşmesi olaylarını incelediği çalışmasına dayanmaktadır. Çalışmada yamaçlarda konumlanan çökellerin kaynak noktası ile aynı çökellerin yamaç üzerinde konumlandıkları kaynak noktasından uzaktaki en uç noktayı birleştiren doğrunun yatay ile yaptığı açının hareketli kütlenin hacmi ile üstel bir ilişki gösterdiğini belirtilmektedir [62]. Heim (1932) çalışmasında sürtünme nedeniyle enerji kaybederek topoğrafya üzerinde hareketli bir kütleye benzetim yaparak yukarıda tanımlanan doğrunun yatay ile yaptığı açıya eşit olan görünür sürtünme açısını tanımladığı modele bağlamaktadır [62].

Tanımlanan yaklaşım günümüzde değiştirilerek hacim bağımlılığı olmadan sadece önceden tanımlı, kabullere ve saha sonuçlarına dayanılarak tespit edilmiş blok kaynak noktası ile blok durma noktasını birleştiren doğrunun yatayla yaptığı açı değerlerini değişken olarak kabul ederek kaya düşmesi olaylarının incelenmesinde kullanılmaktadır [62]. Enerji çizgisi olarak adlandırılan, literatürde hareketli blokların kaynak noktası ile hareketli blokların durma noktasını birleştiren doğru [63; 64] veya kaya düşmesi olayı sonucu yamaçlarda biriken taneli malzemenin en yüksek kota sahip olduğu nokta ile en alçak kota sahip olduğu noktayı birleştirir doğru [65, 28, 66, 67] olarak tanımlanan terimin alabildiği değerler ile ilgili açılarda yamaç üzerinde hareketsiz duran blok yüzdesinin ilişkisi Şekil 2.7'de

sunulmaktadır [62]. Şekil 2.8'de görüldüğü gibi enerji çizgisinin başlangıç noktasının yamaç çökellerinin en yüksek noktası olarak alındığı durumda terim "gölge açı enerji çizgisi" olarak yeniden adlandırılmaktadır [62].

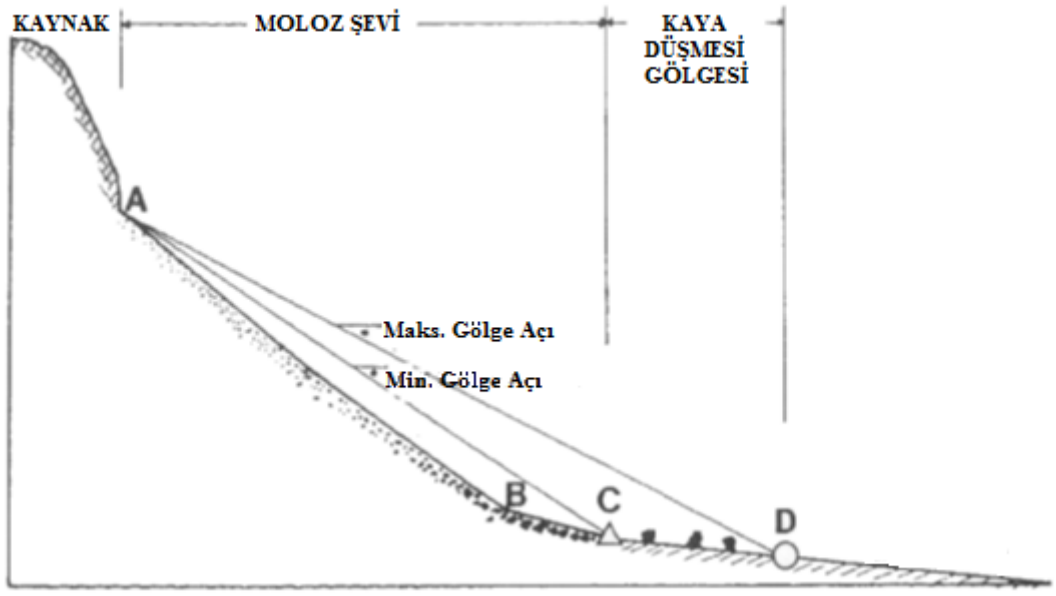


Şekil 2.7: Enerji çizgisi açısı ve ilgili enerji çizgisi açısı üzerindeki değerlerde yamaç üzerinde hareketsiz duran blok yüzdesi ilişkisini gösterir şekil ([62]'den değiştirilerek alınmıştır.).



Şekil 2.8: Enerji çizgisi tanımlarını gösterir şekil ([62]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Şekil 2.9'da sunulan şekilde gölge açı-koni yaklaşımı esasında kaya düşmesi olayının yayılma mesafesinin tespiti için kullanılan ampirik bir modeldir [68]. Şekil 2.9'da A noktası ile D noktası arasında kalan "tehlike bölgesini" tanımlar gölge açı değerleri 22° ile 37° arasında değişmektedir [62].



Şekil 2.9: Kaya düşmesi olayına ait tehlike tanımlamasına ait bileşenler ([28]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Bu yaklaşımı kullanarak coğrafi bilgi sistemleri içerisinde hesaplama yapan CONEFALL yazılımı ücretsiz bir şekilde kullanılmak üzere http://www.quanterra.org/softs.HTM internet sayfasında Jaboyedoff ve Labiouse tarafından 2003 yılında tamamlanan çalışma [69] sonucu hizmete sunulmuştur. İlgili yazılımın kullanıldığı çeşitli çalışmalar [70, 71], literatürde mevcuttur.

İlgili yaklaşım yardımıyla sadece kaya düşmesi olayının yayılma mesafesinin tespiti yapılabildiğinden önleyici mühendislik yapılarının tasarımında bu yöntemin sürece bir katkısı olmamaktadır fakat yapılacak geniş ölçekli çalışmalarda hızlı sonuçlar vermesi nedeniyle bir ön-etüt yöntemi olarak kullanılması mümkündür.

2.3.1.2. Kaya Düşmesi Tehlike Derecelendirme Sistemi (RHRS)

Federal Karayolları Yönetiminin (FHWA) tavsiyesiyle Oregon Ulaştırma Dairesi tarafından 1993 yılında geliştirilmiş kurumların karayolları sistemleri üzerindeki kaya şevlerini yönetmesini sağlayan bir süreçtir. Esasında Brawner ve Wyllie (1984) tarafından yürütülmüş, kaya düşmesi yaşanabilecek bölgeleri ilgili bölgede

beklenen potansiyel kaya düşmesi olaylarının etkilerine göre 5 ayrı sınıfta derecelendiren çalışmanın 1987 yılında Wyllie tarafından daha ayrıntılı derecelendirme yapılmasını sağlayacak üstel puanlandırma yöntemlerini kullanacak şekilde değiştirilmesi, Pierson tarafından 1992 yılında önerilen [72] ve benzer puanlandırma yöntemini kullanan derecelendirme sisteminin Oregon RHRS sisteminin temelini oluşturmasına neden olmuştur [73,74].

RHRS süreci aşağıda sunulan altı aşamadan oluşmaktadır:

1. Şev Sayımı – Kaya düşmesi görülen bölgelerin konumlarından oluşan coğrafik veritabanının hazırlanması
2. Ön Derecelendirme – Kaya düşmesi beklenen bölgelerin A, B, C sınıfları adı altında 3 ayrı grupta değerlendirilmesi
3. Ayrıntılı Derecelendirme – Kaya düşmesi beklenen bölgelerin öncelik sıralamasının en büyük tehlike beklenen bölgeden başlayacak şekilde azalarak en az tehlike beklenen bölgeye kadar yapılması
4. Ön Tasarım ve Maliyet Tahmini – Kaya düşmesi veritabanına iyileştirme bilgilerinin eklenmesi
5. Proje Tanımlaması ve Geliştirilmesi – İmalata yönelik kaya düşmesi iyileştirme projelerinin hayata geçirilmesi
6. Yıllık Gözden Geçirme ve Güncelleme – Kaya düşmesi veritabanının korunması

Şev Sayımı: Şev sayımının amacı kaya düşmesi bölgelerinin inceleme güzergahı içerisindeki konumlarının belirlenmesiyle ilgili kurumun sahip olduğu karayolu güzergahı boyunca karşılaşacağı kaya düşmesi sorunlarının büyüklüğünün tespit edilmesidir [74]. Kaya düşmesi bölgeleri karayolu güzergahı boyunca kesintisiz uzanan, kaya düşmesi olayının seviyesi (olay frekansı veya gerçekleşme sayısı) ve gerçekleşme tipi aynı olan şev olarak tanımlanmaktadır [74]. Kaya düşmesi bölgelerinin tespiti için aşağıda sunulan bilgilerin görevli personel tarafından kayıt altına alınması gerekmektedir [74]:

- Kaya düşmesi olayının gerçekleştiği konum
- Kaya düşmesi olayının frekansı

- Yıl içerisinde hareketliliğin en yüksek olduğu zaman
- Olay başına yaşanan kaya düşmesi adedi ve büyüklüğü
- Kaya düşmesi sonucu oluşan çökellerin fiziksel özellikleri
- Kaya düşmesi çökellerinin yayılma mesafesi
- Mevcut kaza tarihçesi
- Kaya düşmesinin nedeni hakkında sahip olunan fikir
- Hendek temizleme ve yol devriye frekansı
- Tahmini müdahale maliyeti

Ön Derecelendirme: Ön derecelendirmenin amacı şev sayımı yardımıyla hazırlanan şev envanterinin Çizelge 2.5'te sunulan sistem kullanılarak A, B, C adı altında 3 ayrı grupta sınıflandırmaktır [74]. Sınıflandırılan şev envanteri içerisindeki kaya düşmesi bölgelerinden "A" sınıfı içerisinde bulunanlar mutlaka, "B" sınıfı içerisinde bulunanlar çalışma için ayrılan zaman ve ödenek sınırlamaları içerisinde kalmak koşuluyla çalışmanın "ayrıntılı derecelendirme" adımı altında sunulan yöntemler kullanılarak incelenir [74]. "C" sınıfı içerisinde bulunan kaya düşmesi bölgeleri için yürütülen çalışmalar bu aşamada durdurulur ve ayrıntılı çalışmalar bu bölgeler için yürütülmez [74]. Bu sayede fazla kaya düşmesi bölgesinin bulunduğu güzergahlar üzerinde yürütülen RHRS çalışmasının verimli ve ekonomik bir biçimde yürütülmesi sağlanır [74]. Ön derecelendirme çalışmasının kaya düşmesi potansiyelinin değerlendirildiği öznel bir çalışma olması nedeniyle uygun kararlar verebilen deneyimli ve bilgili personel tarafından yürütülmesi gerekmektedir [74].

Çizelge 2.5: Ön derecelendirme sistemi ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Sınıf / Ölçüt	A	B	C
Karayolunda Beklenen Kaya Düşmesi Potansiyeli	YÜKSEK	ORTA DERECELİ	DÜŞÜK
Tarihsel Kaya Düşmesi Hareketliliği	YÜKSEK	ORTA DERECELİ	DÜŞÜK

Ayrıntılı Derecelendirme: Ayrıntılı derecelendirme adımının amacı ilgili bölgelerdeki riskin sayısal olarak belirlenip sınıflandırılarak güvenlik projelerine başlanılacak konumlar hakkında alınacak kararlar hakkında yardımcı olacak verilerin üretilmesidir [74].

Çizelge 2.8'de sunulan tablonun her bir satırında sunulan incelenen kaya düşmesi bölgesine ait özellik için Çizelge 2.7'de sunulan ilgili eşitlik kullanılarak "$y=3^{x}$" sağlayan y değerleri ayrı ayrı hesaplanıp, hesaplanan tüm y değerlerinin toplamı alınarak ilgili kaya düşmesi bölgesinin risk puanı tespit edilmektedir. Çizelge 2.7'de sunulan eşitliklerin kullanılması yerine arazide yapılan gözlemleri hızlandırmak amacıyla hazırlanmış Çizelge 2.9'da sunulan değerler ve eşitlikler ilgili kaya düşmesi bölgesine ait risk puanının hesaplanmasında kullanılabilmektedir.

Görüş mesafesine ait puanın hesaplanmasında kullanılan karar verme görüş mesafesi yüzdesi aşağıda sunulan eşitlik ve Çizelge 2.6'da sunulan AASHTO (1984) değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır [73]:

$$\%\, DSD = \%100 \times \frac{Gerçek\ Görüş\ Mesafesi}{Karar\ Verme\ Görüş\ Mesafesi} \tag{2.1}$$

Çizelge 2.6: AASHTO (1984) [75] Karar Verme Görüş Mesafesi Değerleri ([73]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Hız Sınırı (mil/saat)	DSD (ft)
25	375
30	450
35	525
40	600
45	675
50	750
55	875
60	1000
65	1050

Çizelge 2.7: Kaya düşmesi bölgesi özelliklerine ait sayısal değerlerin hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

ŞEV YÜKSEKLİĞİ $X = \frac{Şev\ Yüksekliği\ (ft.)}{25}$	KARAYOLU GENİŞLİĞİ $X = \frac{52 - Karayolu\ Genişliği(ft.)}{8}$
ORTALAMA ARAÇ RİSKİ $X = \frac{\%\, Zaman}{25}$	BLOK BOYUTU $X = Blok\ Boyutu\ (ft.)$
GÖRÜŞ MESAFESİ $X = \frac{120 - \%\, Karar\ Verme\ Görüş\ Msf.}{20}$	HACİM $X = \frac{Hacim\ (ft^3)}{3}$

Çizelge 2.8: Oregon RHRS Özet Tablosu ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

SINIF			SINIFLAMA ÖLÇÜTÜ VE PUAN			
			3 PUAN	9 PUAN	27 PUAN	81 PUAN
ŞEV YÜKSEKLİĞİ			25 FEET	50 FEET	75 FEET	100 FEET
HENDEK ETKİNLİĞİ			İyi Yakalama	Orta Dereceli Yakalama	Sınırlı Yakalama	Yakalama Yapılamamakta
ORTALAMA ARAÇ RİSKİ			zamanın %25'inde	zamanın %50'sinde	zamanın %75'inde	zamanın %100'ünde
KARAR VERME GÖRÜŞ MESAFESİ YÜZDESİ			Yeterli görüş mesafesi, düşük tasarım değerinin %100'ü	Orta dereceli görüş mesafesi, düşük tasarım değerinin %80'i	Sınırlı görüş mesafesi, düşük tasarım değerinin %60'ı	Çok sınırlı görüş mesafesi, düşük tasarım değerinin %40'ı
KAPLI BANKETLERİ İÇERECEK ŞEKİLDE KARAYOLU GENİŞLİĞİ			44 feet	36 feet	28 feet	20 feet
JEOLOJİK ÖZELLİKLER	DURUM 1	YAPISAL DURUM	Süreksiz süreksizlikler, uygun yönelim	Süreksiz süreksizlikler, raslantısal yönelim	Süreksiz süreksizlikler, uygunsuz yönelim	Sürekli süreksizlikler, uygunsuz yönelim
		KAYA SÜRTÜNMESİ	Pürüzlü, Düzensiz	Dalgalı	Düzlemsel	Kil Dolgulu, Yenilmiş
	DURUM 2	YAPISAL DURUM	Farklı az aşınma yapısı	Farklı arada sırada rastlanan aşınma yapısı	Farklı birçok aşınma yapısı	Farklı ana aşınma yapısı
		EROZYON ORANLARINDAKİ FARKLILIKLAR	Küçük Farklar	Orta Dereceli Farklar	Büyük Farklar	Uç Farklar
BLOK BOYUTU			1 Foot	2 Feet	3 Feet	4 Feet
OLAY / KAYA DÜŞMESİ HACMİ			3 $yard^3$	6 $yard^3$	9 $yard^3$	12 $yard^3$
İKLİM VE ŞEVDEKİ SU VARLIĞI			Düşük-Orta dereceli yağış; don aralığı yok; şevde su geliri gözlemlenmiyor	Orta Dereceli yağış veya kısa don aralığı veya şevde kesintili su geliri gözlemleniyor	Yüksek yağış veya uzun don aralığı veya şevde sürekli su geliri gözlemleniyor	Yüksek yağış ve uzun don aralığı veya şevde sürekli su geliri gözlemleniyor ve uzun don aralığı
KAYA DÜŞMESİ TARİHÇESİ			Birkaç düşme	Arada sırada gözlemlenmiş düşmeler	Birçok düşme	Sürekli düşmeler

Çizelge 2.9: Kaya düşmesi bölgesi özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan arazi tablosu ([74]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

FEET	ŞEV YÜKSEKLİĞİ PUANI	FEET	ŞEV YÜKSEKLİĞİ PUANI
9	1	58	13
10	2	58	13
11	2	59	13
12	2	60	14
13	2	61	15
14	2	62	15
15	2	63	16
16	2	64	17
17	2	65	17
18	2	66	18
19	2	67	19
20	2	68	20
21	3	69	21
22	3	70	22
23	3	71	23
24	3	72	24
25	3	73	25
26	3	74	26
27	3	75	27
28	3	76	28
29	4	77	29
30	4	78	31
31	4	79	32
32	4	80	34
33	4	81	35
34	4	82	37
35	5	83	38
36	5	84	40
37	5	85	42
38	5	87	46
39	6	88	48
40	6	89	50
41	6	90	52
42	6	91	55
43	7	92	57
44	7	93	60
45	7	94	60
46	8	95	62
47	8	96	65
48	8	97	71
49	9	98	74
50	9	99	78
51	9	100	81
52	10	101	85
53	10	102	88
54	11	103	92
55	11	104	97
56	12	105	100
57	12		

%	AVR PUANI	%	AVR PUANI
9	1	58	13
10	2	59	13
11	2	60	14
12	2	61	15
13	2	62	15
14	2	63	16
15	2	64	17
16	2	65	17
17	2	66	18
18	2	67	19
19	2	68	20
20	2	69	21
21	3	70	22
22	3	71	23
23	3	72	24
24	3	73	25
25	3	74	26
26	3	75	27
27	3	76	28
28	3	77	29
29	4	78	31
30	4	79	32
31	4	80	34
32	4	81	35
33	4	82	37
34	4	83	38
35	5	84	40
36	5	85	42
37	5	86	44
38	5	87	46
39	6	88	48
40	6	89	50
41	6	90	52
42	6	91	55
43	7	92	57
44	7	93	60
45	7	94	60
46	8	95	62
47	8	96	65
48	8	97	71
49	9	98	74
50	9	99	78
51	9	100	81
52	10	101	85
53	10	102	88
54	11	103	92
55	11	104	97
56	12	105	100
57	12		

%	GÖRÜŞ MESAFESİ PUANI	%	GÖRÜŞ MESAFESİ PUANI
36	100	75	12
37	96	76	11
38	90	77	11
39	86	78	10
40	81	79	10
41	77	80	9
42	73	81	9
43	69	82	8
44	65	83	8
45	62	84	7
46	58	85	7
47	55	86	6
48	52	87	6
49	49	88	6
50	47	89	5
51	44	90	5
52	42	91	5
53	40	92	5
54	38	93	4
55	36	94	4
56	34	95	4
57	32	96	4
58	30	97	4
59	29	98	3
60	27	99	3
61	26	100	3
62	24	101	3
63	23	102	3
64	22	103	3
65	21	104	2
66	19	105	2
67	18	106	2
68	17	107	2
69	16	108	2
70	16	109	2
71	15	110	2
72	14	111	2
73	13	112	2
74	13	113	1

$$Şev\ Yüksekliği = \frac{\sin\alpha \times \sin\beta \times X}{\sin(\alpha-\beta)} + \text{H.I.}$$

$H.I. = cihaz\ yüksekliği$

$X = \alpha\ ile\ \beta\ arasındaki\ yatay\ mesafe$

KARAYOLU GENİŞLİĞİ FEET CİNSİNDEN	KARAYOLU GENİŞLİĞİ PUANI
18	100
19	93
20	81
21	71
22	62
23	54
24	47
25	41
26	36
27	31
28	27
29	24
30	21
31	18
32	16
33	14
34	12
35	10
36	9
37	8
38	7
39	6
40	5
41	5
42	4
43	3
44	3
45	3
46	2
47	2
48	2
49	2
50	1

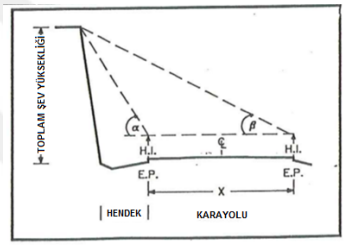
ADET yard^3	PUAN
1	1
1,5	2
2	2
2,5	2
3	3
3,5	4
4	4
4,5	5
5	6
5,5	7
6	9
6,5	11
7	13
7,5	16
8	19
8,5	22
9	27
9,5	32
10	39
10,5	47
11	56
11,5	67
12	81
12,5	97
13	100

KARAR VERME GÖRÜŞ MESAFESİ	MPH
300	20
375	25
450	30
525	35
600	40
675	45
750	50
875	55
1000	60
1015	65

BLOK BOYUTU feet	PUAN
0,5	2
1	3
1,5	5
2	9
2,5	16
3	27
3,5	47
4	81
4,5	100

$$\%AVR = \frac{(ADT/24) \times şev\ uzunluğu\,(mil)\,x\ 100}{hız\ sınırı}$$

$ADT = Günlük\ Ortalama\ Trafik$



Ön Tasarım ve Maliyet Tahmini: Bu adım içerisinde ayrıntılı değerlendirme çalışmalarını yürüten uzman personel tarafından ilgili kaya düşmesi bölgeleri için uygun iyileştirme önlemleri belirlenmekte ve ilgili kaya düşmesi bölgesi üzerinde yürütülecek projeye ait imalat maliyetleri hesaplanmaktadır. Kaya düşmesi potansiyeline sahip bölgeleri içeren güzergahtan sorumlu kurumun yöneticileri aşağıda sunulan dört yöntemden birini kullanarak hayata geçirilecek iyileştirme projelerine ait kararları vermektedir [74]:

- **Puan Yöntemi:** Risk puanlarına göre büyükten küçüğe doğru sıralanan kaya düşmesi bölgeleri eldeki ödeneğe bağlı önerilen projelere uygun olarak iyileştirilir. Genellikle en riskli bölgelerin iyileştirmesi en pahalı bölgeler olması ve sahip olunan sınırlı ödenek nedeniyle yönetim az sayıda yüksek riskli bölgelerin iyileştirilmesi veya mümkün olan en yüksek sayıda daha az riskli bölgenin iyileştirilmesi arasında seçim yapma zorunluluğu bu yöntemin tercih edilmesi durumunda ortaya çıkmaktadır [74].
- **Oran Yöntemi:** Her bir kaya düşmesi bölgesine ait iyileştirme projesi maliyetinin risk puanına bölünmesiyle hesaplanan değer bir liste haline getirilerek eldeki ödeneğe bağlı olarak küçük değere sahip kaya düşmesi bölgelerinden başlanarak imalata geçilmektedir. Bu yöntem kullanılarak güzergah boyunca sınırlı ödenekle maksimum iyileştirme yapılmaktadır fakat çok yüksek riske sahip bölgelerden birkaçı yüksek maliyetlere sahip olmaları nedeniyle herhangi bir önlem alınmadan geçilebilmektedir. Bu durum yönetim için sorun oluşturmaktaysa puan yöntemi ve oran yöntemi kullanılarak oluşturulan listeler birlikte kullanılarak planlama yapılmalıdır [74].
- **İyileştirme Yaklaşımı Yöntemi:** Projeler benzer iyileştirme yöntemlerinin uygulanacağı birden fazla kaya düşmesi bölgesi için hazırlanarak farklı iyileştirme yöntemlerinin uygulamasını yapabilecek müteahhit bulunması zorunluluğundan kaçınılmış olunur [74].
- **Yakınlık Yöntemi:** Projeler kaya düşmesi bölgelerinin güzergah üzerindeki birbirlerine yakınlıklarına göre hazırlanarak, benzer iyileştirme yöntemlerinin kullanılacağı birbirine yakın kaya düşmesi bölgelerinin tek bir projede

toplanmasıyla ihale masraflarının düşmesine ve mobilizasyon masraflarının düşürülmesine neden olacaktır [74].

- **Yıllık Gözden Geçirme ve Güncelleme:** Bakım veya iyileştirme faaliyetleri sonucu geometrisi değişen veya yeni imalat yapılan her bir kaya düşmesi bölgesi RHRS sistemi ile tekrar değerlendirilir gerekiyorsa veritabanından çıkartılır. Amaç değişen koşullara sahip çevre içerisindeki sisteme ait güncel bilgilere sahip olmak, verimli ve ekonomik bir biçimde ilgili kararların verilmesinin sağlanmasıdır [74].

RHRS sistemi Utah Ulaştırma Dairesi tarafından kendi ihtiyaçlarına göre uyarlanarak sırasıyla sadece kaya düşmesi tehlikelerinin değerlendirilmesinde kullanılan ODOT I [76] ve kaya düşmeleri ve kütle hareketi tehlikelerinin değerlendirilmesinde kullanılan ODOT II [77] sistemlerinin, New Hampshire Ulaştırma Dairesi tarafından kendi ihtiyaçlarına göre uyarlanarak kaya düşmesi tehlikelerinin değerlendirilmesinde New Hampshire Kaya Yarması Yönetim Sisteminin (NHDOT RCMS) [78], Washington Ulaştırma Dairesi tarafından kendi ihtiyaçlarına göre uyarlanarak duraysız şevlerin değerlendirilmesinde kullanılan Duraysız Şev Yönetim Sisteminin (USMS)[79], Tennessee Ulaştırma Dairesi tarafından 2001-2005 yılları arası yürütülen çalışmalar sonucu oluşturulan TennRMS adlı sistemin [45], Romana tarafından 1985 yılında önerilen SMR [31] puanlamasını değerlendirilmesi gerek etmenler içerisine katarak oluşturulan Modifiye RHRS sisteminin [80] temelini oluşturmuştur.

2.3.1.3. Kaya Şevi Derecelendirme Süreci (RSRP)

New York Eyaleti Ulaştırma Dairesi tarafından 1996 yılında RHRS sistemini temel alarak oluşturulmuş amacı kaya düşmesi nedeniyle oluşabilecek kaza risklerinin ilgili güzergah bölümündeki kaya şevinin jeolojik özellikleri, hendek ve kesit geometrisi ile trafik hacmi ve durma görüş mesafesi arasındaki ilişkilerin tanımlanması yardımıyla tespit eden risk derecelendirme sistemidir [81]. Güzergah üzerinde kaya düşmesi beklenen bir bölüme ait risk puanlaması RHRS'ten farklı olarak "Jeolojik Faktör(GF)", "Bölüm Faktörü (SF)" ve "İnsan Maruz Kalma Faktörü (HEF)" adlandırılan etmenler için belirlenen puanların çarpılması sonucu tespit edilmektedir [81].

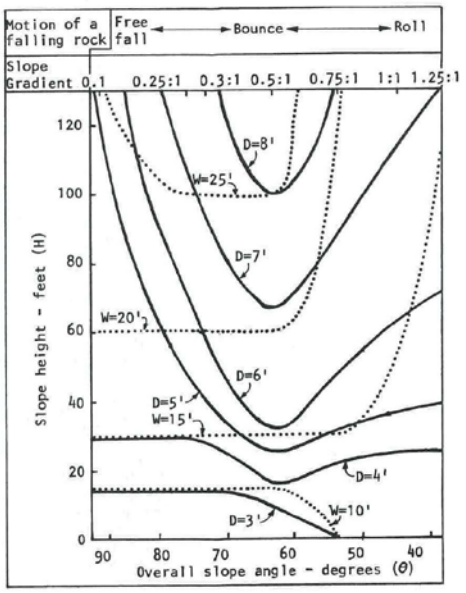
Jeolojik Faktörler (GF): Jeolojik Faktörler için yapılacak puanlama Çizelge 2.10'nun her bir satırında adlandırılan etmenler için aynı satırdaki sütunlar içerisinde verilen tanımlara ait her bir sütun başında verilmiş puanların her bir etmen için ayrı ayrı toplanıp elde edilen sonuçun 10'a bölünmesiyle elde edilmektedir. RHRS'ten farklı olarak sütunlar arasındaki ara değerler kullanılmadan sadece sütun başında verilen değerler (1-3-9-27-81) kullanılarak puanlama yapılmaktadır. İlgili güzergah bölümündeki kaya şevi ağırlıklı olarak metamorfik veya magmatik kayaçlardan oluşuyorsa sadece 1B satırı için puanlama yapılmadan sadece 1A satırı için puanlama yapılacak, kaya şevi çökel kayaçlardan oluşuyor ise 1A satırı için puanlama yapılmadan sadece 1B satırı için puanlama yapılacaktır [81].

Çizelge 2.10: RSRP içerisindeki Jeolojik Faktörlerin (GF) Puanlanmasında kullanılan tablo ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

	PUAN	1	3	9	27	81
1A	JEOLOJİ (Xtal.)	Masif, çatlaksız, şev Dışına Eğimli	Rastgele yönelimli süreksiz süreksizlikler,	Kama oluşturan süreksizlikler	Şev dışına eğimli süreksiz süreksizlikler	Şev dışına eğimli sürekli süreksizlikler
1B	JEOLOJİ (Çökel)	Yatay veya düşük eğimli	Zaman zaman sökülen küçük bloklar	küçük, sarkık bloklar veya sütunlar. Sayısız küçük bloklar	Sarkmalar, bazı büyük duraysız bloklar. Yüksek sütunlar	Tabakalanma yüzeyi veya çatlaklar şev dışına eğimli. Aşırı dik yarma yüzeyleri
2	BLOK BOYUTU	6 inç'e kadar	6 ile 12 inç arası	1 ile 2 feet arası	2 ile 5 feet arası	5 feet ve üstü
3	KAYA SÜRTÜNMESİ	Pürüzlü, düzensiz	Dalgalı	Düzlemlsel	pürüzsüz, yenilmiş	Kil, dolgu, faylanmış
4	SU / BUZ	Kuru	Az su geliri	Orte dereceli su geliri	Yüksek su geliri	Uzun şevler ile birlikte yüksek su geliri
5	KAYA DÜŞMESİ	Yok	Zaman zaman görülen küçük düşmeler	Zaman zaman görülen düşmeler	Sürekli görülen düşmeler	Büyük düşmeler / kaymalar
6	ŞEV EĞİMİ	Yatık veya düşük eğimli(15°'ye kadar)	Orta derecede eğimli(15°-25°)	Yüksek eğimli(25°-35°)	Çok yüksek eğimli(25°-35°) veya üzerinde bloklar bulunan yüksek eğimli(25°-35°)	Üzerinde bloklar bulunan çok yüksek eğimli(25°-35°)

Bölüm Faktörü (SF): Bölüm Faktörü DR feet cinsinden Şekil 2.10'daki abak kullanılarak tespit edilen hendek derinliği, WR feet cinsinden Şekil 2.10'daki abak kullanılarak tespit edilen hendek genişliği, DA feet cinsinden arazide ölçülen esas hendek derinliği, WA feet cinsinden arazide ölçülen esas hendek genişliği (şev topuğu ve kaplama arasındaki yatay uzaklık) olmak üzere Eşitlik 2.2 kullanılarak hesaplanmaktadır [81].

$$SF = \frac{(DR + WR)}{(DA + WA)} \tag{2.2}$$



Şekil 2.10: Ritchie'nin hendek Ölçütü – Hendek Tasarım Abağı [81]

Bölüm faktörüne ait hesaplanan değerin 1'den büyük çıkması ilgili kaya düşmesi bölümü için risk olduğu ve hareketli blokların hendek tarafından durdurulmadan karayoluna ulaşacağı anlamına gelmektedir. Aksi durum ise hareketli blokların mevcut hendek geometrisi tarafından durdurulabildiği ve herhangi bir riskin bulunmadığı anlamına gelmektedir [81].

İnsan Maruz Kalma Faktörü (HEF): Kayanın düştüğü ve karayoluna ulaştığında yolda bulunabilecek araç aşağıda sunulan iki farklı şekilde çarpma tehditi altına girecektir [81]:

A. Aktif Durum (F_a): Düşen kaya araca çarpar veya yaklaşmakta olan aracın hareketli bloğa çarpmasına neden olacak kadar yakınına düşer. Aktif durum için puanlama AADT ortalama yıllık trafik, L feet cinsinden kaya düşmesi beklenen bölüm uzunluğu, SSD feet cinsinden Çizelge 2.11 ile Çizelge 2.17 arasındaki tablolar kullanılarak tespit edilen durma görüş mesafesi değerleri, V mph cinsinden seyahat hızı olmak üzere Eşitlik 2.3 kullanılarak hesaplanmaktadır (NYSDOT,2015,sf:8).

$$F_a = AADT \times \frac{(L + SSD)}{(V \times 126720)} \tag{2.3}$$

B. Pasif Durum (F_p) Araç yolda daha önceden düşmüş ve hareketsiz duran bloğa çarpar. DSD Çizelge 2.18'den seçilebilen feet cinsinden karar verme

görüş mesafesi değeri, a (SSD-DSD) veya 0 arasında büyük olan değer olmak üzere Eşitlik 2.4 kullanılarak hesaplanmaktadır [81].

$$F_p = \log_{10}(AADT) \times \log_{10}(L) \frac{a}{(SSD - a)} \quad (2.4)$$

Aktif (F_a) ve pasif(F_p) durum için ilgili değerlerinin hesaplanmasının ardından İnsan Maruz Kalma Faktörü (HEF) Eşitlik 2.5 kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$HEF = \frac{F_a + F_p}{3} \quad (2.5)$$

Maerz vd. [82] tarafından RSRP sisteminin sınırlaması aşağıda sunulan şekilde tanımlanmaktadır:

RSRP risk ve sonuçlarının ayrımını yeterince yapamamaktadır. Küçük şevlere karşı sistemin duyarlılığı düşüktür. Derecelendirilmiş GF etmeni ile daha analitik hesaplar sonucu elde edilen SF ve HEF etmenleri belirsizdir.

Çizelge 2.11: Eyaletler arası ve diğer karayolları için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2-2: Eyaletler arası ve diğer otobanlar için tasarım ölçütü

Emniyet Şeritleri[1]						
Tanımlama					**Genişlik, m**	
					En az	İstenen
Sağ yaka:					3,0	3,0
Genel					2,4	3,0
Ek genişlik maliyetinin yüksek olduğu dağlık bölge					2,4	3,0
Kamyon ve otobüs trafiğini kabul etmeyen, eyaletler arası olmayan park yolu					3,0	3,6
Sol yaka:						
Genel					1,2	1,2
Eyaletler arası altı ve üzeri şeritli yollar					1,2	3,0
Kamyonların 250 DDHV(yönlü saatlik tasarım hacmi) değerini aştığı eyaletler arası altı ve üzeri şeritli yollar					1,2	3,6
Tasarım Hızı (km/saat)	**En Büyük Eğim Yüzdesi**			**En Düşük Durma Görüş Mesafesi, m**	**En Düşük Yarıçap Eğrisi, m** e_{max} **= %6**	**En Düşük Yarıçap Eğrisi, m** e_{max} **= %8**
	Seviye[2]	Yuvarlanma[2]	Dağlık			
80	4	5	6	130	252	229
90	4	5	6	160	336	304
100	3	4	6	185	437	394
110	3	4	5	220	560	501
120	3	4	-	250	756	667

Notlar:

1. Köprüler için emniyet şeridinin genişliğinin belirlenmesi için bkz. NYSDOT Köprü Kılavuzu, Bölüm 2
2. %1 yüksek eğimler tek yönlü inişlerde kullanılabilir ve şehir içerisinde gelişimin daha yatık eğimlerin kullanımına izin vermdiği uç durumlarda

Çizelge 2.12: Kırsal arterler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2- 3: Kırsal arterler için tasarım ölçütü

Tasarım Hızı (km/saat)	Ulaşım Şeridi Genişliği (m) [1,2,3] Tasarım Yılı ADT				En Büyük Eğim Yüzdesi			En Düşük Durma Görüş Mesafesi, m	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %6	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %8
	ADT 400'ün altında	ADT 400 ile 1500 arasında	ADT 1500 ile 2000 arasında	ADT 2000'in üzerinde	Düz	Yuvarlanan	Dağlık			
60	3,3	3,3	3,3	3,6	5	6	8	85	123	113
70	3,3	3,3	3,3	3,6	5	6	7	105	184	168
80	3,3	3,3	3,6	3,6	4	5	7	130	252	229
90	3,3	3,3	3,6	3,6	4	5	6	160	336	304
100	3,6	3,6	3,6	3,6	3	4	6	185	437	394
110	3,6	3,6	3,6	3,6	3	4	5	220	560	501

Emniyet Şeridi Genişliği (m) [3]				
Ayrılmamış (Sağ Emniyet Şeridi)	1,2	1,8	1,8	2,4
Ayrılmış [5]	Sağ Emniyet Şeridi = 2,4 Sol Emniyet Şeridi = 1,2			

Notlar:

1. Yeniden inşa edilen, kaza tarihçesinin uygun olduğu, güzegahın sınıflama yolu olarak tanımlanmadığı karayollarında ulaşım şeridinin genişliği 3,3m olarak kalmalıdır.
2. Ayrılmış Kamyon Ulaşım Yolu Ulusal Ağ'ında sınıflama yolu olarak tanımlanmış güzergahlar 3.6m genişliğinde ulaşım şeridi gerektirmektedir.
3. Köprüler için, şerit ve emniyet şeridi genişliği NYSDOT Köprü Kılavuzu, Bölüm 2 kullanılarak belirlenmelidir.
4. Dönen şeritlerde bu bölüm içerisinde sunulan Tablo 2-4'ü kullanın
5. Ayrılmış tanımı için bkz. Bölüm 2.6.17

Çizelge 2.13: Şehir içi arterler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2-4: Şehiriçi arterler için tasarım ölçütü

Şeritler [1]	Genişlik, m	
Ulaşım Şeritleri:	En az	İstenen
Düşük Hızlı (<80 km/saat)	3,3	3,3
yüksek Hızlı (>80 km/saat)	3,6	3,6
Kamyon trafiğinin olmadığı veya çok az olduğu(%0-2) sınırlanmış bölgeler	3,0	3,0
Ayrılmış Kamyon Ulaşım Yolu Ulusal Ağ'ında sınıflama yolu olarak tanımlanmış güzergahlar	3,6	3,6
Düşük hızlı kısımlar[1] içerisindeki bisikletlileri konaklatmak için hazırlanmış duraklama şeritleri veya kurplara yakın geniş ulaşım şeritleri	3,6	3,6
Dönüş Şeritleri:		
Ana arterler için sağ ve sol (kamyon hacmi ≤ %2)	3,0	3,6
Kamyon hacmi > %2	3,3	3,6
Sürekli medyan sola dönüş şeritleri	3,3	4,8
Duraklama Şeritleri:		
Ulaşım şeridine gelecekte izin verilebilir	3,3	3,6
Dönüş şeridine gelecekte izin verilebilir	3,0	3,6
60 km/saat veya daha düşük arteriyel düşük hızlı dönüş şeridine gelecekte izin verilebilir	2,7	3,6
Dönüş şeridi olmasına izin verilmeyen	2,4	3,6
Emniyet Şeritleri[1]	**Genişlik, m**	
Kurplu:	En az	İstenen
Ayrılmış arterler için sol emniyet şeridi	0	0,3 - 0,6
Bisikletliler [2], arızalar için konaklamaya ve dönüş hareketlerine izin vermeyen sağ emniyet şeridi	0	0,3 - 0,6
Bisikletliler vb. için sağ emniyet şeridi	1,5	-
Bisikletliler vb. ek olarak arızalar ve dönüş hareketleri için sağ emniyet şeridi	1,8	3,0
Kurpsuz: -	Bkz. Tablo 2-3	

Tasarım Hızı (km/saat)	En Büyük Eğim Yüzdesi			En Düşük Durma Görüş Mesafesi, m	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m
	Düz	Yuvarlanan	Dağlık		
50	8	9	11	65	86
60	7	8	10	85	135
70	6	7	9	105	203
80	6	7	9	130	280
90	5	6	8	160	375
100	5	6	8	185	492

Notlar:

1. Köprüler için emniyet şeridinin genişliğinin belirlenmesi için bkz. NYSDOT Köprü Kılavuzu, Bölüm 2
2. Geniş ulaşım şeritleri düşük hızlı bölgelerde kullanılmalıdır. Bisikletlilerin konaklaması için bkz. Bölüm 18. New York Eyaleti Motorlu Araçlar ve Trafik Yasa'sının 1230. ve 1236. Bölümlerinde belirtildiği gibi bisikletlilerin hakları ve sorumlulukları sürücülerle aynı olduğunu unutmayınız.

Çizelge 2.14: Kırsal kollektörler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2- 5: Kırsal kollektörler için tasarım ölçütü

Tasarım Hızı (km/saat)	Ulaşım Şeridi Genişliği (m) [1] Tasarım Yılı ADT				Dönüş Şeridi (m)		En Büyük Eğim Yüzdesi [2] Arazi			En Düşük Durma Görüş Mesafesi, m	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %6	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %8
	ADT 400'ün altında	ADT 400 ile 1500 arasında	ADT 1500 ile 2000[3] arasında	ADT 2000[3]'in üzerinde	En az	İstenen	Düz	Yuvarlanan	Dağlık			
30	3,0[4]	3,0	3,3	3,6	3,0	Ulaşım yolu genişliği ile aynı	7	10	12	35	21	20
40	3,0[4]	3,0	3,3	3,6			7	10	11	50	43	41
50	3,0[4]	3,0	3,3	3,6			7	9	10	65	79	73
60	3,0[4]	3,3	3,3	3,6			7	8	10	85	123	113
70	3,0[4]	3,3	3,3	3,6			7	8	10	105	184	168
80	3,0[4]	3,3	3,3	3,6			6	7	9	130	252	229
90	3,3	3,3	3,6	3,6			6	7	9	160	336	304
100	3,3	3,3	3,6	3,6			5	6	8	185	437	394
Emniyet Şeridi Genişliği (m)												
Tüm Hızlar	0,6[5]	1,5[6]	1,8	2,4								

Notlar:
1. Ayrılmış Kamyon Ulaşım Yolu Ulusal Ağ'ında sınıflama yolu olarak tanımlanmış güzergahlar 3.6m genişliğinde ulaşım şeridi gerektirmektedir.
2. Kırsal bölgelerdeki, kısa uzunluklu(150m'den küçük) eğimler, tek-yönlü inişler ve düşük hacimli (<1500 vpd) kırsal kollektörlerdeki eğimler burada sunulan eğim değerlerinden %2 büyük değerlere kadar seçilebilir.
3. 3,3m'lik şeritler kaza oranlarının kabul edilebir olduğu bölgelerde kullanılabilir.
4. 2,7m'lik şeritler tasarım hacimlerinin 250vpd'den düşük olduğu bölgelerde tercih edilmelidir.
5. Yol kenarında bariyerler kullanıldığında en düşük genişlik 1,2m.'dir. Emniyet şeridinin bisiklet ve/veya yaya ulaşımı için kullanıldığı durumlarda 1,2m'lik emniyet şeridi istenmektedir.
6. 60 ile 100km/saat arasındaki hızlarda emniyet şeridi genişliği 1,2m'ye düşürülebilir.

Çizelge 2.15: Şehir içi kollektörler için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2-6: Şehiriçi kollektörler için tasarım ölçütü

Şeritler [1,4]	Genişlik, m	
Ulaşım Şeritleri (kurplu):	En az	İstenen
Yerleşim & Ticari amaçlı	3,0	3,6
Ciddi ROW kısıtlamalarının bulunmadığı endüstriyel bölgeler	3,6	-
Ciddi ROW kısıtlamalarının bulunduğu endüstriyel bölgeler	3,3	-
Düşük hızlı kısımlar içerisindeki bisikletlileri konaklatmak için hazırlanmış duraklama şeritleri veya kurplara yakın geniş ulaşım şeritleri[2]	3,6	4,2
Ulaşım Şeritleri (Kurpsuz)	Bkz. Tablo 2-5	
Dönüş Şeritleri:		
Kamyon hacmi ≤ %2	3,0	3,6
Kamyon hacmi > %2	3,3	3,6
Sürekli medyan sola dönüş şeritleri (kamyon hacmi ≤ %2)	3,0	4,8
Sürekli medyan sola dönüş şeritleri (kamyon hacmi > %2)	3,3	4,8
Duraklama Şeritleri:		
Ticari Amaçlı / Endistriyel	2,4	3,3
Yerleşim	2,1	2,4
Emniyet Şeritleri[2]	**Genişlik, m**	
Kurplu:	En az	İstenen
Ayrılmış şehiriçin kollektörler için sol emniyet şeridi	0	0,3 - 0,6
Bisikletliler [2], arızalar için konaklamaya ve dönüş hareketlerine izin vermeyen sağ emniyet şeridi	0	0,3 - 0,6
Bisikletliler vb. için sağ emniyet şeridi	1,5	-
Bisikletliler vb. ek olarak arızalar ve dönüş hareketleri için sağ emniyet şeridi	1,8	3,0
Kurpsuz: -	Bkz. Tablo 2-5	

Tasarım Hızı (km/saat)	En Büyük Eğim Yüzdesi			En Düşük Durma Görüş Mesafesi, (m)	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %4
	Düz	Yuvarlanan	Dağlık		
50	9	11	12	65	86
60	9	10	12	85	135
70	8	9	11	105	203
80	7	8	10	130	280
90	7	8	10	160	375
100	6	7	9	185	492

Notlar:
1. Köprüler için emniyet şeridinin genişliğinin belirlenmesi için bkz. NYSDOT Köprü Kılavuzu, Bölüm 2
2. Geniş ulaşım şeritleri düşük hızlı(≤ 70km/saat) bölgelerde kullanılmalıdır. Bisikletlilerin konaklaması için bkz. Bölüm 18. New York Trafik Yasa'sının 1230. ve 1236. Bölümlerinde belirtildiği gibi bisikletlilerin hakları ve sorumlulukları sürücülerle aynı olduğunu unutmayınız.
3. Kısa uzunluklu (150m'den küçük) ve tek-yönlü inişlere ait en büyük eğim yüzdeleri %2 arttırılabilir.
4. Ayrılmış Kamyon Ulaşım Yolu Ulusal Ağ'ında sınıflama yolu olarak tanımlanmış güzergahlar 3.6m genişliğinde ulaşım şeridi genişliğinde ulaşım şeridi gerektirmektedir.

Çizelge 2.16: Yerel kırsal yollar için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2- 7: Kırsal yerel yollar için tasarım ölçütü

Tasarım Hızı (km/saat)	Ulaşım Şeridi Genişliği (m) [1] Tasarım Yılı ADT				Dönüş Şeridi (m)		En Büyük Eğim Yüzdesi Arazi			En Düşük Durma Görüş Mesafesi, m	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %6	En Düşük Yarıçap Eğrisi, m e_{max} = %8
	ADT 400'ün altında	ADT 400 ile 1500 arasında	ADT 1500 ile 2000 arasında	ADT 2000'in üzerinde	En az	İstenen	Düz	Yuvarlanan	Dağlık			
30	2,7[2]	3,0[3]	3,3	3,6[4]	3,0	Ulaşım yolu genişliği ile aynı	8	11	16	35	21	20
40	2,7[2]	3,0[3]	3,3	3,6[4]			7	11	15	50	43	41
50	2,7[2]	3,0[3]	3,3	3,6[4]			7	10	14	65	79	73
60	2,7[2]	3,0[3]	3,3	3,6[4]			7	10	13	85	123	113
70	3,0	3,3	3,3	3,6[4]			7	9	12	105	184	168
80	3,0	3,3	3,3	3,6[4]			6	8	10	130	252	229
90	3,3	3,3	3,6[4]	3,6[4]			6	7	10	160	336	304
100	3,3	3,3	3,6[4]	3,6[4]			5	6	-	185	437	394
Emniyet Şeridi Genişliği (m) [1]												
Tüm Hızlar	0,6[5]	1,5[6,7]	1,8	2,4								

Notlar:
1. Köprüler için emniyet şeridinin genişliğinin belirlenmesi için bkz. NYSDOT Köprü Kılavuzu, Bölüm 2
2. Ulaşım yolu olarak sınıflanan ve Ayrılmış Kamyon Ulaşım Yolu Ulusal Ağ'ında sınıflama yolu olarak tanımlanmış güzergahlara en fazla 1.6km uzaklıkta bulunan güzergahlar için en düşük ulaşım şeridi genişliği 3,0m.'dir.
3. Tasarım hacmi 400 ile 600 ADT arasında olan, dağlık arazideki yollar için 2,7m.'lik şeritler kullanılmalıdır (not 2'nin geçerli olduğu durumlar hariç).
4. 3,3m'lik şeritler kaza oranlarının kabul edilebilir olduğu bölgelerde kullanılabilir.
5. Düşük hacimli yollarda yol kenarında bariyerlerin kullanıldığı durumlarda en düşük genişlik 1,2m.'dir.
6. Tasarım hacmi 400 ile 600 ADT arasında olan, dağlık arazideki yollar için 0,6m.'lik emniyet şeritleri kullanılmalıdır.
7. Hızların 60km/saat'ten büyük olduğu durumlarda emniyet şeridi genişliği 1.2m olmalıdır.

Çizelge 2.17: Dönen yollar için tasarım ölçütleri ([81]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Tablo 2-10: Dönen Karayolları için Tasarım Ölçütü

Tasarım Hızı (km/saat)	Emniyet Şeridi [1]		En Büyük Eğim Yüzdesi	En Düşük Durma Görüş Mesafesi (m)	En Düşük Yarıçap (m) (ulaşım yolunun iç kenarından alınan ölçümdür)		
	Sol	Sağ [2]			emax = %4 [3]	emax = %6	emax = %8
15	1,0	2,0	8	15	-	-	-
20	↓	↓	8	20	8	8	7
30	↓	↓	8	35	22	21	20
40	↓	↓	7	50	47	43	41
50	↓	↓	7	65	86	79	73
60	↓	↓	6	85	135	123	113
70	↓	↓	5	105	203	184	168
80	↓	↓	5	130	-	252	229

Notlar:
1. Kurplu dönen şehiriçi yollar için emniyet şeridi gerekmemektedir. 0,6m'lik bir kurp ofseti istenmektedir.
2. 60km/saat'ten büyük tasarım hızlarına sahip direk bağlanan rampalarda sağ emniyet şeridi en az 2.4m olmalıdır.
3. Sadece Serbest-Akış Dönen karayollarındaki eğim kesişimleri için. Bkz. Bölüm 2.7.5.4.B.
4. En düşük yarıçaplar için bkz. AASHTO - A Policy on Geometric Design for Highways and Streets, 2004, Bölüm 9

Çizelge 2.18: Karar Verme Görüş Mesafesi Değerleri ([83]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

KARAR VERME GÖRÜŞ MESAFESİ UZAKLIKLAR FEET CİNSİNDENDİR						
Tasarım Hızı (km/saat)	**Kaçış Manevrası ***					**Tasarım Hızı (km/saat)**
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	
25	175	395	375	445	515	25
30	220	490	450	535	620	30
35	275	590	525	625	720	35
40	330	690	600	715	825	40
45	395	800	675	800	930	45
50	465	910	750	890	1030	50
55	535	1030	865	980	1135	55
60	610	1150	990	1125	1280	60
65	695	1275	1050	1220	1365	65
70	780	1410	1105	1275	1445	70
75	875	1545	1180	1365	1545	75
80	970	4685	1260	1455	1650	80

Kaçış manevraları:

A = Kırsal yolda durma, t = 3.0s

B = Şehiriçi yolda durma, t = 9.1s

C = Kırsal yolda hız/yol/yön değişimi. t 10.2s ile 11.2s arasında değişmektedir.

D = Banliyö yolunda hız/yol/yön değişimi. t 12.1s ile 12.9s arasında değişmektedir.

E = Şehiriçi yolda hız/yol/yön değişimi. t 14.0s ile 14.5s arasında değişmektedir.

2.3.1.4. Ontario Kaya Düşmesi Tehlike Değerlendirme Sistemi (RHRON)

RHRON iyileştirme önceliklerinin belirlenmesi amacıyla RHRS temel alınarak geliştirilmiş bir kaya düşmesi tehlike derecelendirme sistemidir [84]. RHRON'un RHRS'ten farklılıkları ayrıntılı derecelendirme aşamasında 20 adet değişkenin değerlendirilmesi ve tüm değişkenlerin üstel fonksiyonlar kullanılması yerine değeri 0 ile 9 arasında değişen bir derecelendirme sistemi kullanılarak hesaplanmasıdır [84].

Güzergah üzerinde kaya düşmesi beklenen bölgeler için RHRON uygulaması yapılırken RHRS sistemindeki ön değerlendirme aşamasına benzer şekilde "A","B","C" sınıfları altında gruplanmakta (Basit RHRON) ardından "A" grubundaki bölgeler için ayrıntılı derecelendirme (Ayrıntılı RHRON) yapılmaktadır [84].

Basit RHRON: Ayrıntılı derecelendirme aşamasında değerlendirilecek kaya düşmesi bölümleri RHRON çalışmasının bu adımı içerisinde belirlenmektedir. İlgili güzergah bölümü için aşağıda adlandırılan etmenlere ait soruların Çizelge 2.19'da sunulan abak yardımıyla 0 ile 9 arasında değişen sayısal değerler alacak şekilde

cevaplandırılmasının ardından Eşitlik 2.6 kullanılarak Basit RHRON değeri hesaplanmaktadır [84]:

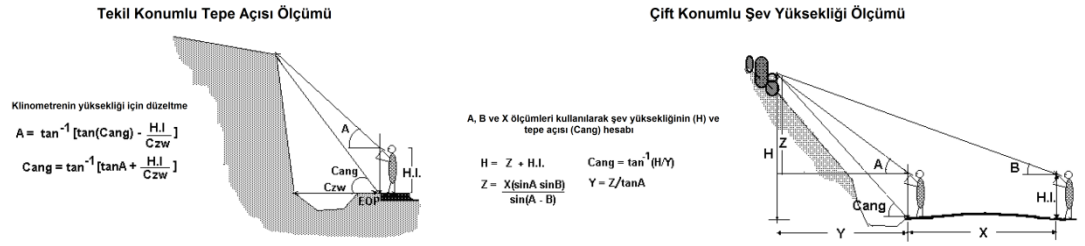
- ***F1 Büyüklük:*** "Ne miktarda kaya düşebilir?"
- ***F2 Duraysızlık:*** "Ne sıklıkta kaya düşebilir?" veya
  "Ne kadar sonra kaya düşebilir?"
- ***F3 Ulaşım:*** "Karayoluna bu kayanın ulaşma şansı nedir?" veya
  "Karayolunun ne kadarı kaya düştüğünde kapanabilir?"
- ***F4 Sonuçlar:*** "Yukarıda tanımlanan şekilde gerçekleşebilecek bir kaya düşmesinin sonuçlarının ciddiyeti ne kadardır?"

Çizelge 2.19: RHRON etmenlerinin derecelendirilmesi ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

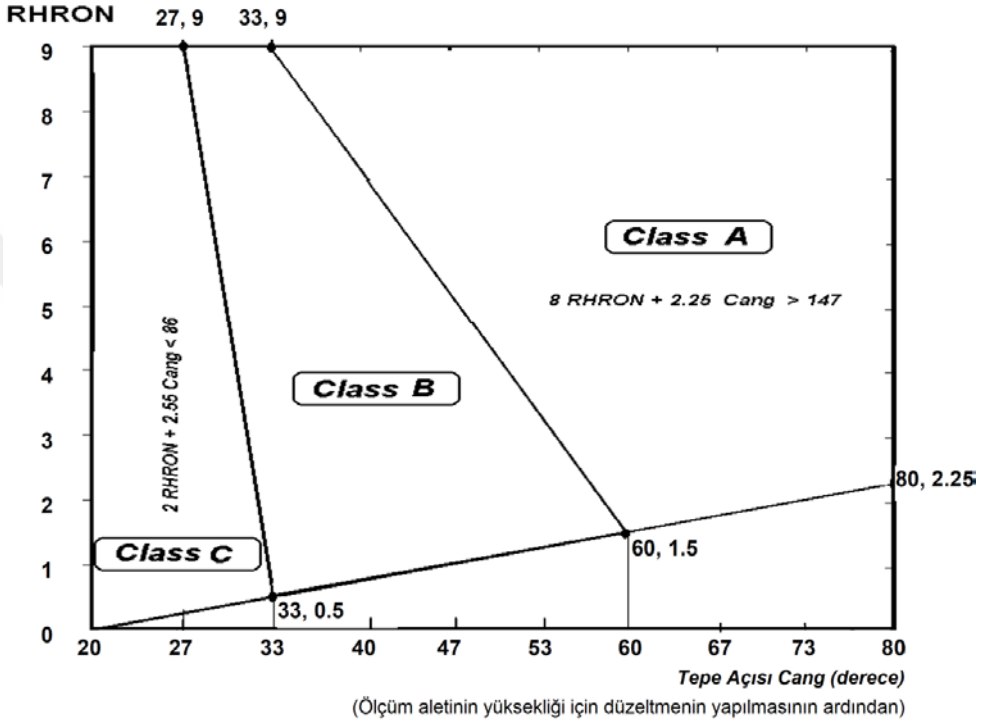
	F1-BÜYÜKLÜK	F2-DURAYSIZLIK	F3-ULAŞIM	F4-SONUÇLAR	
RHRON	Qtot(m^3)	Düşme Frekansı	Tepe Açısı - Cang(°)	$F4_{TD}$-Trafik Yoğunluğu (AADT)	$F4_{VR}$-Karayolu Üzerindeki Kayanın Görünürlüğü
0	1	>100 yıl(düşme şansı çok düşük)	20	0-750	>250m
1	2	50 yıl	27	750-1500	233
2	3	10 yıl	33	1500-3000	217
3	5	5 yıl	40	3000-6000	200
4	8	1yıl	47	6000-11000	183
5	13	6 ay	53	11000-20000	167
6	21	1 ay	60	20000-35000	150
7	36	2 hafta	67	35000-65000	133
8	60	1 hafta	73	65000-110000	117
9	>100	1 gün - Duraysız, toptan yenilme yakın	80(yüksek yüzey, dar emniyet şeridi)	>110000	<100m (çok sınırlı görüş)

$$Basit\ RHRON = \frac{F1 + F2 + F3 + F4}{4} \tag{2.6}$$

İlgili kaya düşmesi bölümü için tepe açısı Şekil 2.11'de sunulan yöntemler kullanılarak belirlenmektedir. Tespit edilen Basit RHRON puanı ve tepe açısı değerleri Şekil 2.12'de sunulan ölçütler yardımı ile değerlendirilerek ilgili kaya düşmesi bölümü için tehlike sınıf A, B veya C olarak belirlenmektedir [84].



Şekil 2.11: Tepe açısı tespit yöntemleri ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).



Şekil 2.12: İlgili kaya düşmesi bölümü için tehlike sınıflaması ölçütleri ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Ayrıntılı RHRON: İlgili kaya düşmesi bölümü için ayrıntılı RHRON puanlaması Çizelge 2.20'de sunulan etmenler için değerleri 0 ile 9 arasında değişen derecelendirme puanları bağlı olunan eşitlikler ve öneriler kullanılarak Çizelge 2.21 ile Çizelge 2.26 arasındaki tabloların yardımıyla hesaplanmaktadır [84].

Çizelge 2.20'de "Remcost" değeri (T20) ilgili kaya düşmesi bölümü içerisinde yürütülmesi önerilen iyileştirme projelerinin birim fiyat üzerinden toplam maliyeti (Costnet) ile değeri 1.5 ile 2.5 arasında değişen "Continge" adlı beklenen ihale fiyatının önerilen iyileştirme projesinin birim fiyatlar üzerinden hesaplanan maliyetine oranını belirten bir katsayı ile çarpılması sonucu elde edilmektedir [84].

Çizelge 2.20'de sunulan bağlı olduğu eşitlik yardımıyla hesaplanan COSTBEN değerleri ilgili kaya düşmesi bölümü için önerilen iyileştirme projesinin maliyet-kazanç oranının ölçütüdür ve bu değerlerin ilgili kaya düşmesi bölümleri için mümkün olduğunca küçük olması beklenmektedir. COSTBEN değerinin hesaplanması için gerekli önerilen iyileştirme projesinin ne kadar başarılı olduğunun bir ölçütü olan "%Remx" değeri ise standart olarak %90 olarak alınmaktadır [84].

Ayrıntılı RHRON ve COSTBEN değerlerinin hesaplanmasının ardından derecelendirme RHRON puanlarının büyükten küçüğe doğru (azalan tehlike miktarına) göre sıralanmasıyla, Remcost değerlerinin (R20) büyükten küçüğe göre sıralanmasıyla (azalan iyileştirme maliyetine) veya COSTBEN değerlerinin küçükten büyüğe doğru (birim maliyet başına azalan kazanç miktarına) göre sıralanmasıyla yapılmakta ve güzergahtan sorumlu ilgili kurumun yöneticilerine karar vermeleri için sunulmaktadır [84].

RHRS ile RHRON arasındaki en büyük farklılık RHRON içerisinde duraysızlıkların sökülme, kayma ve erozyon sınıfları altında ayrı ayrı değerlendirilirken RHRS içerisinde sökülme ile kayma sınıflarını birbirlerinden ayırmadan değerlendirmesidir [73]. Maerz vd. [83] tarafından RHRON ve RHRS sisteminin sınırlamaları aşağıda sunulan şekilde tanımlanmıştır:

- Mevcut sistem düzlemsel, kama ve devrilme tipi yenilmelerin incelenmesinde kolaylıkla kullanılmakta fakat diğer tip yenilmelerin incelenmesinde kullanımı oldukça güç olmaktadır.
- Sadece jeolojik etmenleri dikkate alarak riski olası duraysızlığın sonuçlarını dikkate almadan değerlendiren sistemler mevcuttur.
- Duraylı ve duraysız şevlerin sadece arazi gözlemlerinin yapıldığı kaya mühendislik sistemleri kullanılarak ayırt edilmesi oldukça güçtür.
- RHRON sistemi yüksekliği düşük kaya yarmaları için yeterli duyarlılığa sahip değildir bu nedenle evrensel bir sistem olarak kullanılamaz.
- RHRON içerisinde risk etmenlerinin ve sonuç etmenlerinin bir ayrımı yapılmamaktadır ve ölçümü zaman alan bir çok etmen bulunmaktadır.

Laboratuvar deneylerinin yapılmasını gerektiren etmenler nedeniyle sürecin yürütülmesi için gerekli zaman ve maliyet artmaktadır.

Çizelge 2.20: Ayrıntılı RHRON puanının hesaplanmasında kullanılan etmenler ve ilgili eşitlikler ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

TERMİNOLOJİ (RHRON Sınıflaması ve Eşitlikleri
P = Değişken, tehlikenin seviyesini belirten bir özellik.
V = Ölçüm birimi ile birlikte değişkenin değeri (Örn: metre cinsinden uzunluk).
T = Bir değişken için izin verilen aralıkta tanımlı sınırlanmış değerleri aşmasına izin verilmeyen sınırlanmış değer.
R = Normalizasyonu 0(iyi) ile 9(kötü) arasında bir değer verecek şekilde yapılmış, değerler veya sınırlandırılmış değerlerden türetilen sınıf.
F = Birbiri ile ilişkili sınıfların ortalaması alınarak hesaplanan faktör.

DEĞİŞKEN	SINIRLAMA ARALIĞI & BİRİMLER	DEĞER BELİRLENMESİ	SINIFIN BELİRLENMESİ
P1 Hist Düşmelerin Tarihçesi/kanıtları	R1 [0 - 9]	Sınıf direkt kestirilir	Bakım raporları ve yerinde kanıtlar kullanılarak kestirilir
P2 Qmax En büyük potansiyel düşme	T2 [1 - 10m^3]	Yerinde hacim	R2 = 9[log10(T2)]
P3 Qtot Potansiyel kaya düşmelerinin toplam sayısı	T3 [1 - 100m^3]	Yerinde hacim	R3 = 4,5[log10(T3)]
P4 Firr Yüzey düzensizliği	T4 [0,0 - 2,5m]	Görsel kestirim veya Tablo2.21 kullanılarak kestirim	R4 = 3,6(T4)
P5 Gevşek Yüzey gevşekliği	R5 [0 - 9]	Sınıf direkt kestirilir	Sınıf Tablo2.22 kullanılarak kestirilir
P6 Jop Süreksizlik yönelimi/devamlılığı	R6 [0 - 9]	Sınıf direkt kestirilir	Sınıf Tablo2.23 kullanılarak kestirilir
P7 UCS Tek Eksenli Basınç Dayanımı	T7 [1 - 200MPa]	Tablo 2.24a kullanılarak tek eksenli basınç dayanımı kestirilir	R7 = 9 - [3,911 x $\log_{10}$(T7)]
P8 Phip Makaslama Dayanımı Durum 1: kayma beklenmiyor (R6 < 7)	T8 [20° - 70°]	V8 Tablo 2.24c kullanılarak kestirilir.	R8 = 12,6 - 0,18(T8)
Durum 2: Olası kayma (R6 > 7) (kenetlenme yok)	V8 [5° - 25°] T8 [20° - 25°]	V8 = Φ_b dolgunun Tablo 2.24b'de sunulan mineral bileşimine dayanarak	R8 9 8,5 8 Φ_b< 20° 22° 25°
Durum 3: Olası kayma (R6 > 7) (pürüzlü, ince dolgulu veya ayrışmış yüzeylerde kenetlenme)	T8 [20° - 70°], s_n = 300kPa'ken	V8 = Φ_b + 2JRC/(1+3000/JCS) (birimi kPa) (JRC, JCS, UCS'ten Φ_b Tablo2.24a'da sunulmaktadır.)	R8 = 12,6 - 0,18(T8)
P9 Blok Blok boyutu	T9 [2cm - 2m]	V9 = D_{50} medyan çap değeridir.	R9 = 10,355 - [4,5 x $\log_{10}$(T9)]
P10 Sdur Suda dağılmaya karşı dayanıklılık	V10 [0 - 100%] T10 [0 - 80%]	Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi I_{d2} Tablo2.25 kullanılarak kestirilir. V10 < 70% olarak kestirildiğinde (ISRM, 1981)'de tanımlanan deney kullanılarak kontrol edilmelidir.	R10 = 9 - (0,1125 x T10)
P11 Wtab Su tablası yüksekliği	V11 [0 - 100%]	V11 = 100h/(V12) % % yüzey yüksekliği	R11 = 0,09(V11)
P12 Yükseklik Şev Yüksekliği	T12 [0 - 30m]	Klinometre ölçümleri veya foto ölçümler ile kestirilmeli ve kontrol edilmelidir.	R12 = 0,3(T12)
P13 Cang Tepe Açısı	T13 [20° - 80°]	Bkz. Şekil 2.11	R13 = 0,15(T13) - 3
P14 Czw Temiz bölge genişliği (hendek + emniyet şeridi)	V14 [30 - 120%]	V14 = 100(Czw/Czwd) (%) Czw (m) şerit metre ile ölçülmelidir Czwd = f(AADT,Psl) Tablo 2.26'dan	R14 = 12 - 0,1(V14)
P15 Deff Hendek Etkinliği	V15 [0 - 100%]	V15 = herhangi bir Qmax boyutlu kayacın kaplamaya ulaşma olasılığı (%)	R15 = 0,09(V15)
P16 Ovsp Taşma potansiyeli	V16 [0 - 100%]	Qmax boyutlu olayın kaplama genişliği kadar mesafeye ulaşma olasılı (% cinsinden)	R16 = 0,09(V16)
P17 Avr Ortalama araç riski	V17 [0 - 100%]	V17(%) = (AADT x Σlhaz)/(240 x psl)	R17 = 0,09(T17)
P18 Dsd Karar verme görüş mesafesi	T18 [40 - 120%]	V18 = (SD/DD) x 100% Psl 50 60 70 80 90 100 km/h DD 141 165 193 226 264 308 m	R18 = 13,5 - 0,1125(T18)
P19 Apw Mevcut kaplama genişliği	T19 [6 - 16m]	V19 = ayrılmış karayolu için en yakındaki kapla genişliği, diğer durumlarda tüm kaplama genişliği	R19 = 14,4 - 0,9(T19)
P20 Remcost İyileştirme maliyeti tahmini	T20 [$1000 - $1000000]	V20 = Costnet x Continge	R20 = 3$\log_{10}$(T20) - 9
F1 Büyüklük	F1 (0 - 9)	Sadece sınıf	F1 = [R2+R3+R12]/3
F2 Duraysızlık	F2 (0 - 9)	Sadece sınıf	Sökülme modu F2 = [R1+R9+R11+R4+R5+R6]/6 Kayma modu F2 = [R1+R9+R11+R5+R6+R8]/6 Erozyon modu F2 = [R1+R9+R11+R4+R7+R10]/6
F3 Ulaşım	F3 (0 - 9)	Sadece sınıf	F3 = [R13+R14+(R15+R16)/2]/3
F4 Sonuçlar	F4 (0 - 9)	Sadece sınıf	F4 = [R17+R18+R19]/3
RHRON Ontario Kaya Tehlike Sınıfı			RHRON = (F1+F2+F3+F4)/4
COSTBEN Maliyet-Kazanç sınıflaması			COSTBEN = 100(R20/(RHRON x Remx%))
a) Ana Eşitlik			

Kayan Hacim Kestirimi	Blok: Küp D^3; Küre 4/3pr^3 = 0,523 D^3 2B Kama: (XYZ/2) sin(A-B) 3B Piramit: (XYZ/6) sin(A-B) X=zirve uzunluğu, Y=eğim çizgisinin yamaçtaki uzunluğu, Z=eğim çizgisinin şev aynasındaki uzunluğu, A=şev yüzeyinin eğimi, B=yamacın eğimi
Şeyl erozyonu, dip oyulması oranları (cm/yıl) (Shakoor & Rogers, 1992)	Urate cm/yıl = 8,66 - 0,1717(Sdur) eğer Sdur < 30% Urate cm/yıl = 3,17 - 0,0137(Sdur) eğer Sdur > 30% Urate cm/yıl = 2,10 - 0,0119(Sdur) eğer Sdur < 90%
Maksimovic (1996) tarafından yeniden formüle edilmiş Barton Makaslama Dayanımı Ölçütü	$t=s_n \tan\Phi_p$ $\Phi_p=\Phi_b$ + 2JRC/(1+10σ_n/JCS) Φp=doruk sürtünme açısı; Phip=Φp σ_n = 300kPa'ken t=süreksizlik yüzeyinin makaslama dayanımı (kPa) σ_n=gerilmenin süreksizliğe normal yöndeki bileşeni (kPa)
b) Çeşitli Eşitlikler	

Çizelge 2.21: Kaya yüzeyindeki düzensizliklere (R4) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

R4 Firr Sınıflaması	Patlatma deliklerinin uzunluğu	Yerel pürüzsüz bir yüzey oluşturulması için gerekli ortalama püskürtme beton kalınlığı	En büyük tepe sarkması Ohg / oyuk Uct /fırlatma yapısı LF derinliği
0	100%	< 10 cm	< 0,2 m
1	80%	< 10 cm	< 0,2 m
2	60%	< 10 cm	< 0,2 m
3	40%	< 10 cm	< 0,2 m
4	20%	0 - 10 cm	< 0,2 m
5	< 10%	10 - 20 cm	< 0,5 m
6	< 10%	20 - 30 cm	< 0,5 m
7	< 10%	> 30 cm	0,5 - 1 m
8	< 5%	> 30 cm	1 - 1,5 m
9	< 5%	> 30 cm	1,5 - >2 m

Çizelge 2.22: Kaya yüzeyindeki gevşekliğin (R5) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

R5 GEVŞEK	10m x 10m 'lik bir alanda en büyük açıklığa sahip süreksizlik miktarı	Tipik Açıklıklar	Yüzey Durumu
0-2	1 - 10	0 - 1 mm	Sıkı, sadece makine yardımıyla yontulabilir.
3-5	10 - 30	1 - 5 mm	Orta derecede sıkı, kolaylık makine yardımıyla şev temizliği yapılabilir.
6-7	30 - 50	2 - 15 mm	Çok gevşek, Kolayca el aletleri ile şev temizliği yapılabilir
8-9	>50	>15 - 50 mm	Güvenilmez duraylılık, Temasla yenilme gerçekleşir

Çizelge 2.23: Süreksizlik yönelimi ve devamlılığına (R6) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

R6 JOP	İz Uzunluğu	Şev Yüzeyine Eğim	Şev tacına göre doğrultu
0-2	1-3m	< +20°	> 20°
3-5	3-5m	+20° - +40°	10° - 20°
6-7	5-10m	+40° - +60°	5° - 10°
8-9	>10m	> +60°	0° - 5°
R6 iz uzunluğunun, eğimlerin ve doğrultuların ayrık kestirimlerinin ortalamasıdır			

Çizelge 2.24: Kayanın (R7) ve süreksizlik dolgu malzemesinin (R8) dayanımına ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Jeolojik Malzeme	UCS (kPa)	JCS (kPa)	Φ_b	SAHA TANIMLAMASI (ISRM, 1981)
Çok yumuşak kil	< 25	Uygulanamaz	bkz. Mineraller Tablosu	Çok yumuşak, yüksek plastisiteli
Yumuşak kil	25 - 50	Uygulanamaz	bkz. Mineraller Tablosu	Kolayca baş parmak ile delinebilir
Sıkı kil	50 - 100	Uygulanamaz	bkz. Mineraller Tablosu	Ortalama bir gayretle santimetrelerce delinebilir
Katı kil	100 - 250	Uygulanamaz	bkz. Mineraller Tablosu	Kolayca baş parmak ile oyulabilir fakat delinmesi için büyük gayret
Çok katı kil	250 - 500	5 - 10	bkz. Mineraller Tablosu	Kolayca baş parmak ile oyulabilir
Sert Kil, İleri derece zayıf kaya	500 - 1000	10 - 200	24° - 25°	Baş parmak ile güçlükle oyulabilir
Çok zayıf kaya	1000 - 5000	200 - 2000	25° - 27°	Bıçak yardımı ile soyulabilir, kuvvetli çekiç darbeleriyle ufalanabilir.
Zayıf kaya	5000 - 25000	2000 - 15500	27° - 28°	Bıçak ile soyulması güçtür, jeolog çekicinin kuvvetli darbeleri yüzeyde
Orta derece güçlü kaya	25000 - 50000	15500 - 35500	28° - 29°	Bıçak ile soyulamaz, tek bir çekiç darbesiyle çatlatılabilir.
Güçlü kaya	50000 - 100000	35500 - 80000	29° - 30°	Çatlatmak için birden fazla çekiç darbesi gerektirmektedir.
Çok güçlü kaya	100000 - 250000	80000 - 230000	30° - 31°	Çatlatmak için birçok çekiç darbesi gerekmektedir.
İleri derecede güçlü kaya	>250000	>230000	>31°	Örnek çekiç darbeleriyle sadece yontulabilmektedir.

a) Som Kaya Dayanımı, UCS/JCS ve Temel Sürtünme Açısı, Φ_b

DOLGU MİNERALİ TÜRÜ	Φ_b
Grp = grafit, siyah; Mic = mika, gümüş/siyah	12° - 16°
Clys = kil, smektit(yüksek derecede plastik)	5° - 10°
Clyk = kil, kaolinit(plastik, beyaz)	12° - 15°
Clyi = kil, illit (orta derecede plastik, kahverengi)	16° - 22°
Fe = demir, limonit, paslı veya sarımsı kahverengi	20°
Tal = talk, beyaz, sabunsu	20°
Chl = klorit (yeşil, yumuşak)	20° - 30°
Ser = serisit, gümüşi, parlak	23°
cal = kalsit, beyaz, çizilebilir	24°
py = pirit damarı	25°
mn = manganez, siyah-kahverengi	25°
brc = sert breş, ayrışmış veya yumuşamış yüzeyler	25°
qz = kuvars, sert	25°
Dolgusuz veya az ayrışmış yüzeyler için $\Phi_b = 2{,}5\log_{10}(UCS) + 17{,}5$ (birimi kPa) eşitliği kullanılmalıdır	

b) Süreksizlik Dolgusu Mineralleri için Temel Sürtünme Açısı Φ_b

SÜREKSİZLİK TANIMI	Yaklaşık JRC	Yaklaşık Phip
Kalın ve yumuşak dolgu veya birden çok damar (makaslama zon	0	20°
Kalın ve sert dolgu, kil/grafit	2	25°
Kağıt kadar düz, düzlemsel, cilalanmamış	4	30°
Kağıt kadar düz, biraz dalgalı, kumlu veya dolgusuz	6	35°
Biraz pürüzlü, ince orta derecede güçlü-güçlü dolgular içeren, Örn: biraz kenetlenme kaybının yaşandığı kalsit, klorit	8	40°
Orta derecede pürüzsüz, yapraksı dokulu, dalgalı	10	45°
Orta derecede pürüzlü, kumlu dokulu, dalgalı	12	50°
İri çakıllı dokuya sahip, düzensiz	14	55°
İri testere dişi dokusuna sahip, dalgalı	16	60°
Çok pürüzlü, set dolgular içerebilen, Örn: kuvars	18	65°
Basamaklı ve çentikli, tamamen kenetlenmiş	20	70°
Sadece tehlike sınıflamasında kullanılmak amacıyla: kayma duraylılığı değerlendirmelerinde, makaslama dayanımının belirlenmesinde $\tau = \sigma_n \tan\Phi_p$ eşitliği $\Phi_p = \Phi_b + 2JRC/(1+10\sigma_n/JCS)$ olduğunda kullanılmalıdır.		

c) Süreksizlik Pürüzlülük Katsayısı JRC ve Makaslama Dayanımı Indeksi Phip

Çizelge 2.25: Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksine (R10) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

R10 Sdur	V10 = I_{d2}	Tipik malzemenin ve davranışın tanımlanması
0	>95%	Sert siltli arjilit, duraylı, ıslandığında yumuşamayan. Ayrıca birçok şeylsiz kaya türü
0	80%	Siltli çamurtaşı veya benzeri, orta derecede duraylı
1	71%	1-2 aylık maruz kalmanın ardından biraz tabaka ayrımının gözlemlenmesi
3	53%	1-2 aylık maruz kalmanın ardından dağılma
5	36%	1-2 haftalık maruz kalmanın ardından dağılma
7	18%	1-2 günlük maruz kalmanın ardından dağılma
9	0%	Smektit kil-şeyl, 1-2 saatlik maruz kalmanın ardından dağılmaktadır.
Doğal su muhtevasındaki R10 = 9 - (0,1125 T10) taze örneklerin davranışlarına dayanmaktadır.		

Çizelge 2.26: Temizleme zonu genişliğine (R14) ait puanın tahmininde kullanılan tablo ([84]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Kaya Yarma Yüksekliği 10m'ye kadar olan Czwd değerleri

Psl (km/saat)	70	80	90	100	110	120
AADT	Temiz Bölge Genişliği (m)					
≥ 6000	4	5	6	7	9	10
≥ 1500	3	4	5	6	7	8
< 1500*	3	4	4	5	6	7

Yukarıda sunulan veri Ulaştırma Bakanlığının Karayolu Güvenliği Kılavuz'undan (1993) alınmıştır fakat tasarım hızları yerini geçiş hız sınırları (Psl) almıştır.
* "Düşük Tasarım Değeri" kaya yakalama kapasitesinin sağlanması için değil, kaya ile çarpışmaların en aza indirgenmesi için seçilmiştir.

Kaya Yarma Yüksekliği 10m'den büyük olan Czwd değerleri

Kaya Yarma Yüksekliği	Temiz Bölge
10m ile 12m arası	uygulanabildiğinde 5m ile 6m arası
>12m ile 14m arası	uygulanabildiğinde 6,5m ile 7m arası
>14m ile 16m arası	8,5m
>16m ile 18m arası	10m
>18m ile 20m arası	11m
>20m ile 22m arası	12m
>22m ile 24m arası	13m
>24m ile 26m arası	14m
>26m ile 28m arası	15m

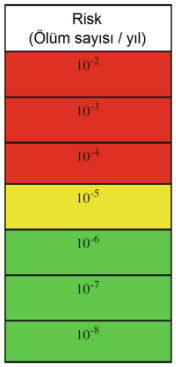
R14 Czw	V14 Temiz Bölge Genişliği	Adlandırma
0	120%	Fazla geniş temiz bölge
2	100%	Tamamen temin bölge
4	80%	Orte derecede temiz bölge
6	60%	Sınırlı temiz bölge
8	40%	Çok sınırlı temiz bölge
9	30%	İleri derecede sınırlı temiz bölge
V14% = 100 x (Czw/Czwd) R14 = 12 - 0,1(V14)		

2.3.1.5. Kaya Düşmesi Risk Yönetim Değerlendirmesi (RO.M.A)

Karayollarında kaya düşmesi sonucu oluşabilecek riski Şekil 2.13'te sunulan eşik risk değerlerini, düşen blokların yörüngelerini ve zarar miktarını dikkate alarak değerlendiren nicel bir risk değerlendirme sistemidir [85]. İlgili sistemin sunulan önceki sistemlerden farkı azaltılan riskin sayısal değerler yardımıyla tanımlanmasını sağlayarak iyileştirme uygulamalarının teknik olarak değerlendirilmesini kolaylaştırması ve uygulamaların tamamlanmasının ardından ortaya çıkan kabul edilebilir artık risk değerlerinin sayısal olarak belirlenmesine olanak sağlamasıdır [85].

Şekil 2.13'te sunulan tabloda aşağıda sunulan üç risk sınıfına ait değer bulunmaktadır:

- ***Kabul edilebilir risk:*** Ek iyileştirme önlemlerinin alınmasına gerek yoktur.
- ***Kabul edilebilir en düşük risk (ALARA):*** Ek iyileştirme önlemlerinin alınması riskin ekonomik ve teknik olarak kabul edilebilir en düşük seviyeye indirgenmesi için gerekmektedir.
- ***Kabul edilemez risk:*** Yüksek riskin düşürülmesi için iyileştirme önlemlerinin alınması gerekli ve kaçınılmazdır.



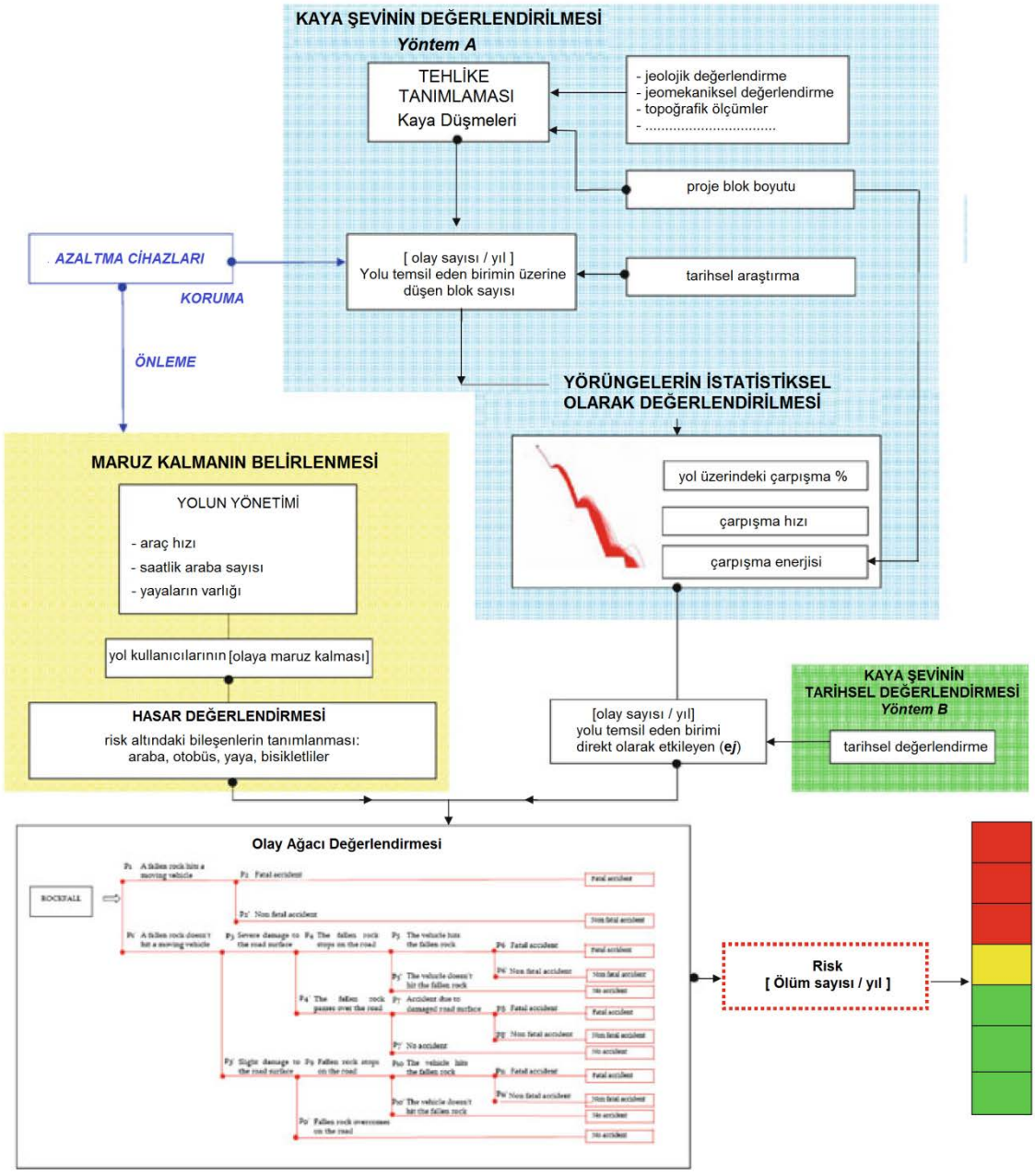
Şekil 2.13: RO.M.A. yaklaşımı eşik risk değerleri, kabul edilebilir değerler yeşil, kabul edilemez değerler kırmızı, kritik değer ise sarı renk ile gösterilmektedir ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

RO.M.A yaklaşımının ilk adımı ilgili karayolu bölümüne(e_j) ait kaya düşmesi frekansının tespitidir. Şekil 2.14'de "Yöntem A" adı altında sunulan jeolojik, jeoteknik, topoğrafik değişkenlerle birlikte yapılan yörünge hesaplamaları sonucu elde edilen hareketleri bloklara ait çarpma hızı, enerji ve karayoluna ulaşan cisim yüzdesi bilgileri birlikte değerlendirilerek veya "Yöntem B" adı altında sunulan ilgili karayolu bölümüne ait bilgilerin bulunduğu bir tarihi gözlem veritabanı kullanılarak tespit edilebilmektedir [85].

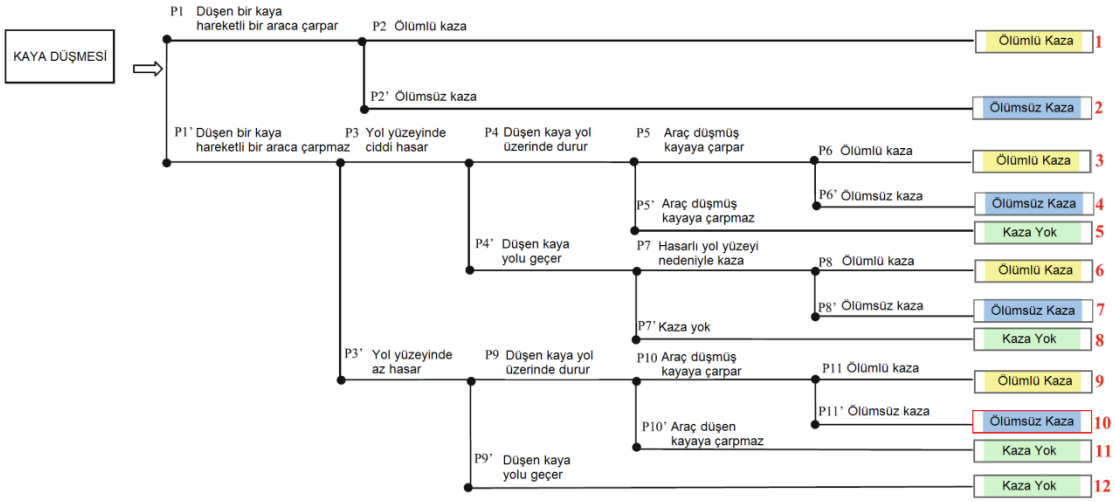
RO.M.A yaklaşımın ikinci adımında ise kaya düşmesi olayının verebileceği zararlar nicel olarak tanımlanmaktadır. Zarar değeri karayolu kullanıcılarının sayısı (Örnek: araç içerisindeki insanlar), trafik hacmi (Örnek: mevsimlik,günlük veya saatlik araç sayısı) ve karayolu yönetimini (Örnek: hız sınırları, geçici yol kapatmaları) ile ilişkilidir [85].

RO.M.A yaklaşımının üçüncü adımında bir başlangıç olayının ardından birbirini takip edecek şekilde meydana gelebilecek makul olayları girdi değişkenlerinin meydana gelme olasılıklarının kombinasyonu olarak tanımlayan olay ağacı

değerlendirme yöntemi yardımıyla ilgili kaya düşmesi-karayolu sistemi üzerindeki kaya düşmesi olayı etkileri Şekil 2.15'te sunulan şekilde yıllık can kayıpları cinsinden tespit edilmektedir [85].



Şekil 2.14: RO.M.A. yaklaşımı süreç akış şeması ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.).



Şekil 2.15: Karayolu üzerinde kaya düşmesi nedeniyle meydana gelebilecek ölümcül bir kaza olasılığına ait olay ağacı değerlendirmesi ([85]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

Olay ağacı değerlendirmesinin sonuçları kaza olmama riski, can kayıpsız kaza riski ve can kayıplı kaza riski olmak üzere üç ayrı sınıf için aşağıda sunulan eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır [85]:

$$Kaza\ Olmama\ Riski = P5 + P8 + P11 + P12 \tag{2.7}$$

$$Can\ Kayıpsız\ Kaza\ Riski = P2 + P4 + P7 + P10 \tag{2.8}$$

$$Can\ Kayıplı\ Kaza\ Riski = P1 + P3 + P6 + P9 \tag{2.9}$$

Eşitlik 2.7, 2.8 ve 2.9 kullanılarak elde edilen risk değerleri Şekil 2.13'te sunulan tablo kullanılarak değerlendirilerek kabul edilemez risk bulunan karayolu kesimleri için koruyucu ve/veya iyileştirme yöntemleri ilgili bölüme ait risk değerini kabul edilebillir seviyeye düşürecek şekilde önerilmektedir [85].

RO.M.A yönteminin faydası kaya düşmesi riskinin diğer mühendislik disiplinleri içerisinde hesaplanan endüstriyel risk değerlendirmeleri, iş güvenliği ve yol trafik riski gibi ölçütlerle karşılaştırılabilecek biçimde sayısal olarak belirlenmesini sağlamasıdır [85]. Yaklaşım ilgili karayoluna ait trafik verisine ve "Yöntem A" içerisinde tanımlanan jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik bilgiye bağımlıdır [85]. Bu yaklaşımın kullanıldığı uygulamalar literatürde mevcuttur [85, 86].

2.3.1.6. Taş ocakları için Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi (ROFRAQ)

ROFRAQ taş ocakları için kaya düşmesi risk değerlendirmesinin yapılabilmesini sağlayan, istatistiksel yöntemlerden faydalanan deneysel bir sistemdir [87]. Açık işletmelerde de kullanılabilen yöntem genellikle madencilik sahalarında kaya düşmesi sonucu meydana gelen kazaların aşağıda sunulan, birbirini takip eden beş olayın gerçekleşmesi sonucu meydana geldiği gözleminden yola çıkılarak geliştirilmiştir [87]:

A. Şev üzerinde yüzeyden ayrılmış bir blok/kaya kütlesi mevcuttur.
B. Blok/kaya kütlesi duraylı durumdadır.
C. Tetikleyici bir olay nedeniyle blok/kaya kütlesi duraysız duruma gelmektedir.
D. Blok/kaya kütlesinin düşüş yörüngesi bir veya birden fazla bloğun işletmenin tabanına ulaşmasını sağlayacak şekildedir.
E. En az bir blok işçi veya makinaya çarpmaktadır.

Yukarıda tanımlanan durumlar esasında ilgili işletme içerisindeki kaya düşmesi riskine etkiyen etmenlerdir. ROFRAQ indeksi A ile E arasında tanımlanan faktörler ile F adı altında tanımlanan, işletmenin kaya düşmesi tarihi kullanılarak elde edilen bir düzeltme faktörü ile birlikte Şekil 2.16'da sunulan tablodaki eşitlikler kullanılarak belirlenmektedir [87]. ROFRAQ işletmenin ilgili bölümü için belirlenen değeri iyileştirme ve güvenlik çalışmalarının ardından güncellenmektedir. Şekil 2.16'da sunulan eşitlik ve A,B,C,D etmenlerine ait değerlerin yardımı ile Basit ROFRAQ değeri hesaplanmakta ve RHRS, RHRON sistemleri kullanılarak elde edilen değerler ile ROFRAQ sistemi kullanılarak elde edilen değerler arasında karşılaştırma yapmak mümkün olmaktadır [87]. D ve E etmenlerinin tespiti için kullanılan şekiller sırasıyla Şekil 2.17 ve Şekil 2.18'de sunulmaktadır.

ROFRAQ sisteminin bir işletme içerisinde uygulanabilmesi için aşağıda sunulan verilere sahip olunması gerekmektedir [87]:

- İşletmeye ait topoğrafik haritalar (Ölçek 1/500 – 1/2000)
- Yıllık kazı planı (bölümlere ait yıllık planlanan kazı miktarı, patlatma miktarı, iş makinaları, vardiya, palye planı ile palye bakımı bilgilerini içerecek şekilde)

- İşletmeye ait meteorolojik veriler (maksimum günlük yağış, 0 C^0 sıcaklığa sahip donsuz gün sayısı)
- ISRM tarafından önerilen yöntemlerle [22, 23] yapılmış süreksizlik ölçümleri verileri

Taş Ocakları İçin Kaya Düşmesi Risk Değerlendirmesi (ROFRAQ)

Taş Ocağı: Şev: Tarih:

DÜŞME POTANSİYELİNE SAHİP BLOKLAR MEVCUT MU?	Süreksizlik takımları (a)		Süreksizlik devamlılığı (b)		Faylar (c)		Gözlenmiş Aşırı patlatma hasarları		Palye temizliği (e)		Şev Üzerindeki bloklar (f)		Şev yüksekliği (g)			A=[[(a*b)+c+d+e+f)/2]^2
	0-1	0,5	<1m	0,6	YOK	0	Ön kesme	-2	Çok düzenli	-3	Birçok	7-10	<25m	0,5		
	2	1	1-3m	0,8	Küçük x 1	0,5	Yarım Fıçı	-0,5	Düzenli	-1	çok	3-7	50m	0,8		0 < A < 10
	3	3	3-10m	1	Büyük x 1	1	Yok	0	Ara sıra	0	Orta derecede	1-3	100m	1		
	4	5	10-20m	1,2	2	1,5	Az	1	Nadiren	1	Az	0,1-1	150m	1,3		
a	>5	7	>20m	1,4	>2	2	Aşırı sökülme	2,5	Çok nadir/ Yok	3	Yok	0,01-0,1	>250m	1,5		

BLOKLAR DURAYSIZLIK POTANSİYELİNE SAHİP Mİ?	JEOTEKNİK ÇALIŞMA + SÜREKSİZLİK VERİLERİNİN YORUMLANMASI + YERİNDE GÖZLEMLER(ŞEVDEKİ YEREL VE GENEL DURAYSIZLIK MEKANİZMALARININ KAYIT EDİLMESİ)									
	Mekanizma türü (gözlemlenen veya kestirilen)						Etkilenen Şev Alanı (%)			
	BASİT	B* (*0,8)	KARMAŞIK	B* (*1,1)	EVRİMSEL	B* (*1,4)		YERİNDE GÖZLEM	JEOTEKNİK ÇALIŞMA	ŞEV TOPUĞUNDAKİ DÜŞMÜŞ BLOKLAR	ORTALAMA (düzeltme B*)Pi
	Düzlemsel Yenilme		Sökülme		Blok devrilmesi						
b	Kama Tipi Yenilme		Birçok blok		Bükülerek devrilme		A				
	Dairesel Yenilme		Serbest bloklar		Taban kayacı şevleri		B				
	B* mekanizma karmaşıklığına bağlı bir düzeltme katsayısıdır.						C				
							D				

Pi'nin etkilenen şev alanı yüzdesine ait düzeltilmiş ortalama olduğu durumda B puanı sunulan eşitlikle hesaplanır: $B = 10 \times \left\{1 - \left[\prod_{i=1}^{n}\left(1 - \frac{P_{ci}}{100}\right)\right]\right\}$ **0 < B <10**

TETİKLEME OLAYLARI DURAYSIZLIKLARA NEDEN OLABİLİR Mİ?	50-yıllık dönüş periyoduna sahip en büyük 24 saatlik yağış (a)		Ortalama 0°C'ta donsuz periyot(gün) (b)		Şevdeki Su Durumu (c)		Bozunma / Erozyon (d)		Patlatma Titreşimi (Belirli Yük) (e)		C=a+b+c+d+e
	<50mm	0,1	>300	0,1	Kuru	0	Taze	0	<250 gr/m³	0,1	
	50-80mm	0,5	250-300	0,4	Nemli	0,1	Az ayrışmış	0,1	250-400 gr/m³	0,5	0 < C < 10
	80-110mm	1,5	200-250	1	Islak	0,3	Ayrışmış	0,3	400-550 gr/m³	1	
c	110-150mm	4	150-200	2	Damlama	0,7	Çok ayrışmış	0,7	550-700 gr/m³	1,5	
	>150mm	6	<150	2,5	Akış	1	İleri der. ayrışmış	1	>700 gr/m³	2	

BLOKLAR MADEN TABANINA ULAŞABİLİR Mİ?	Palye yüksekliği (m) & Palye/Yakalama palyesi genişliği (m)										Genel Şev Eğimi (a)		Palye Durumu & Temizliği (b)		Yüzey Düzensizliği (c)		D=(D$_b$+a+b+c)*d
	5		10		12		15		20								
	BW	D$_b$	BW	D$_b$	BW	D$_b$	BW	D$_b$	BW	D$_b$							0 < D < 10
	<1	10	<1	10	<2	10	< 3	10	<4	10	40°	+2	En uygun	0	Yüksek	+2	Kestirilen bloğun maden tabanına ulaşma olasılığı (Kaya Düşmesi)
	1,5	7	2	9	3	8	4	9	5	9,5	48°	+1	iyi	+0,5	Orta	+0,5	
	2	4	3	6	4	5	5	6	6	7,5	56°	+0,5	Sınırlı	+1	Düşük	0	
d	2,5	1	4	2	5	2,5	6	3	7,5	2,5	60°	0	Yetersiz	+1,5	Ağ / Hendekler (d)		
	>3	0	5	0,2	6	1	7	1	9	0,5	72°	-0,5	Çok yetersiz	+3	Var	0	
			>5,5	0	7 >	0	>8,5	0	10	0	80°	-0			Yok	1	

BLOKLAR İŞÇİLERİ VE MAKİNELERİ ETKİLEYEBİLİR Mİ?	Blok Boyutu (1 düşmüş blok) (a_1)		Kaya hacmi (>1 düşmüş blok) (a_2)		Şev topuğunda makineler / işçiler tarafından geçirilen zaman (%)	İşçiler / makineler tarafından kaplanan bölgenin şev uzunluğuna oranı (%) (c)	Şev topuğuna göre makineler / işçilerin konumları (d)		E_{mach} = (b/100) * (c_{mach}/100)*(a_1 or a_2)*d*10 E_{pers} = (b/100) * (c_{pers}/100)*(a_1 or a_2)*d*10 E=10-[(10-E_{mach})*(10-E_{pers})/10] 0,00025 < E < 10
	<0,001 m³	0,9	<0,01 m³	1		Makine tarafından kaplanan bölgenin şev uzunluğuna oranı (c_{mach})	Çok yakın (x/H < 10 %)	1	
	0,001-0,1 m³	1	0,1-5 m³	1,5	Günler/Yıl Vardiyalar/Gün Saatler/Vardiya şev topuğunda % zaman		Yakın (x/H < 25 %)	0,5	
	0,1-1 m³	1,2	5-50 m³	2		İşçiler tarafından kaplanan bölgenin şev uzunluğuna oranı (c_{pers})	Ortalama (x/H < 50 %)	0,1	
e	>1 m³	1,5	>50 m³	2,5			Uzak (x/H < 100 %)	0,01	
							Çok uzak (x/H > 100 %)	0,001	

f	ŞEV KAYA DÜŞMESİ TARİHÇESİ					
Kayıtlı kaya düşmesi yok	Çok az kaya düşmesi	Veri Yok Yetersiz gözlem	Ara sıra kaya düşmeleri	Birçok kaya düşmesi Kaza yok	Bazı kaya düşmeleri 1 raporlanmış kaza	Sık sık tekrarlanan kaya düşmeleri >1 raporlanmış kaza
0,75	0,9	1	1,1	1,2	1,4	1,5

ROFRAQ = (A x B x C x D x E x F) = **$ROFRAQ_{BASİT}$ = (A x B x C x D) =**

$ROFRAQ_{pers}$ = (A x B x C x D x E_{pers} x F) = **$ROFRAQ_{mach}$=(A x B x C x D x E_{mach} x F) =**

Şev üzerinde kaya düşmesi nedeniyle kaza yaşanma olasılığının kestirimi = ROFRAQ / 100000 =

ROFRAQ sonuçlarına göre şev yüzeylnin öncül değerlendirmesi					
<10	10-25	25-100	100-250	250-1000	> 1000
ÇOK DÜŞÜK RİSK	DÜŞÜK RİSK	DÜŞÜK-ORTALAMA RİSK	ORTALAMA RİSK	YÜKSEK RİSK	ÇOK YÜKSEK RİSK
Özel önleme gerek yok	Basit önlemler gereklidir (sürekli gözlemleri içerecek şekilde)	Bazı basit güvenlik önlemleri gereklidir. Örn: Yağışlı zamanlarda şev altında trafiğin önlenmesi	Önemli güvenlik önlemleri gereklidir. Palyelerin ve yakalama palyelerinin desteklenmesi, temizlenmesi, kontrollü patlatma tekniklerinin uygulanması, vb.	Yüksek tehlikeli yeniden maden planın çizilmesi, yakalama palyelerinin genişletilmesi, yerel olarak yeniden tasarım., vb.	Taş ocağının yeniden tasarımı, ağ uygulamaları, hendek imalatı, vb.

Şekil 2.16: Taşocaklarındaki kaya düşmesinin belirlenmesinde kullanılan ROFRAQ veri sayfası ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.).



ÇOK DÜŞÜK.-Patlatma deliği uzunluğu ile ilişkili yarım fıçıların %80'den fazlası şev yüzeyindedir.

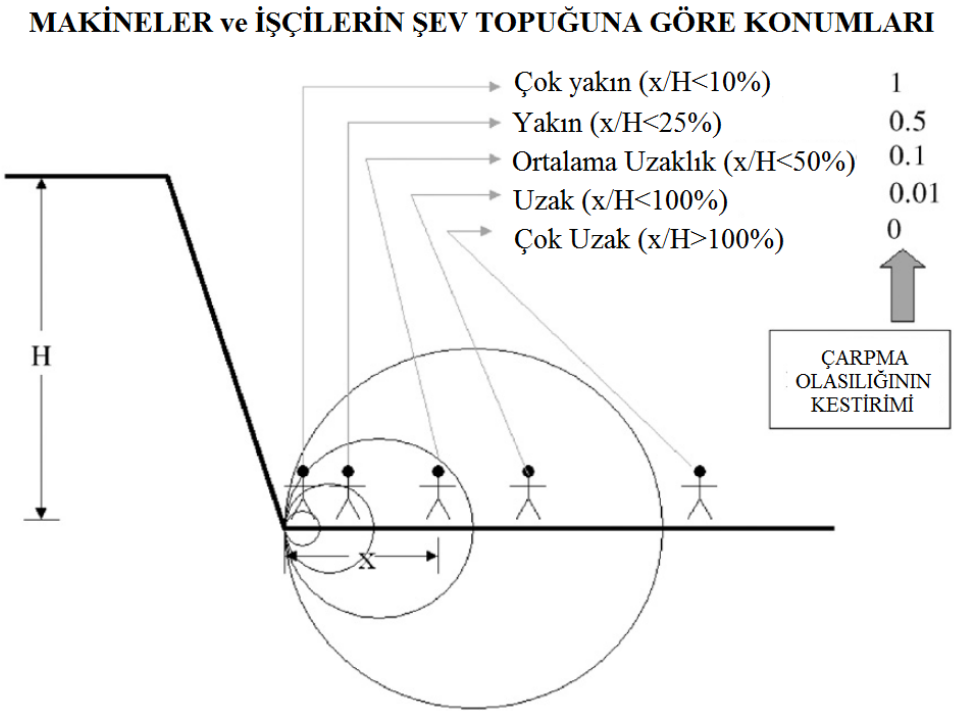
DÜŞÜK.- Yarım fıçıların %40'lık ile %80'lik arasındaki kısmı şev yüzeyindedir.

ORTALAMA.-Yarım fıçıların %10'luk ile %40'lık arasındaki kısmı şev yüzeyindedir. 20 cm kalınlığındaki püskürtme beton uygulaması yerel pürüzsüz bir yüzey elde edilmesi için yeterlidir.

YÜKSEK.- 20 ile 50cm kalınlığında püskürtme beton uygulaması yerel pürüzsüz bir yüzey oluşturulması için gereklidir. Sarkmaların en büyük derinliği 0,5m'dir.

ÇOK YÜKSEK.- Sarkma derinliği 0,5m'den büyüktür.

Şekil 2.17: ROFRAQ sistemi içerisindeki D(c) etmeninin tahmininde kullanılan şekil ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.).



Şekil 2.18: ROFRAQ sistemi içerisindeki E(d) etmeninin hesaplanmasında kullanılan şekil ([87]'den değiştirilerek alınmıştır.).

2.3.2. Hareket Modelleri

Kaya düşmesi olayı nedeniyle şev üzerinde hareketlenmiş, düşmekte olan bloğun yörüngesinin, hızının, sıçrama yüksekliğinin, sahip olduğu enerjinin ve mekansal dağılımının bilinmesi belirli bir bölge için duyarlılığın tanımlanmasını veya tehlike tanımlanmasının tamamlanmasını sağlaması nedeniyle önemlidir [12]. Mevcut hareket modelleri hesaplama yapabildikleri konumsal boyut sayısına göre sırasıyla iki boyutlu (2D) hareket modelleri, iki buçuk boyutlu (2.5D) hareket modelleri ve üç boyutlu hareket modelleri olmak üzere üç ayrı grupta sınıflandırılmaktadır [12; 88]. Bu yaklaşımların tümünün amacı hareketli bloğun ağırlık merkezinin üzerinde hareket ettiği uzay eğrisinin (blok yörüngesi) zamana bağlı bir şekilde (x(t), y(t), z(t)) kartezyen koordinat sistemi içerisinde tanımlanmasını sağlamaktır [88].

İki boyutlu (2D) hareket modelleri kendi içerisinde "yatay (2D) iki boyutlu hareket modelleri" ve "düşey iki boyutlu hareket modelleri" olarak sınıflanmaktadır [88]. Yatay 2D hareket modelleri bloğun şev yüzeyinden ayrılmadan şev yüzeyi boyunca şev aşağı yönde kaydığı kabulüyle bloğun yatay düzlem üzerindeki konumunu zaman bağlı olarak(x(t), y(t)) hesaplayıp düşey düzlemdeki konumu ise anlık şev yüksekliğini kullanarak (z(x,y)) belirleyen modellerdir [88]. Genellikle bu tip modeller topoğrafik ve hidrojeolojik yaklaşımlar yardımıyla hareketli blokların hızlarının ve yayılma mesafelerini hesaplayabilmektedir [12]. Meissl'in 1998 yılında sunduğu çalışma [89] ilgili model tipinin kullanıldığı bir uygulama örneğidir [12]. Düşey 2D hareket modelleri ise harita üzerinde katedilen mesafe miktarına (s) bağlı olarak önceden tanımlanmış bir (x(s),y(s)) yol üzerinde, bloğun şev yüzeyinden ayrılarak şev yüzeyi üzerinde serbest düşme hareketi yaptığı kabulüyle yörüngeyi zamana bağlı olarak katedilen mesafe ile yükseklik cinsinden (s(t),z(t)) hesaplayan modellerdir [88]. Hareketli bloğun yörüngesini düşey tek bir düzlem içerisinde (genellikle en yüksek eğimlere sahip düzlem şeçilmektedir) hesaplayan düşey 2D hareket modelleri kaya düşmelerinin incelenmesinde kullanılan modellerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır [12].

İki buçuk (2.5D) boyutlu hareket modelleri bloğun yataydaki (x,y) hareketini yatay iki boyutlu hareket modeli kullanarak ve böylece şev kesitinin yönelimini belirleyerek düşeydeki hareketini ise yönelimi belirlenen şev kesiti üzerinde düşey iki boyutlu hareket modeli kullanarak hesaplayan modellerdir [88]. Coğrafi Bilgi Sistemi yardımıyla oluşturulmuş önceden tanımlı düşüş yolları (üzerinde hareketin

incelendiği şev kesiti birden fazla düşey düzlemden oluşmaktadır) üzerinde ilgili şev kesitinin alındığı düzlem içerisinde düşeyde ve yatayda hesaplama yapan (2.5D) hareket modelleri esasında bloğun yatay düzlemdeki hareketini düşey düzlemdeki hareketinden bağımsız olarak hesaplamaktadır [12]. Şev kesitini sayısal arazi modeli üzerindeki en yüksek eğim değerlerini takip edecek şekilde belirleyerek hareketli bloğa ait yörünge hesaplamalarını yapan Rocky3 modeli böylesi modellere bir örnektir [12].

Üç boyutlu (3D) hareket modelleri hareketli bloğun yaptığı ötelenme ve dönüş hareketini zamana bağlı kartezyen koordinat sistemi içerisinde hesaplayan (x(t), y(t), z(t)) modellerdir [88]. Hareketli bloğun yatay düzlem içerisinde yaptığı hareket 2.5D hareket modellerindekinin aksine düşey düzlem içerisinde yapılan hareket ile ilişkilidir [12].

Literatürde tanımlı yeryüzeyi üzerinde gerçekleşen kaya düşmesi olaylarının incelenmesinde kullanılan hareket modellerine ait özellikler Çizelge 2.27'de sunulmaktadır. İlgili tabloda görüldüğü gibi hareket modelleri farklı yaklaşımlar kullanarak, farklı kabuller ile farklı ortamlarda gerçekleşebilecek kaya düşmesi olaylarını canlandırabilmektedir. Öbek kütle yaklaşımı kullanan hareket modellerinde hareketli blok klasik dinamik bilimi tarafından "parçacık" olarak tanımlanmakta ve sadece belirli bir kütleye sahip bir nokta olduğu [90], açısal hıza sahip olmadığı kabul edilmektedir [91]. Bir başka deyişle model içerisinde hareketli blok kütlesi ve ötelenme hız vektörü kullanılarak tanımlanmaktadır [88, 17]. Ayrıca bloğun yaptığı hareket boyunca hava sürtünmesinden etkilenmediği kabul edilmektedir. Rijit-cisim yaklaşımında ise hareketli bloğun açısal hızı ve şekli dikkate alınarak ilgili hesaplamalar yapılmaktadır [90]. Bu tip modellerde hareketli kaya bloğu geometrisi, kütlesi, blok geometrisi içerisinde tanımlanan ağırlık merkezinin konumu, eylemsizlik tensörü, bloğun konumu, ötelenme ve açısal hızları kullanılarak tanımlanmaktadır [88, 17]. Bu iki yörünge hesaplama yaklaşımı dışında "hibrit yaklaşım" adı verilen kaya bloğunun hareketli olduğu yörünge üzerindeki yaptığı serbest düşme hareketinin öbek kütle yaklaşımı kullanılarak; yuvarlanma, çarpma ve sıçrama hareketlerinin rijit cisim yaklaşımı kullanılarak hesaplandığı bir yöntem çeşitli hareket modelleri tarafından kullanılmaktadır [12].

Öbek kütle yaklaşımı kullanılarak bloğun ağırlık merkezinin zamana bağlı olarak nereye hareket edeceği hesaplanabilmesine rağmen, bloğun hangi köşesinin şev

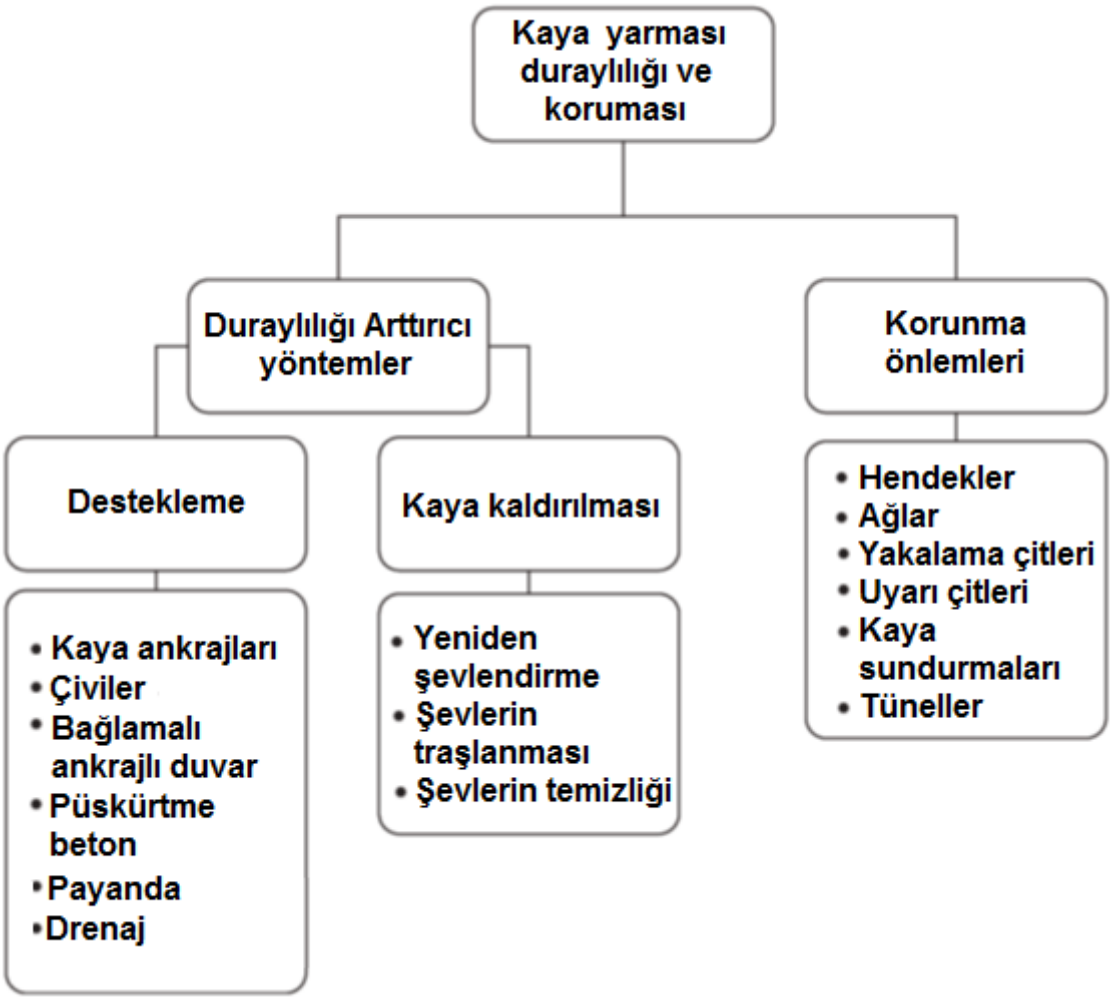
yüzeyine ilk olarak temas edeceği belirlenememektedir [90]. Bir başka deyişle öbek-kütle yaklaşımı yardımıyla bloğun hareketi hakkında bir bilgi edinilebilmesine rağmen bloğun davranışı ayrıntılı olarak tanımlanamamaktadır.

Çizelge 2.27: Literatürde tanımlı yeryüzeyi üzerinde kaya düşmesi olaylarının incelenmesinde kullanılan hareket modellerine ait özellikler

Model / Program Adı	Atıf / Tarih	İncelenen Mekansal Boyut	Yaklaşım	Olasılıksal Yöntem Kullanılılıyor mu?	Bitki Örtüsü Etkisi Dikkate Alınıyor mu?	Hareketin İncelendiği Ortam
Adı Yok	(Ritchie, 1963) [92]	2B (Şev kesiti)	Öbek Kütle	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
Adı Yok	(Azimi vd., 1982) [93]	2B (Şev kesiti)	Öbek Kütle	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
Adı Yok	(Falcetta, 1985) [94]	2B (Şev kesiti)	Rijit Cisim	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
Adı Yok	(Paronuzzi, 1989) [95]	2B (Şev kesiti)	Hibrit	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
Adı Yok	(Hungr ve Evans, 1988) [28]	2B (Şev kesiti)	Öbek kütle	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
Adı Yok	(Kobayashi, 1990) [95]	2B (Şev kesiti)	Rijit Cisim	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
CADMA	(Azzoni vd., 1995) [96]	2B (Şev kesiti)	Hibrit (???)	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
CRSP 3D	(Andrew vs., 2012) [97]	3B (x, y, z)	DEM	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
EBOUL-LMR	(Descoeudres ve Zimmermann, 1987) [98]	3B (x, y, z)	Rijit Cisim	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
GEOFALL	(Ashfield, 2001) [99]	2B(Şev Kesiti)	Rijit Cisim	???	Hayır	Yeryüzeyi
GEOROCK 2D GEOROCK 3D	GEOROCK 2D Manual [100] GEOROCK 3D Manual [101]	2B(Şev Kesiti) 3B(x, y, z)	(Öbek kütle, CRSP 4.0) (Öbek Kütle)	Evet (2B) Hayır (3B)	Hayır (2B) Hayır (3B)	Yeryüzeyi (2B) Yeryüzeyi (3B)
HY-STONE	(Crosta vd., 2004) [102] (Frattini vd., 2008) [36] (Agliardi vd., 2009) [103]	3B (x, y, z)	Hibrit, CRSP 4.0 ve CADMA	Evet	Evet	Yeryüzeyi
MOBY-ROCK	(Paronuzzi ve Artini, 1999) [104] (Paronuzzi, 2009) [105] (Paronuzzi, 2009) [106]	2B	Öbek Kütle	???	???	Yeryüzeyi
NU-ROCK	(Spadari vd., 2013) [20]	2B	Hibrit (CRSP 4.0 ve Rocfall)	???	???	Yeryüzeyi
PICUS-ROCKnROLL	(Woltjer vd., 2008) [107] (Rammer vd., 2007) [108] (Rammer vd., 2010) [109]	3B (x, y, z)	Öbek Kütle	Evet	Evet	Yeryüzeyi
PIERRE 2D	(Mitchell, 2015) [17]	2B (Şev Kesiti)	Öbek-Kütle	Evet	???	Yeryüzeyi
PIERRE 3D	(Gischig vd., 2015) [110]	3B (x, y, z)	Öbek-Kütle			
PiR3D	(Cottaz vd., 2010) [111]	3B (x, y, z)	Öbek Kütle	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
PROPAG/CETE Lyon	(Rochet, 1987) [112]	2B	Öbek Kütle	Hayır	Hayır	Yeryüzeyi
RAMMS::Rockfall	(Leine vd., 2014) [88] (Glover, 2015) [35]	3B (x, y, z)	Rijit Kütle	Evet	Evet	Yeryüzeyi
RocFall	(Stevens, 1998) [113] (Ashayer, 2007) [15]	2B (Şev Kesiti)	Öbek-Kütle	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
RocFall Analyst	(Lan vd., 2007) [114]	3B (x, y, z)	Öbek-Kütle	Kısmen	Hayır	Yeryüzeyi
Rocfall (Dr.Spang)	(Spang ve Sönser, 1995) [4]	2B	Hibrit	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
RocPro3D	RocPro3D Manual [115]	3B (x, y, z)	Hibrit	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
ROCKSIM	(Wu, 1985) [116]	2B	Öbek-Kütle Yaklaşımı	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
Rocky_	(Dorren ve Seijmonsbergen, 2003) [5]	2.5B (yatayda yönelimi değişen şev kesiti)	ROCKY1 ??? ROCKY2 ??? ROCKY3 (Hibrit)		Evet	Yeryüzeyi
RockyFor	(Dorren vd., 2004) [6] (Dorren vd., 2006) [117] (Bourrier vd., 2009a) [118]	3B(x, y, z)	Hibrit	Evet	Evet	Yeryüzeyi
RockyFor3D	RockyFor3D(v.5.2) manual (Dorren, 2016) [16]	3B (x, y, z)	Hibrit	Evet	Evet	
ROTOMAP	ROTOMAP Manual [14]	3B (x, y, z)	Öbek Kütle	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
SASS	(Bozzolo ve Pamini, 1986) [120]	2B (şev kesiti)	Hibrit	Evet	Hayır	Yeryüzeyi
STONE	(Guzzetti vd., 2002) [121]	3B (x, y, z)	Öbek Kütle	Evet	Hayır	Yeryüzeyi

2.4. İyileştirme Yöntemleri

Kaya düşmesi tehlikesi nedeniyle riskin yüksek olduğu bölgelerde riskin düşürülmesi için kullanılan iyileştirme yöntemleri Şekil 2.19'da sunulan şekilde sınıflandırılmaktadır.



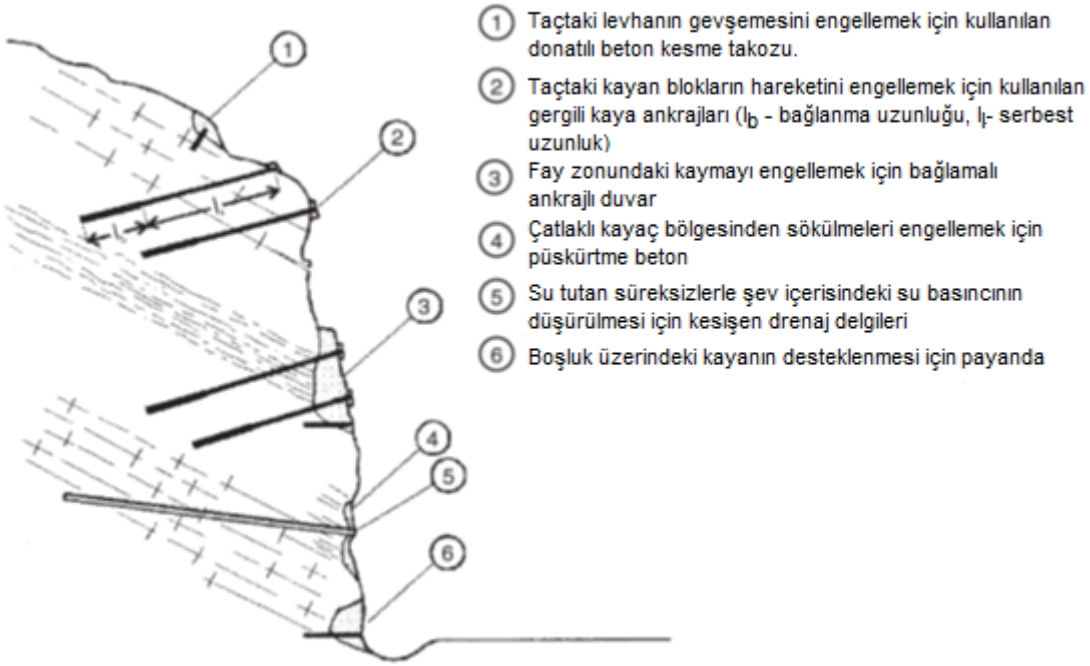
Şekil 2.19: Kaya şevlerinde kullanılan iyileştirme önlemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.).

2.4.1. Duraylılığı Arttırıcı Yöntemler

Şevin duraylılığını arttırmak için kullanılan yöntemlerin amacı kaya düşmesi olayının kaynak bölgesindeki malzemenin hareketini engelleyecek önlemler alarak sorunun gerçekleşmesini önlemektir. Duraylılığı arttırıcı yöntemler destekleme yöntemleri ve kaya uzaklaştırma yöntemleri olmak üzere iki ayrı grup altında sınıflanmaktadır [122].

2.4.1.1. Destekleme Yöntemleri

Destekleme yöntemlerinin kaya şevi üzerindeki uygulamaları Şekil 2.20'de sunulmaktadır [122].



Şekil 2.20: Kaya şevi destekleme yöntemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.).

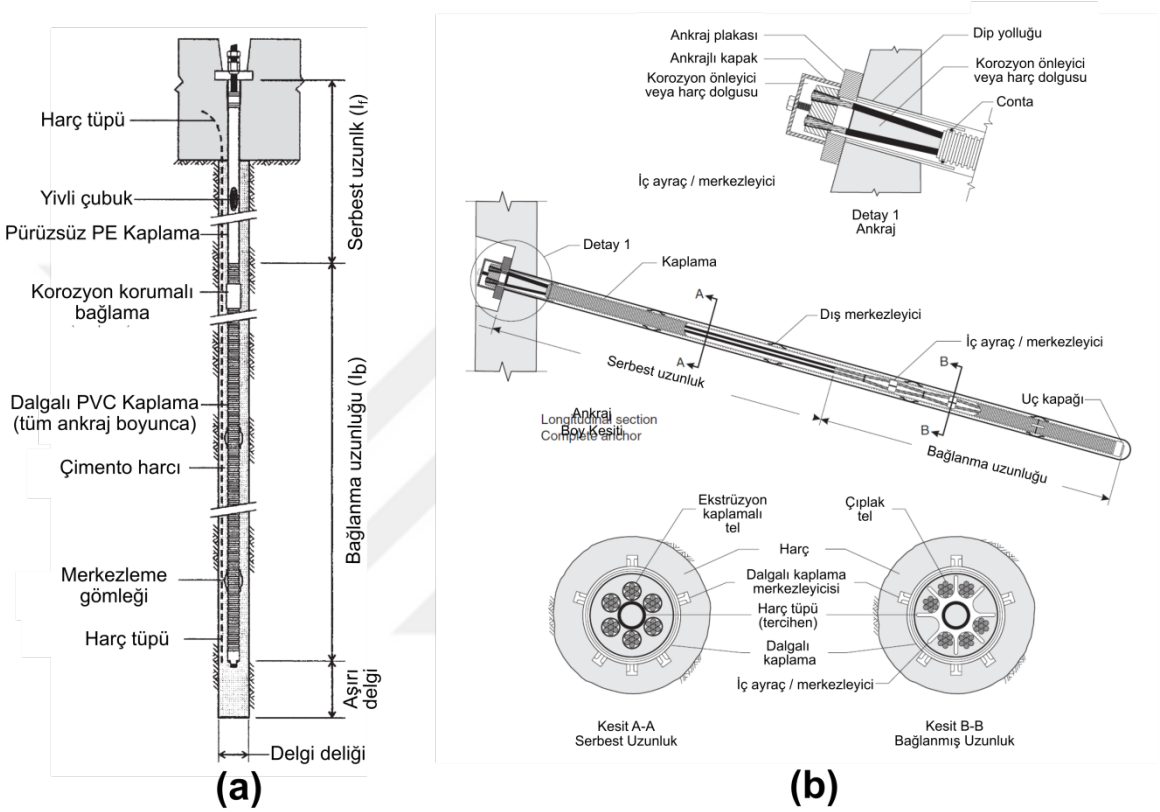
2.4.1.1.1. Kesme Takozları

Kesme takozları şev doruğundaki, kalınlığı 1 metreye kadar olan, sık süreksizliklere sahip, gevşek ve ayrışmış kaya kütlesinin sökülmesini önlemek amacıyla uygulanan bir destekleme yöntemidir [122]. Sökülme sonucu kaya ankrajının kafasının taşıyıcı özelliğini kaybedebileceği durumlarda tercih edilmelidir [122].

Kesme takozları çapı 25-32 mm arasında değişen, yaklaşık 1000m uzunluğundaki çelik çubukların som kaya içerisindeki delgi uzunluğu 500 ile 750mm arasında değişen tamamı harç dolgulu, istenen destek miktarına bağlı olarak şev yüzeyi üzerinde farklı desenlere sahip olacak şekilde açılan deliklere belirli bi kısmı şev yüzeyi üzerinde kalacak şekilde sürülmesi; çapı 6 ile 8 mm arasında değişen çelik çubukların şev yüzeyine ve şev içerisine sürülen çubuklara temas edecek şekilde yatay olarak şev yüzeyi üzerinde konumlandırması ve şev üzerinde açıkta kalan çelik bileşenlerin püskürtme beton uygulaması veya beton döküm uygulaması yardımıyla örtülmesiyle imal edilmektedir [122].

2.4.1.1.2. Kaya Ankrajları

Kaya ankrajları şev dışına eğimli süreksizlikler nedeniyle oluşan kaya kamalarının veya blokların yapacakları kayma hareketini önlemek amacıyla rijit çubuklar veya esnek kablolar kullanılarak uygulanan bir destekleme yöntemidir [122]. Ankraj gövdesinin rijit bir çubuk(a) veya esnek bir halat olduğu (b) durumu gösterir kesitler Şekil 2.21'de sunulmaktadır [122].



Şekil 2.21: Ankraj gövdesinin (a) rijit bir çubuk olduğu ve (b) esnek bir halat olduğu durum ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Şev yüzeyi üzerinde kaya ankrajı imalatı gergisiz veya gergili olarak yapılabilmektedir [122]. Gergisiz imalatlarda şev yüzeyi üzerinde belirli bir desene uygun olarak delgisi tamamlanarak açılmış deliklere ankraj gövdesini oluşturan rijit bir çubuk veya esnek bir halat konularak delik ile ankraj gövdesi arasında kalan delgi boşluğunun tamamı harç ile doldurulmaktadır. Harcın donmasının ardından ankraj gövdesinin şev yüzeyi üzerindeki, delik dışında kalan kısmına bir somun yardımıyla üzerinde tek bir delik bulunan çelik plaka sabitlenerek gergisiz ankraj imalatı tamamlanmaktadır. Gergili imalatlarda ise ankraj gövdesinin içerisinde durduğu delik delgi uzunluğu boyunca doldurulmak yerine delginin dolgusu

delginin süreksizlik düzlemi arkasında kalan belirli bir kısmı doldurulacak şekilde yapılmaktadır. Harcın delik içerisinde donmasının ardından ankraj plakası montajı tamamlanmakta ve belirlenen gerilme değeri sürekli olarak ankraj gövdesi üzerinde taşınacak şekilde ankraj kafasındaki somun hidrolik makineler kullanılarak sıkılmaktadır.

Gergisiz kaya ankrajları uygulandıkları kaya kütlesi içerisinde herhangi bir yer değiştirme olmadan çalışmaya (yük taşımaya) başlamamaktadır. Gergisiz kaya ankrajlarının esas kullanım amacı kaya kütleleri içerisindeki süreksizlikler üzerinde gelişen hareketleri rijit yapısı yardımıyla durdurarak kaya kütlesi içerisindeki kenetlenme kaybının önlenmesidir [122]. Geçici kazılarda destekleme veya kalıcı kazılarda ön destekleme amaçlı kullanılabilmektedirler. Kaya düşmesi yaşanabilecek bir bölgede iyileştirme amaçlı yapılacak imalatlarda esas destekleme sisteminin imalatının yapılacağı iş güvenliği açısından riskli bölgelerde imalat bölgesinin güvenliğinin imalat süresi boyunca sağlanması için ön destekleme amaçlı kullanılmaları uygundur.

Gergili kaya ankrajları ise uygulamalarının tamamlanmasının ardından çalışmaya başlamaktadırlar. Gergili kaya ankrajlarının esas kullanım amacı üzerlerinde taşıdıkları gerilmenin ankraj plakası yardımıyla kaya kütlesine aktararak kaya kütlesinin sıkışmasını sağlamak ve buna bağlı olarak kaya kütlesi içerisindeki süreksizlik düzleminde bulunan normal ve kesme gerilmelerini değiştirmektir [122]. Blokların önceden hareket ettiği ve gevşediği durumlarda daha sonra gerçekleşecek yer değiştirmeleri ve kenetlenme kayıplarını önlemek amacıyla kullanılmalıdırlar [122].

2.4.1.1.3. Bağlamalı Ankrajlı Duvar

Gergili kaya ankrajlarının tek başına kullanılması sonucu ankraj plakasını altındaki kaya kütlesinin sökülebileceği veya çözünebileceği durumlarda çatlaklı kaya kütlesini örtecek şekilde bağlamalı ankrajlı duvar uygulamasının Şekil 2.20'de sunulan şekilde yapılması uygundur [122]. Çatlaklı kaya kütlesini örtecek şekilde üzerinde gergili ankrajlar için yapılacak delginin tamamlanmasını sağlayacak gömlekler içeren donatılı bir duvarın şev yüzeyi üzerinde imal edilmesiyle bağlamalı ankrajlı duvar imalatının ilk aşaması tamamlanmaktadır. Ardından duvar üzerindeki gömlekler kullanılarak ankraj delgileri yapılmaktadır. Delgilerin tamamlanmasının ardından ankraj gövdesi deliğe indirilerek ankrajın dolgusu

yapılmaktadır. Dolgunun donmasının ardından donatılı duvar yüzeyine temas edecek şekilde ankraj plakalarının montajı yapılmakta ve istenilen gerilme ankraja yüklenerek bağlantılı ankrajlı duvar imalatı tamamlanmaktadır [122]. Sistem içerisindeki donatılı duvarın drenaj deliklerine sahip olması ve ankraj plakaları nedeniyle üzerinde oluşacak yükler nedeniyle yenilmeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir [122].

2.4.1.1.4. Püskürtme Beton

Püskürtme beton ince taneli agrega içeren harcın şev yüzeyine basınçlı hava yardımıyla püskürtülerek kalınlığı 50 ile 100mm arasında değişen katmanlar oluşturacak şekilde uygulandığı, genellikle uygulanan katmanın çekme ve kesme dayanımını artırmak amacıyla desteklendiği destekleme yöntemidir [122]. Püskürtme beton katmanının desteklenmesi uygulama sırasında şev yüzeyine çelik pimler kullanılarak sabitlenen, çapı yaklaşık 3.5mm olan, çelik çubukların birbirlerine dik bir şekilde bir düzlem içerisinde kaynaklanmasıyla üretilen hasır çelik kullanılarak veya çelik veya polipropilen kullanılarak üretilen liflerin püskürtülen harca katılmasıyla mümkün olmaktadır [122]. Hasır çeliğin kullanıldığı durumlarda şev yüzeyi ile püskürtme beton katmanı arasında boşluk kalmayacak şekilde uygulama yapılması gerekmektedir. Temasın zor sağlanabildiği düzensiz yüzeylerle karşılaşılaşılan durumlarda hasır çelik iki kat püskürtme beton arasında kalacak şekilde, hasır çelik şev yüzeyine sabitlenmeden ve hasır çeliğin şev yüzeyine sabitlenmesi tamamlandıktan sonra toplamda iki kez olmak üzere püskürtme beton şev yüzeyine uygulanmalıdır [122]. Liflerin kullanıldığı durumlarda ise çelik liflerin kullanımı düşük ayrışma dirençleri ve şev yüzeyinde temasta insana zarar verme olasılığı yüksek bir doku oluşturmaları nedeniyle sorun oluşturmaktadır [122]. Bu nedenle lifli püskürtme beton uygulamalarında polipropilen lifler tercih edilmelidir [122].

Sık süreksizlikler içeren veya kolay ayrışabilen kaya kütlelerinden oluşan tabakalar veya bölgeler üzerinde yapılan püskürtme beton uygulamasıyla birimin atmosfer ile teması kesilmekte, birim içerisindeki ayrışma yavaşlamakta, böylece küçük blokların düşmesi ile sonunda asılı duraysız kayaçların oluşmasına neden olan zaman ile artan sökülme engellenmektedir [122]. Kaymaya karşı verdiği destek oldukça küçük olan püskürtme beton yönteminin esas amacı yüzey sökülmelerinin ve buna bağlı aşınmanın önlenmesidir [122].

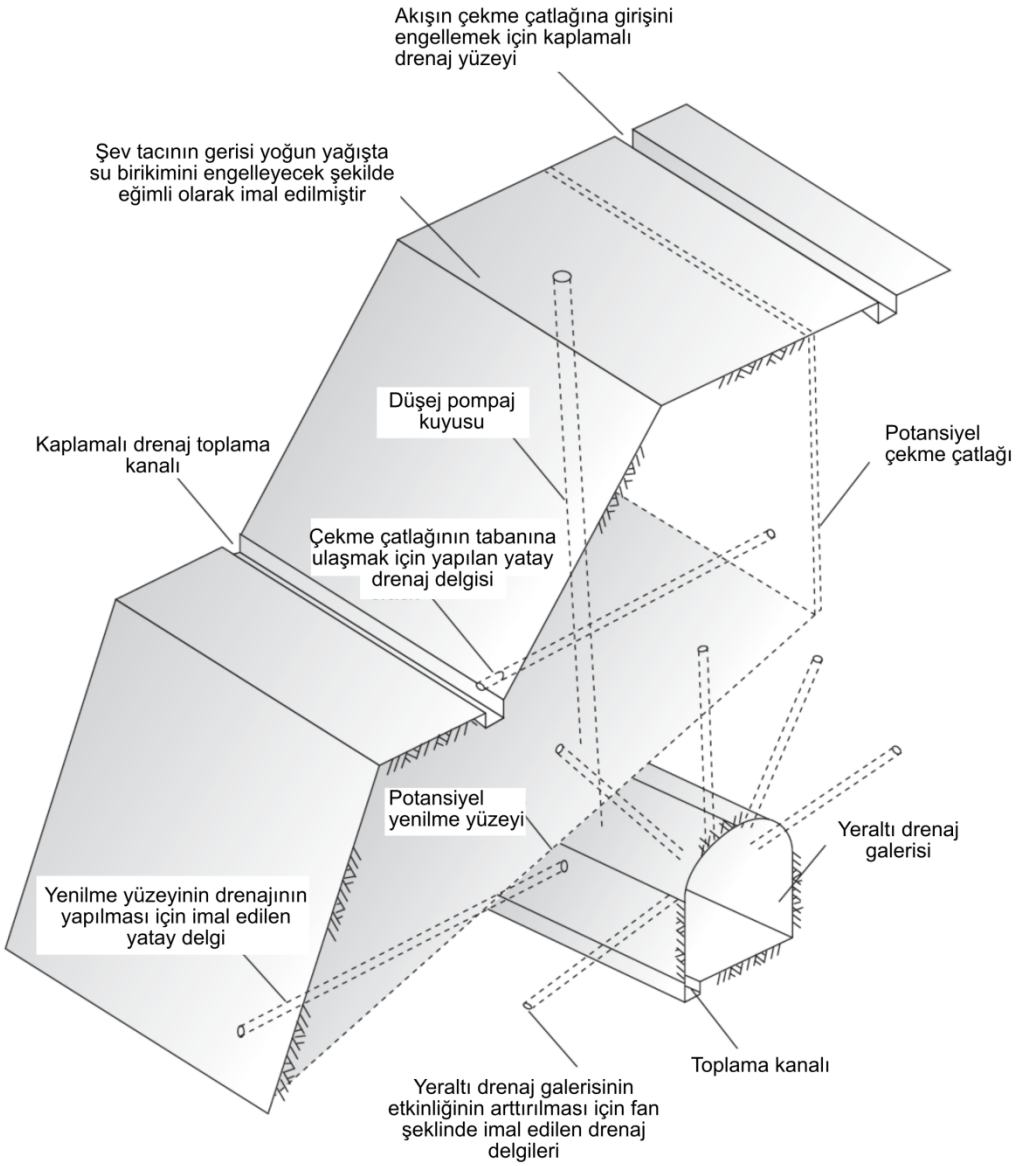
2.4.1.1.5. Drenaj

Şevlerde görülen duraysızlıkların birincil nedeni olan yeraltı suyunun şevden uzaklaştırılması ve şev içerisindeki su basıncının düşürülmesi yüzey süzülmesinin sınırlandırılması, drenaj deliklerinin açılması veya şev topuğuna yakın bölgede drenaj galerilerinin açılması ile mümkün olmaktadır [122].

Drenaj kanalları Şekil 2.22'de sunulan şekilde şev tepesinin arkasında, olası çekme çatlağının ardında kalacak ve çekme çatlağına yağış nedeniyle ulaşabilecek akışı engelleme amacıyla; palye diplerinde palye yüzeyinde su birikmesini ve burada gerçekleşebilecek süzülmeyi engellemek amacıyla yüzeyi beton ile kaplanmış şekilde imal edilmelidirler [122]. Gerekirse kanal içerisindeki akış hızını sınırlayacak yapılar ile birlikte drenaj kanallarının imalatı tamamlanmalıdır [122]. Ayrıca yağışın bol olduğu ve bitki örtüsünün hızla gelişebildiği bölgelerde kanalların temizliği için yürütülecek düzenli bakım çalışmalarının yapılması zorunludur [122].

Yatay drenaj delikleri şev dışına eğimli olacak (genelde yatay ile 5° eğim yapacak) şekilde şev yüzeyine, şevi oluştururan kaya kütlesi içerisindeki sürekliliği fazla olan ana eklem takımları ile arasında bir açı bulunacak şekilde açılan amacı kaya kütlesi içerisindeki yeraltı su seviyesini düşürmek ve süreksizlik düzlemleri arasındaki suyu şevden uzaklaştırmak olan deliklerdir. Süreksizlik yüzeyleri arasında bulunan ince taneli malzemenin süzülmesine mümkün olduğunca izin veren perfore muhafazalar kullanılarak açılan drenaj delikleri, drenaj kanalları ile birlikte şev içerisinden süzülen suyun tahliyesini şev topuklarında sağlayacak biçimde Şekil 2.22'de gösterildiği gibi imal edilmelidirler [122].

Drenaj galerileri büyük ölçekli yenilmelerin beklendiği ve küçük çaplı drenaj delikleri ile yeterli miktarda istenen sürede suyun şevden tahliye edilemediği durumlarda doygun birim içerisinde, şev topuğuna yakın bölgede, şev boyunca uzanacak ve gerekirse galeri kemeri boyunca konumlandırılmış süzülmeyi arttırmak için delgisi Şekil 2.22'de sunulan şekilde yapılmış drenaj delikleri bulunacak şekilde imal edilmelidir [122].



Şekil 2.22: Şev drenajında kullanılan yöntemler ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.).

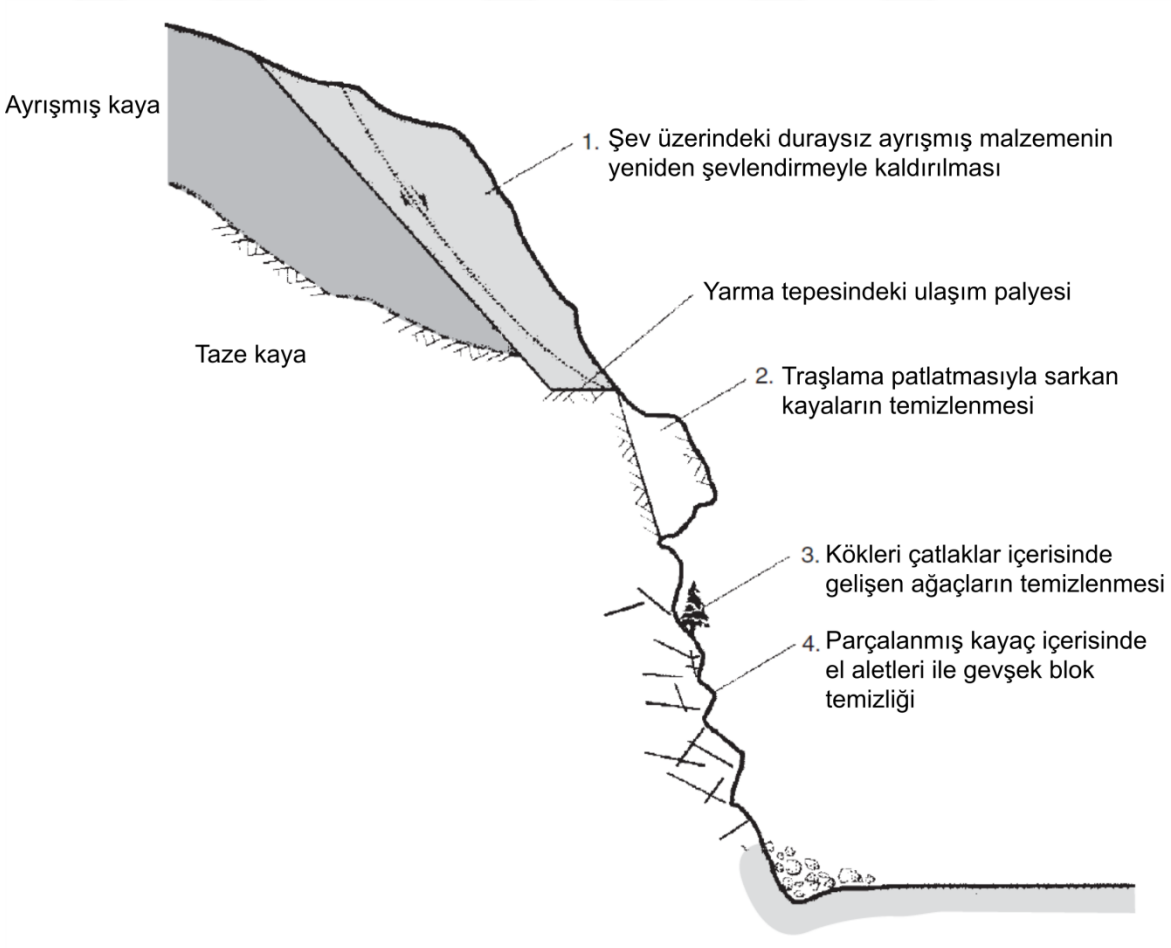
2.4.1.1.6. Payanda

Payandalar ayrışma veya kaya düşmesi nedeniyle şev yüzeyi üzerinde oluşan, olası kaya düşmelerine neden olabilecek oyuklarda altı boşalan kaya kütlesinin oluşturacağı basınç gerilmelerini taşıyacak şekilde tasarlanan, amacı zayıf kayaçların atmosfer ile temasını keserek ayrışmayı yavaşlatıp ilgili kayaçların korunmasını ve asılı kayaların desteklenmesini sağlamak olan beton mühendislik yapılarıdır [122]. Payanda uygulamasının amacı kaya kütlesinin gevşemesini önlemek ise oluşturulacak beton duvarın temelinin temiz, som kayaya oturması

gerekmektedir [122]. Temel yüzeyi ile boşlukta duran kayaların oluşturacağı gerilmelerin yönü birbirlerine dik değilse payanda temeli temel yüzeyine çelik pimler kullanılarak kaymayı önleyecek şekilde sabitlenmelidir [122]. Asılı kayanın alt yüzeyi ile payandanın teması tam olacak şekilde imalat sırasında beton dökümü yapılmalıdır. Bunun için şev yüzeyinde oyuğa ulaşabilecek şekilde eğimli bir delgi yapılması ve beton içerisinde rötre önleyici katkı maddesi kullanılması zorunludur [122].

2.4.1.2. Kaya Kaldırma Yöntemleri

Kaya şevi duraylılığını arttırmak için kullanılan kaya kaldırma yöntemleri Şekil 2.23'te sunulmaktadır [122]. Kaya kaldırma yöntemleri uygulamalarının ardından bakım faaliyetlerine gereksinim duyulmaması nedeniyle tercih edilmektedir [122].



Şekil 2.23: Kaya şevi duraylılığını arttırmak için kullanılan kaya kaldırma yöntemleri ([122]'den değiştirilerek alınmıştır.).

2.4.1.2.1. Yeniden Şevlendirme

Yeniden şevlendirme bir kaya yarmasının üst kısımlarında bulunan ve duraysızlığa neden olabilecek ayrışmış kayaç veya örtü malzemesinin kaldırılarak şevin eğiminin azaltılmasıdır [122]. Fazla yük oluşturan örtü malzemesi için güvenlik katsayısı 1.0 alınarak yapılacak geriye dönük analiz sonucu şev yatırılarak oluşturulacak yeni şev geometrisi şev açısı ve yükseklik cinsinden tespit edilebilmektedir [122]. Yeniden şevlendirme yapılırken oluşturulacak yeni şevin şeve iş makinesi ulaşımına ve tekrar yeniden şevlendirme çalışması yapılmasına olanak sağlayacak bir palyeye sahip olması gerekmektedir [122]. Yeni oluşturulan şevde zaman içerisinde ayrışma nedeniyle oluşabilecek küçük yenilmeler sonucu hareketlenen malzemenin yakalanması ve temizlik çalışmalarının yapılması için bashi geçen palyenin bulunması önemlidir [122].

2.4.1.2.2. Şevlerin Traşlanması

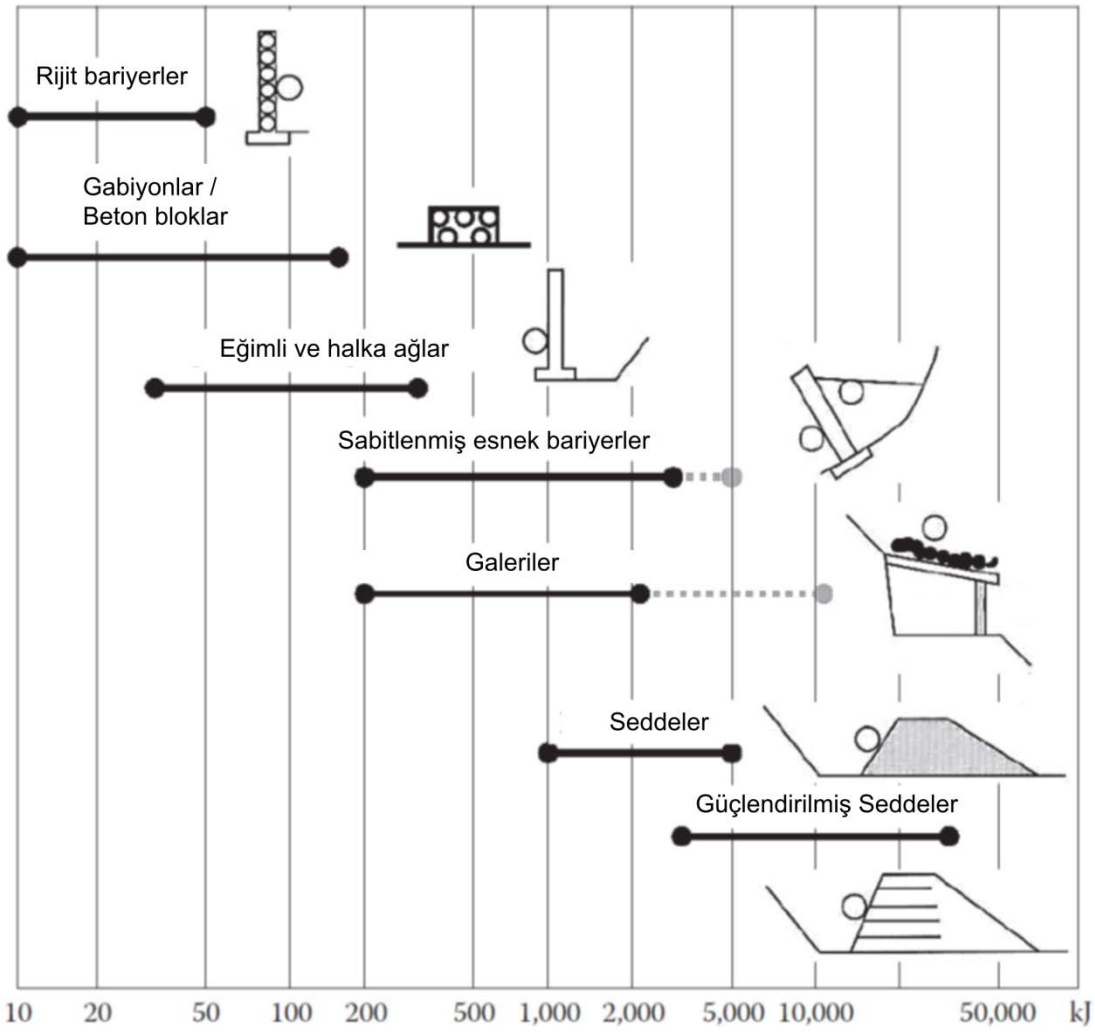
Yenilme veya ayrışma sonucu şey yüzeyinde oluşabilecek asılı kayaların/kütlelerin patlatılarak şev yüzeyinden temizlenmesi şev traşlanması olarak tanımlanmaktadır [122]. Patlatmalar yapılırken patlatma sonucu havalanacak kaya parçaların hareketlerini kısıtlayan patlama matlarının kullanılması gerekmektedir [122].

2.4.1.2.3. Şev Temizliği

Şev temizliği şev yüzeyinden gevşek kayaçların, zemin özelliğindeki malzemenin veya bitki örtüsünün temizleme çubukları, kürekler veya zincirli el testereleri gibi el aletleri kullanılarak uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır [122]. Aktif ulaşım yollarına ait güzergahlar üzerinde yapılan temizlik çalışmaları sırasında yol ulaşıma kapatılmalıdır ve güzergah üzerinde zarar görmesi istenmeyen karayolu, demiryolu, boru hattı gibi yapılar kalınlığı 1.5 ile 2m arasında değişen kum ve çakıl karışımı ile örtülerek düşen kayalardan ve diğer malzemeden korunmalıdır [122].

2.4.2. Korunma Önlemleri

Korunma yöntemlerinin amacı kaya düşmesi olayı gerçekleştikten sonra hareketlenen kütlenin hareketini ilgili bölge içerisindeki varlıklar için tehlike oluşturmayacak şekilde durdurmaktır. Korunma önlemi olarak imal edilecek mühendislik yapıları projelendirilirken dikkat edilmesi gerekenler hareketli bloğun koruma önlemi olarak imal edilecek yapı ile temas ettiği anda sahip olacağı enerji miktarı, çalışma sahasının geometrisi ve ilgili mühendislik yapısının maliyeti ve imalatı ile elde edilecek kazancın ilişkisidir [123].



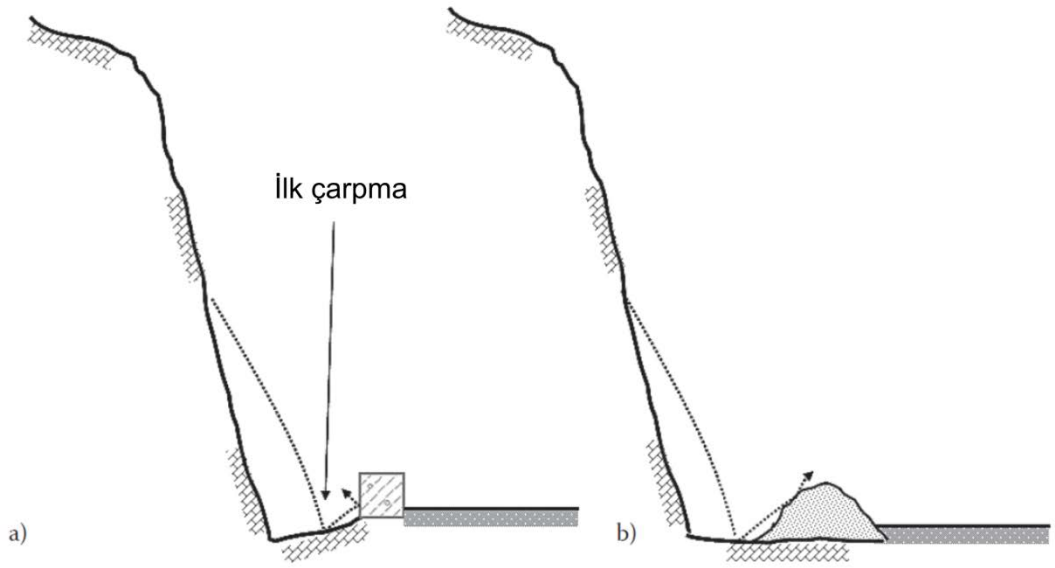
Şekil 2.24: Korunma yapılarının sönümleyebilecekleri çarpışma enerjisi miktarları ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

2.4.2.1. Yakalama Hendekleri

Yakalama hendekleri imalat için yeterli yerin bulunduğu durumlarda kaya düşmeleri sonucu meydana gelebilecek can ve mal kayıplarını önlemek amacıyla şev topuğunda imal edilen, belirli derinliğe ve genişliğe sahip mühendislik yapılarıdır. Bölüm 2.3.1'de sunulan risk derecelendirme sistemi içerisindeki abaklar (bkz. Şekil 2.10 veya [27]) kullanılarak projelendirilebilecekleri gibi Bölüm 2.3.2 içerisinde sunulan hareket modelleri kullanılarak hesaplanan blok yörüngeleri, hız değerleri ve bloğun sahip olduğu enerji miktarları da kullanılarak projelendirilmeleri mümkün olmaktadır.

Sahip oldukları geometrilere göre yakalama hendekleri eğik tabanlı yakalama hendekleri ve yatay tabanlı yakalama hendekleri olmak üzere Şekil 2.25'te görüldüğü gibi iki ayrı sınıf altında gruplanmaktadır.

Eğik tabanlı yakalama hendekleri sahip oldukları düşey sedde yüzeyleri nedeniyle sıçrayan blokların hendek içerisindeki yakalama bölgesine doğru hareket etmelerini sağlamakta ve hareketli blokların karayoluna veya demiryoluna geçişini engellemektedir [123]. Yatay tabanlı yakalama hendekleri ise sahip oldukları eğimli sedde yüzeyleri nedeniyle hareketli blokların hendek içerisindeki yakalama bölgelesinden kaçmalarına neden olabilmektedir [123]. Yatay tabanlı yakalama hendeklerinin maliyetlerinin daha düşük olmasına rağmen düzgün çalışabilmeleri için geniş alana ihtiyaç duymaları ve yakalama bölgesi içerisindeki hareketli blokların durdurulması ile ilgili karşılaşılan sorunlar nedeniyle çözüm olarak yakalama hendeklerinin tercih edileceği durumlarda düzgün çalışmak için daha az alana ihtiyaç duyan ve daha güvenilir eğik tabanlı yakalama hendeklerinin kullanılması önerilmektedir [123].



Şekil 2.25: Yakalama hendeği geometrileri a) eğimli tabana sahip hendekler b) yatay tabana ve çakıl seddelere sahip hendekler([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

2.4.2.2. Bariyerler

Bariyerler kazısı tamamlanmış yakalama hendeklerinin performansının arttırılması veya şev topuğunda bir yakalama bölgesi oluşturmak amacı ile imal edilen

mühendislik yapılarıdır [122]. Gereken bariyer tipi ve boyutları sönümlenmek istenen çarpışma enerjisi miktarı şev geometrisi ve ulaşılabilen yapı malzemelerine bağlı olarak belirlenmektedir [122].

2.4.2.2.1. Gabiyon

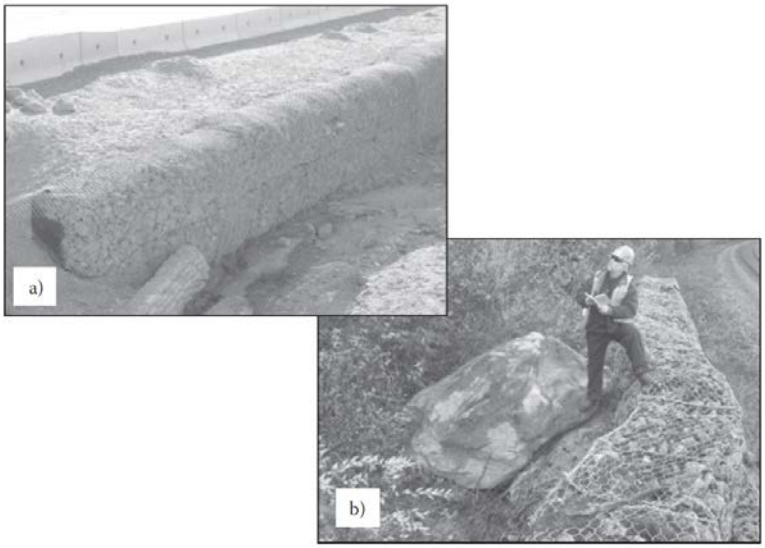
Gabiyonlar çelik telden örülmüş kafesler içerisindeki gevşek ve köşeli kaya bloklarından oluşan ve genellikle Şekil 2.25a'da sunulduğu gibi şev topuğunda düşey yüzeyli seddeler oluşturmak amacıyla kullanılan yapılardır [123]. Çapı 0.75m'ye kadar varabilen bloklardan korunmada etkili olan bir korunma yöntemidir [122]. Sıçrama yükseklikleri 2m'yi ve enerjileri 150kJ'u aşmayan blokların hareketinin beklendiği durumlarda kullanılmalıdırlar [123].

Gabiyonlarda kullanılan optimum kaya dolgusu tanecik boyunun 100 ile 150mm arasında değişen bloklar içeren ve ince taneli malzeme bulundurmayan malzemeden oluşmaktadır [123]. Blokların yuvarlak veya yarı-yuvarlak olmaları yerine parçacıklar arasındaki kesme gerilmelerinin olabildiğince yüksek olmasını sağlayacak şekilde köşeli olmaları istenmektedir [123].

Gabiyon kullanımının avantajları aşağıda sunulmaktadır [123].

- Gabiyonlar inşaat sahasında bulunan yerel ayrışmaya dirençli atık kayaçlar kullanılarak herhangi ek maliyet getirmeden üretilebilmektedir.
- Gabiyonlar inşaat sahasında üretildiklerinden hammadde ulaşım giderleri hasır çelik taşınması ile sınırlıdır.
- Gabiyonların üretimi hendek içerisinde veya yakındaki bir üretim sahasında tamamlanabildiğinden gabiyonların taşınması için hafif iş makinelerinin kullanımı yeterli olacaktır.
- Gabiyonlar üzerinde bitki örtüsü gelişimine yapı performansında bir değişiklik olmadan izin verebildiğinden estetik açıdan olumlu etki yapmaktadır.

Gabiyon kullanımının dezavantajları ise üretim esnasında gereken işçiliğin fazla olması ve bariyer ortasındaki hasarlı gabiyonların tamirinin güç olmasıdır [123].Şekil 2.26'da karayolunda bir gabiyon uygulaması örneği (a) ile çarpışma sonucu hasar görmüş gabiyon bariyer örneği (b) sunulmaktadır.



Şekil 2.26: Gabiyon bariyer örnekleri. a) Karayolu kotundan aşağıda, iki katlı, ardı dolgulu gabiyon bariyer, b) Kaya düşmesi sonucu yaşanan çarpışma ile hasar görmüş gabiyon bariyer [123].

2.4.2.2.2. Beton Blok Bariyerler

Gabiyonlar ile benzer boyutlara sahip öndökümlü beton bloklar her ne kadar dayanımları gabiyonlara göre daha düşük olmasına rağmen imalatta kazandırdıkları zaman ve yaygın olarak bulunabilmeleri nedeniyle bariyer inşasında tercih edilmektedir [122]. Genellikle şev yüzeyinde gevşek çakıl ve bloklar bulunan eğimi 35° ile 37° arasında değişen şevlerde kullanılmaktadırlar [123]. Beton bloklar kullanılarak imal edilecek bir bariyerin etkili olabilmesi için beton blokların tabanının zemine tutunmayı arttıracak şekilde çıkıntılara sahip olması, bloklar arası sınırlı harekete olanak verecek şekilde çelik halatlarla birbirlerine bağlanması gerekmektedir. Şekil 2.27'de böylesi bir beton blok bariyerin şekilde gösterilen blok ile yaptığı çarpışma sonrası durum sunulmaktadır. Sıçrama yükseklikleri 2m'yi ve enerjileri 150kJ'u aşmayan blokların hareketinin beklendiği durumlarda kullanılmalıdırlar [123].

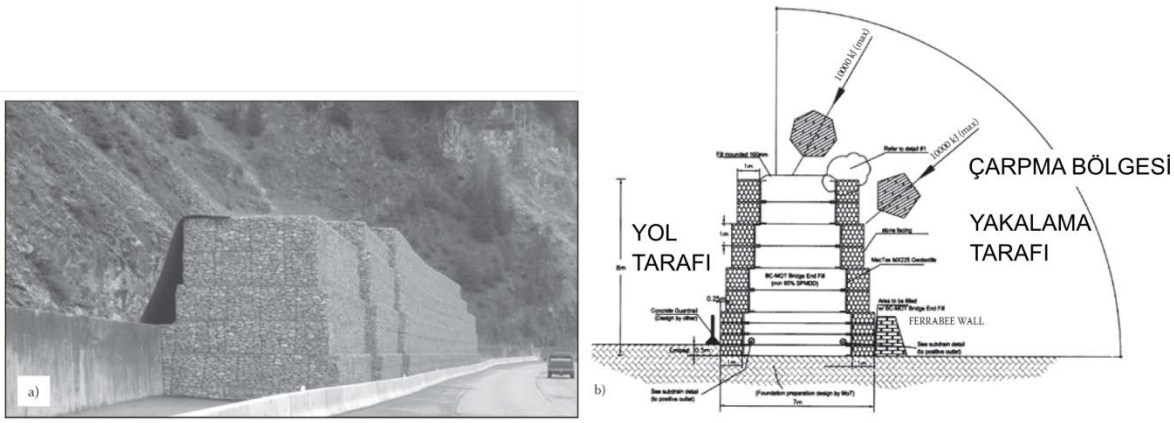


Şekil 2.27: Beton blok bariyerin çarpışma sonrası durumu, 5 adet beton blok yer değiştirmiş ve 1 adet blok çatlamıştır [123].

2.4.2.2.3. MSE Bariyerler

Geosentetikler ve zemin özelliğindeki malzeme kullanılarak imal edilebilen MSE bariyerler yüksek çarpışma enerjisi sönümleme kapasitesine sahiptir [123]. Yükseklikleri 15 metreye varabilen ve 15000kJ ile 20000kJ arasında enerji sönümleyebilen MSE bariyerler mevcuttur [123]. MSE bariyerlerin enerji sönümleme kapasitesi bariyerin kütlesine ve kullanılan inşa yöntemine bağımlıdır. Gerekli bariyer kütlesi bariyerin yüksekliği ve genişliği tarafından kontrol edilmekte, gerekli kesmeye karşı direnç ise sıkıştırılmış zemin ve yatay geosentetik veya hasır çelik malzeme kullanımı tarafından denetlenmektedir [123]. MSE bariyerler düzensiz temel yüzeyleri üzerine inşa edilebilmekte ve çeşitli kesitlere sahip olabilmektedir [123].

MSE bariyerlerin kullanımında karşılaşılan olumsuzluklar yapının tepe tarafındaki yakalama bölgesi ile birlikte imalat için oldukça geniş bir alana ve kalıcı ile hareketli yükler etkisi altında duraylılığını koruyabilen bir temele ihtiyaç duymasıdır [123]. Ayrıca bakım faaliyetlerinde kullanılmak üzere ağır iş makinelerinin ulaşımını sağlayacak servis yollarının imalatı da zorunludur. Bir MSE bariyer örneği Şekil 2.28'de sunulmaktadır.

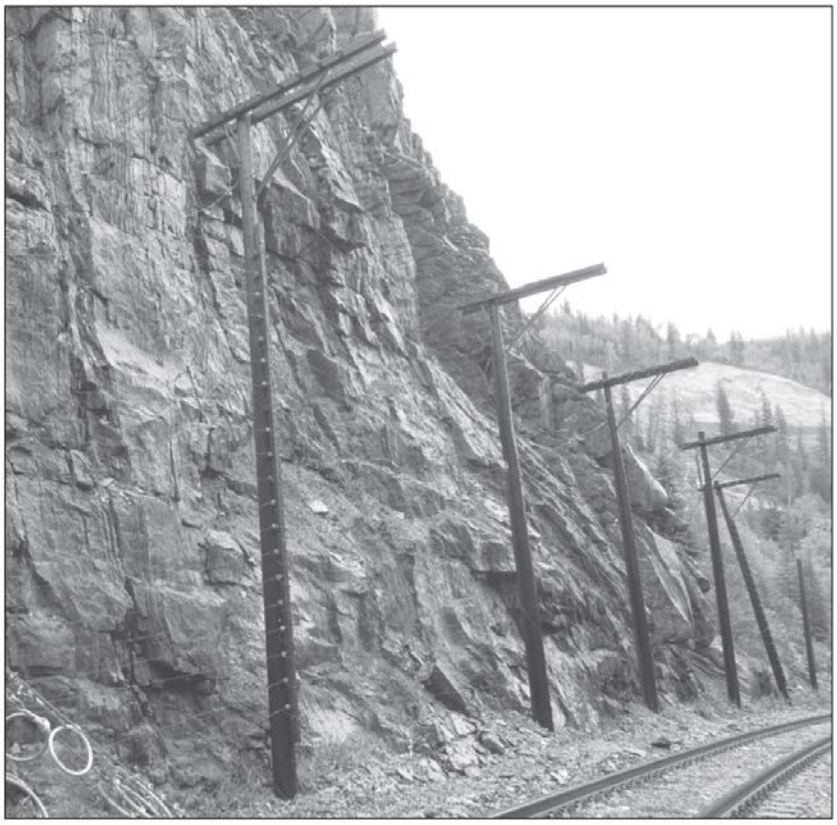


Şekil 2.28: MSE bariyer örneği. a) 8m yüksekliğinde yüzeyi gabionlarla kaplı MSE bariyer, b) İlgili MSE bariyere ait kesit ve detaylar, Boston yakınındaki Trans-Kanada Karayolu, British Coulumbia ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

2.4.2.3. Uyarı Çitleri

Uyarı çitleri bir dizi direk arasında birbirleri arasında 0.5m uzaklıkla bulunacak şekilde yataya paralel olarak Şekil 2.29'da sunulan şekilde gerilmiş, sinyalizasyon sistemine bağlı kablolardan oluşan bir sistemdir [123]. Kablolar sinyalizasyonda kullanılan kırmızı ışıkları koptuklarında yakacak ve korununan karayolu veya demiryolu üzerindeki taşıtların kaya düşmesi yaşanabilecek bölgeye güvenli bir mesafede durmasına izin verecek şekilde sinyalizasyon sistemine bağlanmıştır [122].

Uyarı çitlerinin bakımlarının ve imalatlarının kolay yapılabilmesine rağmen, üzerinde ulaşımın sağlandığı yolun kapanmasına neden olacak kadar büyük olmayan küçük ölçekli kaya düşmeleri, kar veya buz kaymaları nedeniyle tetiklenmeleri, tetiklendiklerinde ulaşım hattının büyük bir bölümünün kapanmasına neden olmaları ve sürekli çalışan bir güç kaynağına ihtiyaç duymaları sistemin sahip olduğu olumsuzluklardır [123].



Şekil 2.29: Uyarı Çitleri [123].

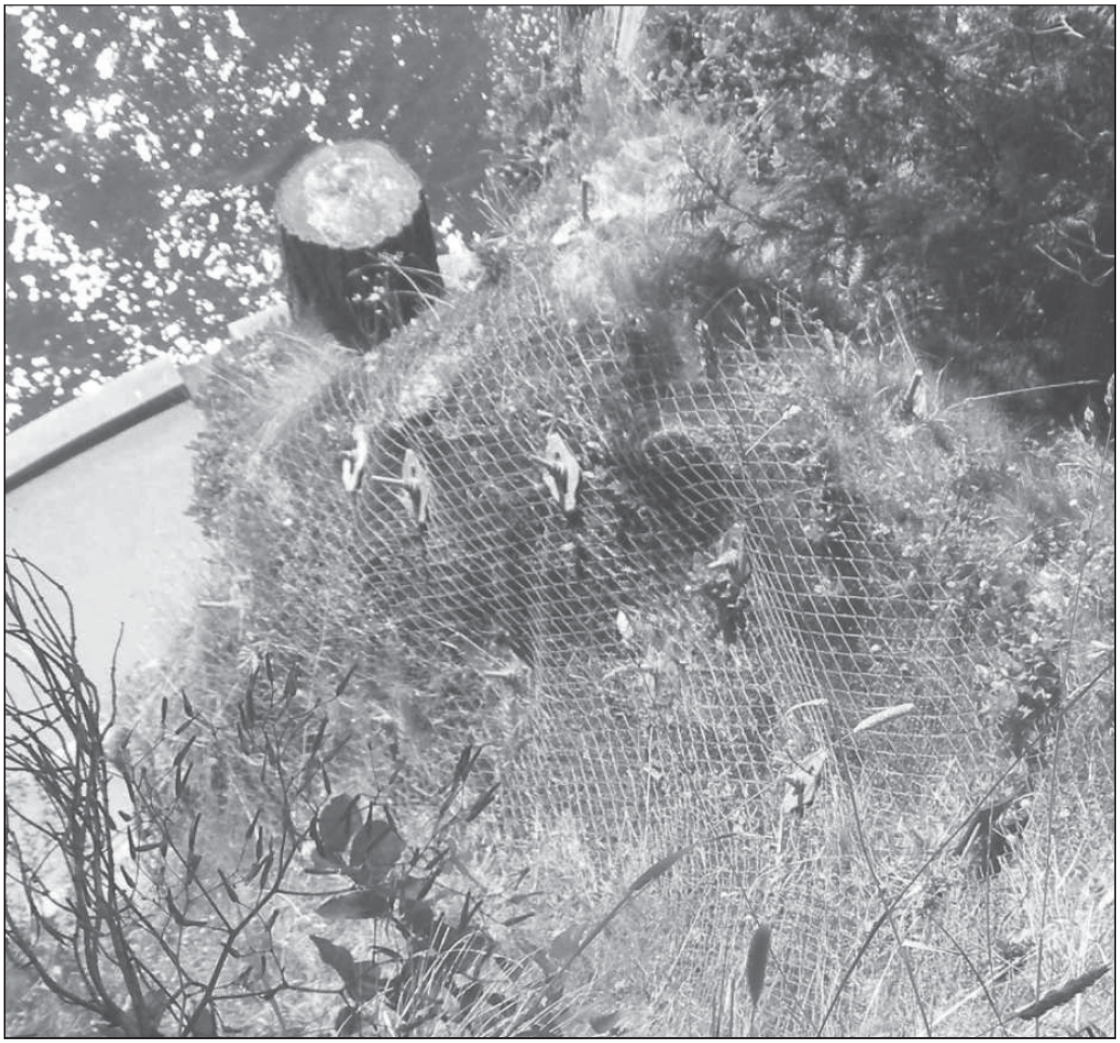
2.4.2.4. Tel Ağlar

Şev topuğunda bariyer veya hendek imalatına yetecek kadar alan bulunmadığı durumlarda koruma önlemi olarak kullanılan tel ağlar belirli miktarda enerjiyi yırtılmadan sönümlemek için sürekli bir çelik kablodan örülerek üretilen dayanımlı kaplama malzemeleridir [123]. Tel ağları tek başlarına kullanıldıkları uygulumalar ağın sadece şev tepesinde saplamalar yardımıyla sabitlenerek, şev yüzeyinde ve topuğunda herhangi bir sabitleme yapılmadan şevi örtecek şekilde şev yüzeyinde konumlandırılmasıyla veya ağın şev yüzeyindeki gevşek kayaları desteklemesini sağlayacak şekilde belirli desene sahip olarak delgisi yapılmış kaya ankrajları ile şev tepesinde, yüzeyinde ve topuğunda sabitlenerek yapılmaktadır [123]. Tel ağın sadece şev tepesinde sabitlendiği “asılı ağ” uygulaması Şekil 2.30’da gösterildiği gibi yakalama bölgesi için yeterli alanın şev ve ulaşım hattı arasında bulunduğu, şev yüzeyinin nispeten duraylı ve aşırı gevşek bloklardan oluşmadığı durumlarda tercih edilmelidir [123].

a)  b) 

Şekil 2.30: Asılı tel ağ uygulaması örneği. a) Kaya yarmasının tepesinde sabitlenmiş tel ağ, b) Yarma tepesindeki destek sistemi detayı (Sea to Sky Karayolu, British Coulumbia) [123].

Belirli bir desene göre delgisi yapılmış kaya ankrajları kullanılarak şev tepesinde, yüzeyinde ve topuğunda sabitlenmiş ağlardan oluşan “sabit ağ” uygulaması ulaşım hattı ve şev arasında yakalama bölgesi oluşturulmasına yeterli alanın bulunmadığı, şev yüzeyinde hareketlenen gevşek blokların durdurulmasının zorunlu olduğu durumlarda tercih edilmelidir [123]. Sabit ağ uygulamasının en büyük getirisi deprem nedeniyle oluşan yer hareketleri sırasında sistemin esnekliği sayesinde aşırı performans kaybı yaşamadan çalışmaya devam etmesidir. Şekil 2.31’de eklemli, ayrışmış bazalttan oluşan kaya yarmasının tepesinden alınan bir sabit ağ uygulaması görüntüsü sunulmaktadır [123].



Şekil 2.31: Sabit ağ uygulaması örneği [123].

2.4.2.5. Yakalama Çitleri

Yakalama çitleri 100kJ ile 8500kJ arasında enerji sönümleme kabiliyetine sahip esnek koruma yapılarıdır [123]. Bileşenlerinin eğilmesi ve yer değiştirmesi yardımıyla enerjiyi sönümleyen yakalama çitleri sönümlenmesi istenen enerji miktarı, durdurulması istenen haraketli cismin kütlesi ve hızı ile hareketli cismin şev üzerindeki yörüngesi dikkate alınarak şeçilmelidir [123].

Yakalama çitleri Şekil 2.32'de sunulan ve özellikleri aşağıda sunulan bileşenlerden oluşmaktadır [123].

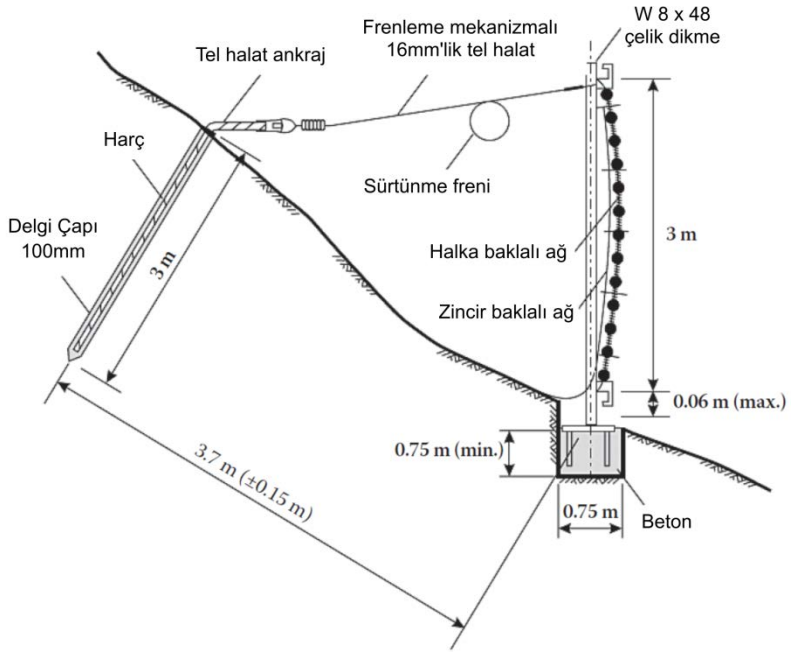
- ***Direkler:*** Direkler aralarına gerilen ağı desteklemek için kullanılan, uzunlukları 8 metreye kadar değişen, aralarıında 8 ile 12m bulunan temeller

üzerine sabitlenmiş çelik kiriş veya borulardır. Çarpışma ile birlikte üzerlerinde asılı olan ağın yükünü taşıyabilecek dayanıma sahiptirler.

- ***Temel:*** Temel tipleri içerisinde imal edilecekleri taşıyıcı ortamın özelliklerine ve sistem tasarım yüklerine göre değişmektedir. Kaya içerisindeki temellerde tamamı dolgulu kaya ankrajları yardımıyla direk ile temel bağlantısı yapılmaktadır. Ankrajlar çekme ve kesme yükleri ile ankraj grubu tarafından kaya kütlesi içerisinde oluşturulan koninin dayanımı dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Ankrajların taban plakası ile temel yüzeyi arasında sürtünme oluşturması nedeniyle gergili olarak imali tercih edilmektedir. Direk-temel birleşimi eklemli veya rijit olabilmektedir. Rijit birleşim çarpışma sırasında sistemde oluşan yükleri temele aktarmakta, eklemli birleşim ise yer değiştirerek çarpışma enerjisini sönümlemektedir. Zemin içerisindeki temellerde ise delgisini kendisinin yaptığı ankrajlar veya temel kazısı içerisine döküm yapılarak oluşturulan beton bloklar kullanılarak direk ile temel arasındaki bağlantı yapılmaktadır. Kendinden delgili ankrajlar taneli ve düşük geçirimliliğe sahip zeminlerin bulunduğu bölgelerde tercih edilmelidir. Bu tip ankrajların kullanılamadığı durumlarda ise her temel bölgesinde yapılacak kazılar içerisine yapılan dökümler yardımıyla oluşturulan beton temeller kullanılmalıdır. Kazının derinleştikçe taban alanı genişleyen kesik bir koni şeklinde yapılması ve temel betonunun prizini almasının ardından temel çevresindeki zeminin sıkıştırılması temel duraylılığını arttıracaktır.
- ***Birleşimler:*** Rijit birleşimler direk tepesinden şev yüzeyine uzanan ve direğe destek veren gergi kablolarının çekilemediği durumlarda tercih edilmektedir (Örn: MSE Bariyer üzerinde yakalama çiti uygulaması). Eklemli birleşimlerin avantajı çarpışma sırasında temelin zarar görmemesi ve çarpışmadan sonra sistem onarımının gergi halatları üzerindeki frenleme mekanizmalarının ve eğrilmişsse direklerin değişimi ile sınırlı olmasıdır.
- ***Ağlar:*** Ağların imalatı sistemin tasarımının yapıldığı sönümlenmek istenen enerji miktarı değerine ve üretilecek ağın ağırlığına bağlıdır. Çeşitli firmalar tarafından farklı teknikler kullanılarak üretilen ağlar mevcuttur fakat genellikle ağlar geniş açıklıklara sahip çelik halatlardan veya halkalardan örülmüş ana katman ve zincir baklaları şeklindeki çelik bileşenler

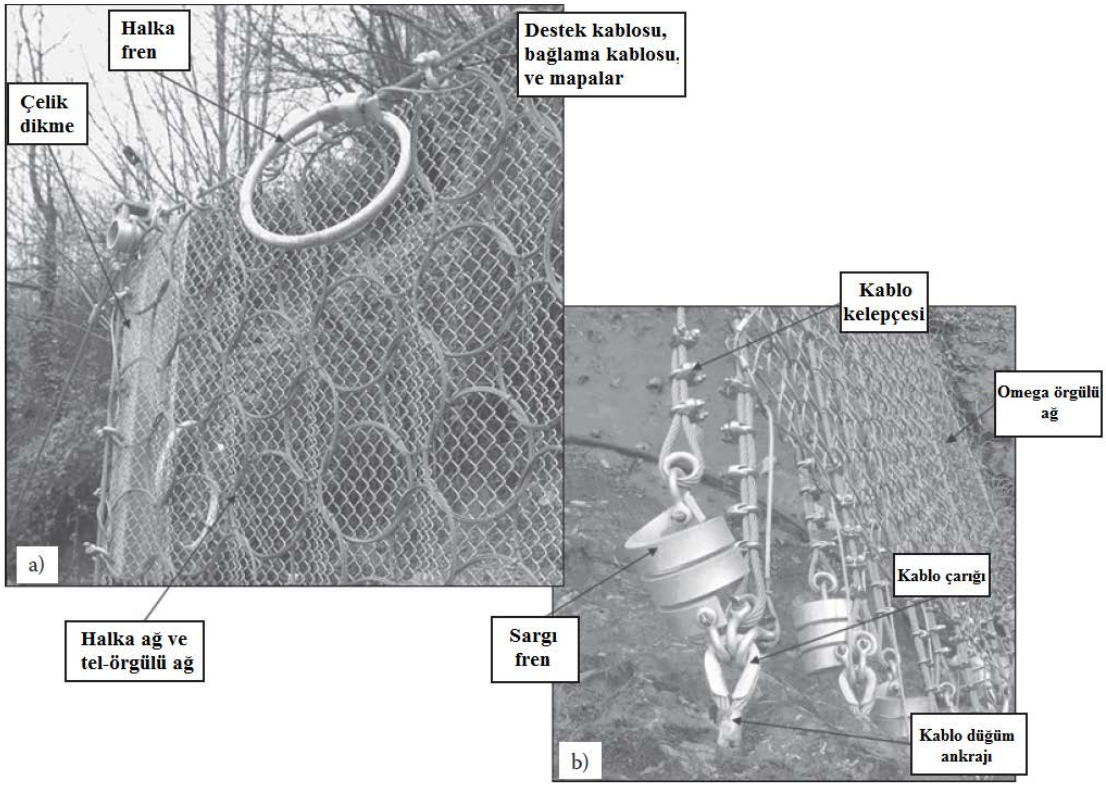
kullanılarak örülmüş küçük kayaların çit içerisinden geçmesini engelleyecek kadar küçük açıklıklara sahip ve ana katmanı koruyan ikinci bir katmandan oluşmaktadır.

- ***Ağ Destek Kabloları ve Bileşenleri:*** Esnek bir koruma sistemi oluşturulabilmesi için ağlar direklere ağlardaki boşluklardan, direk tepelerinden ve diplerinden geçecek şekilde çekilen çelik destek kabloları yardımıyla veya bu destek kablolarını ağ panellerine bağlayan kelepçeler kullanılarak sabitlenmektedir. Gerekirse ağ destek kabloları ile birlikte frenleme mekanizmaları kullanılabilmektedir.
- ***Gergi Kabloları:*** Eklemli temele sahip yakalama çitlerinde direklerin desteklenmesi için şev yukarısında gergi kablolarına ihtiyaç bulunmaktadır. Genellik üzerlerinde enerji sönümleyici frenleme mekanizmaları bulunan gergi kablolarının verimli çalışabilmeli için yönelimlerinin uygulanacak yükün yönelimine yakın olması gerekmektedir. Tamamı dolgulu saplamalar yardımıyla şev yüzeyine sabitlenmektedirler.
- ***Tamamı Dolgulu Saplamalar:*** Gergi kablolarının bağlandığı tamamı dolgulu saplamalar şev yüzeyindeki ayrışma zonunun altında bulunan taze kayaya uzanacak şekilde imal edilmelidir. Rijit ankraj gövdeleri yerine esnek gövdeli ankrajlar kullanılabilmektedir.



Şekil 2.32: Rijit temelli yakalama çiti tip kesiti ([123]'ten değiştirilerek alınmıştır.).

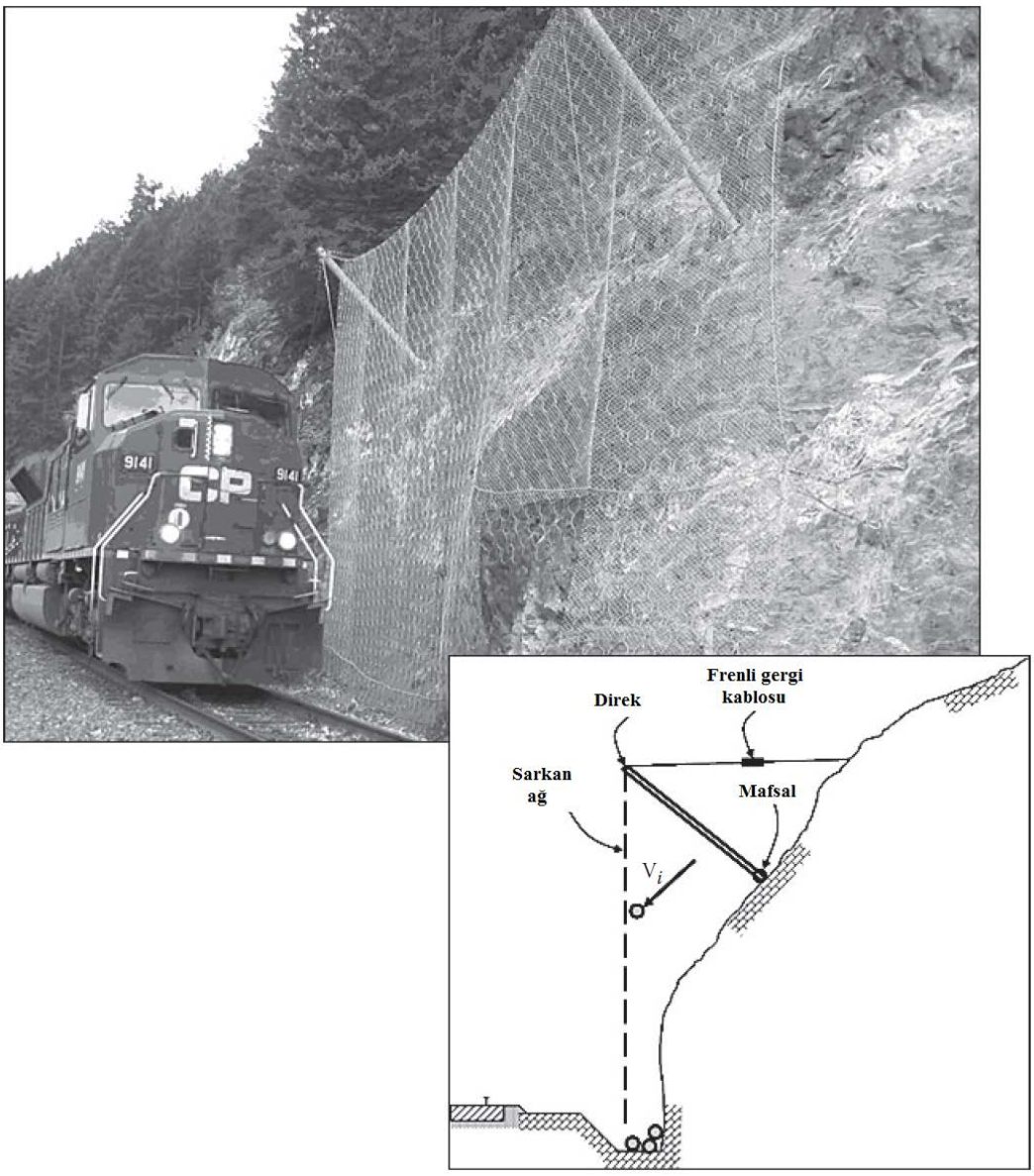
Yakalama ağı, frenleme mekanizması, saplama, kablo bağlantı sistemi detayları Şekil 2.33'te sunulmaktadır [123].



Şekil 2.33: Yakalama ağı, frenleme mekanizması, saplama, kablo bağlantı sistemi detayları [123] a) halka frenleme mekanizmasına sahip halka ağlar b) sarmal frenleme mekanizması ve kablo bağlantı detayları [123].

2.4.2.6. Zayıflatıcı Asılı Ağlar

Kaya düşmelerinin etrafı duraylı kayalar ile çevrili olan dar sel yataklarında veya oluklarda gerçekleştiği durumlarda hareketli blokların enerjilerinin bir kısmını sönümleyerek yavaşlatmak ve yönlendirmek amacıyla Şekil 2.34'te sunulan zayıflatıcı ağ sistemleri kullanılabilmektedir [123]. Sistem esnek temelli yakalama ağlarında olduğu gibi şev yüzeyine sabitlenen direklerden, direklere bağlı üzerlerinde frenleme mekanizmaları bulunan gergi kablolarından ve direklerin tepesinden şev topuğundaki hendeğe kadar sarkıtılan ağdan oluşmaktadır. Çapı 200mm'ye kadar olan blokların hareketlerini önlemek için zincir baklalı tel ağlar, daha büyük bloklar için ise ihtiyaca uygun olarak halat ağlar ve yüzük ağlar kullanılmalıdır [122]. Bu tip sistemlerde düzenli hendek temizliğinin yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.34: Zayıflatıcı asılı ağ uygulaması örneği [123]

2.4.2.7. Kaya Sundurmaları ve Tüneller

Diğer yöntemler kullanılarak yapılacak şev iyileştirmelerinin maliyetinin oldukça fazla olduğu uç durumlarda kaya sundurmaları imal edilerek veya güzergah değişimi tünel yardımı ile yapılarak ulaşım hattının güvenliği sağlanabilmektedir [122]. Kaya sundurmaları donatılı beton sundurmalar, konsol surdurmalar, eğimli tavana sahip sundurmalar ve ağ sundurmalar olmak üzere dört farklı grupta sınıflanmaktadır [123].

2.4.2.7.1. Donatılı Beton Sundurmalar

Donatılı beton sundurmalar tehlikeli kaya düşmesi olaylarının sık olarak üzerinde yaşandığı, yüksek trafik hacmine sahip ve ulaşımın herhangi bir nedenle kesilmesinin mümkün olmadığı karayolları veya yüksek hızlı tren hatları gibi güzergahların korunmasında kullanılmaktadır [123]. Donatılı beton sundurmaların getirileri bariyerler ve ağ sistemlerinden daha yüksek çarpışma enerjilerini sönümleyecek şekilde tasarlanabilmeleri, sahip oldukları uzun servis süreleri ve az bakım ihtiyacına sahip olmalarıdır [123]. Donatılı beton sundurmaların sahip olukları olumsuzluklar ise sahip oldukları yüksek maliyetlerdir. Donatılı beton surdurmalar yerine sahip oldukları esneklik nedeniyle enerji sönümleme kabiliyeti daha yüksek çelik sundurmalar kullanılabilmesine rağmen çelik sundurmaların sahip olduğu kısa servis süreleri ve yüksek düzenli bakım maliyetleri nedeniyle genellikle tercih edilmemektedirler [123]. Şekil 2.35'te bir beton sundurma örneği sunulmaktadır.



Şekil 2.35: Tipik bir öndökümlü beton sundurma örneği (Niigata, Japonya) [123].

2.4.2.7.2. Konsol Sundurmalar

Karayolu veya demiryolu hattı dışında kalan temelin üzerinde inşa edileceği bölgelerin oldukça zayıf özelliğe sahip olduğu veya bakım araçlarının çalışabilmesi

için ek alana ihtiyaç duyulduğu durumlarda konsol sundurmalar tercih edilmektedir [123]. Konsol sundurmalarda maliyet hattın üzerinde vadi tarafında kalan kolonlar ile temellerin kullanılmaması sayesinde düşürülebilmektedir fakat şev tarafında yüksek dayanımlı kaya kütlesinin ve yeterli alanın bulunması gerekmektedir Şekil 2.36'da konsol sundurma örnekleri sunulmaktadır [123]. Şekil 2.36a'da sunulan yapı hareketlenen kütleyi yönlendirmek için kullanıldığından çarpışma enerjisinin tümünü sönümlemeden çalışabilmektedir fakat Şekil 2.36b'de sunulan yapının esas görevi hareketlenen kütleyi durdurmak olduğundan çapışma enerjisinin tümünü sönümleyecek şekilde tasarlanmıştır [123].

(a)



(b)



Şekil 2.36: Konsol sundurma örnekleri a) Kar çığları ve kaya düşmelerini yansıtması içi kullanılan konsol sundurma (Kanada Pasifik Demiryolu), b) "Kaya Yakalacısı" (Japonya) [123].

2.4.2.7.3. Eğimli Tavana Sahip Sundurmalar

Şev geometrisinin izin verdiği bölgelerde sundurmalar hareketli kütlenin üzerlerinden daha düşük çarpışma kuvvetleri yaratacak şekilde geçmelerine izin verebilen Şekil 2.37'de sunulan şekilde imal edilebilmektedir. Bu tip sundurmalar

hafif malzemeler kullanılarak imal edilebilmekte ve üzerlerinde kütle birikimine izin vermediklerinden bakım maliyetleri diğer sistemlere göre daha düşük olmaktadır fakat tavan alanının hat genişliğinin yaklaşık beş katı kadar olması imalat sırasında kullanılacak malzeme miktarını ve maliyeti arttırmaktadır [123]. Ayrıca tavanın eğimi nedeniyle taneli malzeme kullanılarak sistemin tavanının üzerinde bir sönümleme tabakası oluşturmak mümkün değildir [123].

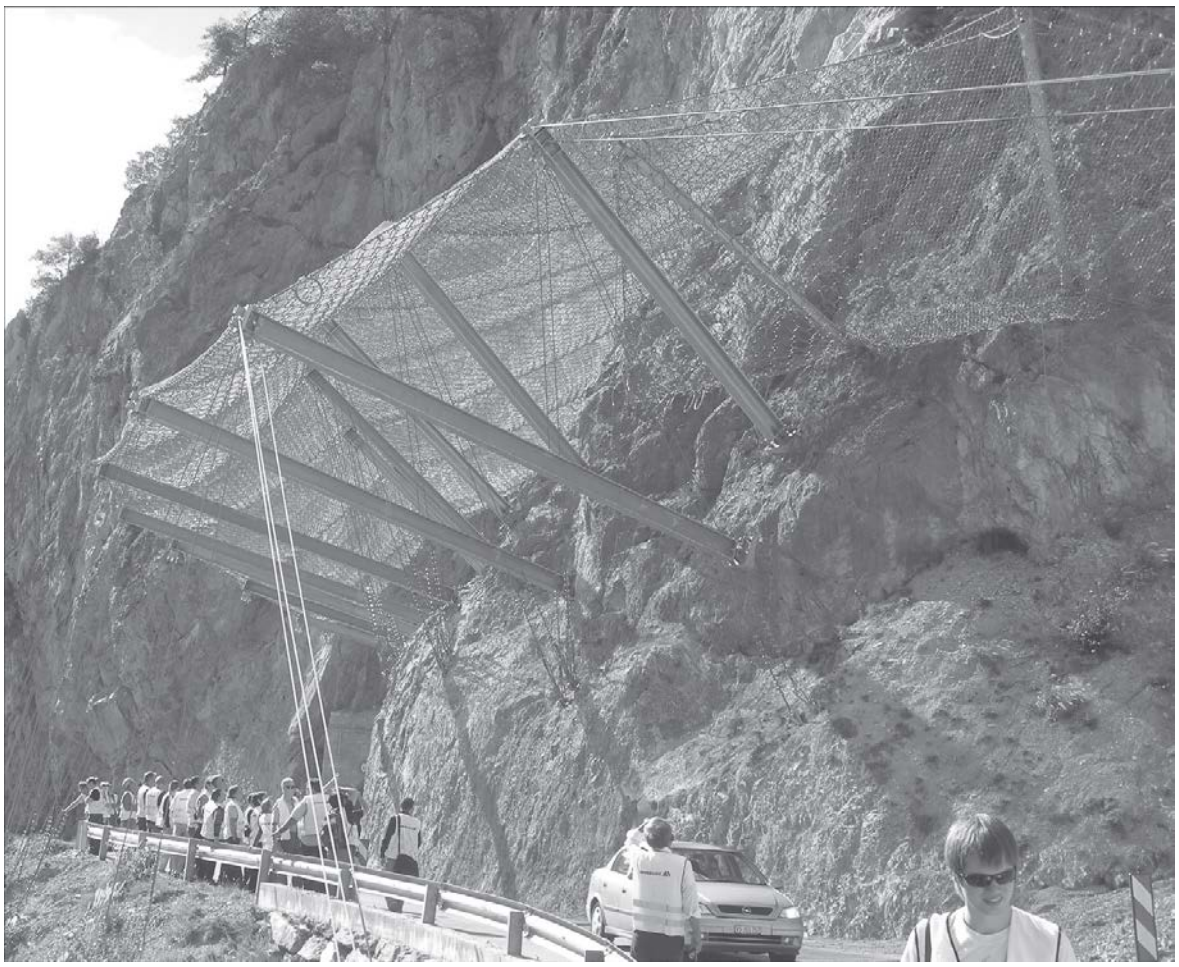


Şekil 2.37: Eğimli tavana sahip sundurma örneği [123].

2.4.2.7.4. Ağ Sundurmalar

Ağ sundurmalar bariyerlerde olduğu gibi direkler, destek kabloları, temeller ve çelik ağlardan oluşan, kullanım amacı düşen kayaların sahip olduğu enerjinin bir kısmını sönümleyerek yörünge değişimlerinin gerçekleşmesini sağlamak olan koruma sistemleridir [123]. Ağ sundurmaların tasarımında dikkat edilmesi gereken konular çarpışma anında ağın yapacağı maksimum esnemenin dikkate alınarak sundurmanın şev yüzeyinde ulaşım hattında hareket etmekte olan taşıtları tehdit etmeyecek şekilde konumlandırılması ve tavanların 30° ile 40° arasındaki vadi tarafına eğimli olarak imalatının yapılmasını sağlamaktır [123]. Tavanı eğimli imal

edilerek kendi kendini temizleyebilen bir sistem oluşturulmakta ve bakım maaliyetleri düşürülmektedir [123].



Şekil 2.38: Ağ sundurma örneği (İsviçre) [123].

2.5. Kaya Düşmeleri ile İlgili Ulusal ve Uluslararası Standartlar

2.5.1. Ulusal Durum

Türkiye sınırları içerisindeki karayollarından sorumlu Karayolları Genel Müdürlüğünün hazırladığı Karayolları Teknik Şartnamesi [124] karayollarında kaya düşmesi nedeniyle karşılaşılacak risklerin değerlendirilmesi, kaya düşmesinin yaşanabileceği güzergah kesimlerinde alınacak iyileştirme önlemlerinin tanımları ve kullanım sınırlamaları ile ilgili ayrıntılı bilgileri sunan bir bölüm bulunmamaktadır. Sadece Kısım 259 [124] içerisinde "Çelik Tutucu Ağ Sistemleri" başlığı altında güzergah içerisinde duraylı olmayan kaya bloklarının bulunduğu bölgelerde kullanılmak üzere "Aktif Sistemler" ve "Pasif Sistemler" olmak üzere iki ayrı tipte önlemin kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Aktif sistemlerin tanımı şev yüzeyinde kopması/düşmesi muhtemel kaya kütlesinin hareketini önlemek ve stabilite kontolü sağlamak amacıyla kullanılan sistemler olarak verilmektedir [124]. Yüzey güçlendirme sistemlerinin çelik ağ formunda birleştirilmiş farklı türde çelik tel, çelik halatlar, ankrajlar ile şev yüzeyine sabitlenerek oluşturulduğu bilgisi aktif sistemler başlığı altında verilmektedir [124]. Verilen bilgiler dikkate alındığında aktif sistemlerin Bölüm 2.4.1.2.4 içerisinde tanımlanan "sabit ağ uygulamaları" ile örtüştüğü görülmektedir.

Pasif sistemler yüzeysel olarak ana kaya kütlesinden kopan parçaların yüzey boyunca hareketini kısıtlayarak şevin alt kısmının düşme olayından etkilenmesini minimize eden, şev yüzeyinden kopup gelerek yola zarar verme ihtimali olan katı kütlelerinin tutulabilmesi amacıyla imal edilen, düşen kayaların sıçrayarak yola ulaşmasını engelleyen ve şev dibine toplanmasını sağlayan sistemler olarak tanımlanmaktadır [124] . Verilen bilgiler dikkate alındığında pasif sistemlerin Bölüm 2.4.1.2.4 içerisinde tanımlanan asılı ağ uygulamaları, Bölüm 2.4.1.2.5 içerisinde tanımlanan yakalama çitleri ve Bölüm 2.4.1.2.6 içerisinde tanımlanan zayıflatıcı asılı ağ sistemleri ile örtüştüğü görülmektedir.

Aktif ve pasif sistemlerinin bileşenlerinin sahip olması gereken özellikler ve bağlı bulundukları standartlar (kaya ankrajları hariç) hakkında herhangi bir bilgi şartname içerisinde sunulmamaktadır. Kullanılacak sistemin tasarımı için risk analizlerinin yapılması gerektiği şartname içerisinde belirtilmesine rağmen hangi yöntemlerle çalışmanın tamamlanması gerektiği hakkında herhangi bir bilgi şartname içerisinde sunulmamaktadır.

T.C.D.D. Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Yatırım Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanmış Demiryolu Güzergah Jeolojik-Jeoteknik-Geoteknik Etütlerinin Yapılmasına ait Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi içerisinde kaya düşmeleri ile ilgili olan aşağıdaki ifade 5.4.2.1 numaralı Jeoteknik Model Çalışmaları başlıklı bölümde geçmektedir [125]:

- Ortamda kaya düşmesi tehlikesi varsa kaya düşme analizleri yapılarak, düşmesi muhtemel kayaların yaratacağı enerji ve sıçrama yüksekliği gibi parametrelerin değişimi yatay ve düşeyde gösterilecek, ne tür bir önlem alınacağı nedenleriyle birlikte açıklanacaktır.

Kaya düşme analizlerinin hangi hareket modeli kullanılarak yapılacağı hakkında herhangi bir bilgi şartname içerisinde sunulmamaktadır.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanmış teknik şartnameler içerisinde kaya düşmesi, kaya düşmelerinin incelenmesinde kullanılcak yaklaşımlar, iyileştirme sistemleri ile ilgili herhangi bir bilgiye ulaşılamamıştır.

Türk Standartları Enstitüsü tarafından kaya düşmesi tehlikesi nedeniyle yüksek risk altında bulunan bölgelerin iyileştirilmesinde kullanılacak mühendislik yapılarını ve ilgili mühendislik yapılarının denenmelerini tanımlayan herhangi bir standart bulunmamaktadır.

T. C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından 20-22 Ağustos 2014 tarihleri arasında, Sivas'ta 'Kaya Düşmesi Afeti ve Kaya Islah Yapıları ile Sivas-Gürün-Sarıca Uygulaması" adı altında il müdürlüklerinde görevli 40 adet personele kaya düşmeleri ile ilgili eğitim vermek amacıyla seminer çalışması yapılmıştır [126]. A.F.A.D tarafından yayımlanan 2015/5 tarih ve sayılı, 31026911-13887 numaralı, "Afet ve Tehlike Haritaları hk." konulu genelgenin 4.eki olan "Kaya Düşmesi Duyarlılık Raporu Formatı" içerisinde kaya düşmesi duyarlılık incelemelerinin nasıl yürütülmesi gerektiği hakkında bilgiler sunulmaktadır. Bu ek içerisinde kaya düşmesi duyarlılık analizi çalışmasının A.F.A.D tarafından hazırlanmış "Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması, Heyelan-Kaya Düşmesi Pratik Kılavuzu" içerisindeki tanımlamalara uygun olarak yürütülmesi gerektiği belirtilmektedir. Kılavuz içerisinde duyarlılığın belirlenmesi için gölge açı-koni yaklaşımının kullanılması gerektiği belirtilmektedir.

Ayrıca A.F.A.D tarafından hizmete sunulan “Türkiye Afete Uğramış Yerleşim Birimleri Haritası (1950 – 2008)” [127] 1950 ile 2008 yılları arasında kayıt altına alınmış kaya düşmesi olaylarının illere göre dağılımlarını göstermektedir.

2.5.2. Uluslararası Durum

Bölüm içerisinde Bölüm 2.4’te sunulan iyileştirme yöntemleri sınıflandırılması kullanılarak ilgili mühendislik yapılarına ait tanımlanmış standartlar hakkında bilgi verilmektedir.

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip bölgelerin iyileştirilmesinde kullanılacak yöntemlere ait Amerika’da ve Avrupa’da kullanılmakta olan standartlar Çizelge 2.28’de sunulmaktadır.

Çizelge 2.28: Amerika’da ve Avrupa’da kullanılan iyileştirme yöntemlerine ait standartlar.

	Amerika	Avrupa
Destekleme Yöntemleri		
Kesme Takozları	-	-
Kaya Ankrajları	ASTM F432 -13	EN 1997-1:2004+A1:2013 Bölüm 8 EN 1537:2013 BS 8081:2015
Bağlamalı Ankrajlı Duvarlar	-	EN 1997-1:2004+A1:2013 Bölüm 9 EN 1538:2010+A1:2015
Püskürtme Beton	ASTM C1436-13 ASTM C1141/C1141M-15 ASTM C1480/C1480M-07(2012) ACI 506R-16 ACI 506.2M-13 ACI 506.1R-08	EN 14487-1:2005 EN 14487-2:2006
Drenaj	AASHTO ADM-1 AASHTO HDG-4-M	EN 1997-1:2004 Bölüm 5 EN 15237:2007 (Dikey Drenaj)
Payanda	-	-
Kaya Kaldırma Yöntemleri		
Yeniden Şevlendirme	-	-
Şevlerin Traşlanması	-	-
Şev Temizliği	-	-
Korunma Önlemleri		
Yakalama Hendekleri	-	-
Bariyerler-Gabiyon	ASTM D6711-15 ASTM A974-97(2016) ASTM D7014-10	EN 10223-8:2013
Bariyerler-Beton Blok Bariyerler	ASTM C1776/C1776M-17	EN 15258:2008
Bariyerler-MSE Bariyerler	ASTM C1776/C1776M-17	EN 14475:2006/AC:2006
Uyarı Çitleri	-	-
Tel Ağlar	-	EN 10223-3:2013 ISO 17745:2016
Yakalama Çitleri	-	ETAG027, SAEFL 2001,SAEFL 2006
Zayıflatıcı Asılı Ağlar	-	ETAG027, SAEFL 2001, SAEFL 2006

2.5.2.1. Destekleme Yöntemleri

Bölüm içerisinde kesme takozları, kaya ankrajları, bağlamalı ankrajlı duvarlar, püskürtme beton, drenaj, payanda uygulamalarına ait bilgiler sunulmaktadır.

2.5.2.1.1. Kesme Takozları

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir desteklekleme yöntemi olan kesme takozlarının uygulanması ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan veya Avrupa Standartına ulaşılamamıştır.

2.5.2.1.2. Kaya Ankrajları

Amerika'da kullanılan ASTM F432-13 standartı kaya ankrajlarının bileşenlerini, bileşenler için kullanılacak endüstriyel üretim işlemlerini, sahip olması gerekn kimyasal bileşimi, mekanik özelliklerini, imalat sonrası kontrol amaçlı kullanılacak deney yöntemlerini tanımlamaktadır.

Avrupada kullanılan EN 1997-1:2004+A1:2013 Bölüm 8 ankraj sisteminin tasarımında ve bakımında kullanılan sınırlamalar ile birlikte imalat sonrası kullanılacak deneylere ait standartları belirlemektedir. EN 1537:2013 içerisinde ise ankraj sisteminin sahip olması gereken özellikler, uygulama esasları ve kontrol amaçlı kullanılacak deney yöntemleri tanımlanmaktadır.

2.5.2.1.3. Bağlamalı Ankrajlı Duvarlar

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir desteklekleme yöntemi olan kesme takozlarının uygulanması ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan Standartına ulaşılamamıştır.

Avrupada kullanılan EN 1997-1:2004+A1:2013 Bölüm 9 dayanma yapılarının tasarımında ve bakımında kullanılan sınırlamalar ile birlikte imalat sonrası kullanılacak deneylere ait standartları belirlemektedir. EN 1538:2013 içerisinde ise diyafram duvarların sahip olması gereken özellikler, uygulama esasları ve kontrol amaçlı kullanılacak deney yöntemleri tanımlanmaktadır.

2.5.2.1.4. Püskürtme Beton

Amerika'da kullanılan ASTM C1436-13 standartı püskürtme beton malzemesinin sahip olması gereken özellikleri, malzemenin kontrol edilmesi için kullanıcak deney yöntemlerini; ASTM C1141/C1141M-15 püskürtme beton içerisinde

kullanılabileccek katkı maddelerinin özellikleri ve katkı maddelerinin kontrol edilmesi için kullanıcak deney yöntemlerini tanımlamaktadır. ASTM C1480/C1480M-07(2012) kuru veya ıslak püskürtme beton uygulamarında kullanılacak paketlenmiş hazır karışım malzemesi özelliklerini tanımlamaktadır. ACI 506.2M-13 içerisinde püskürtme betonun çalışma sahasındaki uygulama esasları, ACI 506R-16 içerisinde püskürtme beton malzemesinin sahip olması gereken özellikler, malzemenin kontrol edilmesi amacıyla kullanılan deney yöntemleri tanımlamaktadır.

Avrupa'da kullanılan EN 14487-1:2005 içerisinde püskürtme beton malzemesinin sahip olması gereken özellikler, EN 14487-1:2006 içerisinde ise çalışma sahasında yapılacak uygulama tanımlanmaktadır.

2.5.2.1.5. Drenaj

Amerika'da kullanılan AASHTO ADM-1 standartı karayolları üzerinde imal edilecek drenaj sistemlerinin seçim esaslarını yerel yönetim organları için tanımlamakta ve imalat tekniklerini tanımlamaktadır. AASHTO HDG-4M ise karayollarında kullanılacak drenaj sistemlerinin tasarımında kullanılacak yöntemleri tanımlamaktadır.

Avrupada kullanılan EN 1997-1:2004+A1:2013 Bölüm 9 drenaj sistemlerinin tasarımında kullanılan sınırlamaları belirlemektedir. EN 15237:2007 Dikey Drenaj sistemlerine ait projelerin uygulanması, izlenmesi, yönetimi ve kontrol edilmesi ile ilgili esasları tanımlamaktadır.

2.5.2.1.6. Payanda

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir desteklekleme yöntemi olan payanda uygulaması ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan veya Avrupa Standartına ulaşılamamıştır.

2.5.2.2. Kaya Kaldırma Yöntemleri

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek kaya kaldırma yöntemleri olan yeniden şevlendirme, ievlerin traşlanması ve şev temizliği uygulamaları ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan veya Avrupa Standartına ulaşılamamıştır.

2.5.2.3. Korunma Önlemleri

Bölüm içerisinde yakalama hendekleri, bariyerler, uyarı çitleri, tel ağlar, yakalama çitleri, zayıflatıcı asılı ağ uygulamalarına ait bilgiler sunulmaktadır.

2.5.2.3.1. Yakalama Hendekleri

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir desteklekleme yöntemi olan yakalama hendeği uygulamaları ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan veya Avrupa Standartına ulaşılamamıştır.

2.5.2.3.2. Bariyerler

2.5.2.3.2.1. Gabiyon

Amerika'da kullanılan ASTM D6711-15 standartı gabiyon imalatında kullanılan taneli malzeme özelliklerini, ASTM A974-97(2016) gabiyon imalatında kullanılan çelik örgü ağ özelliklerini, ASTM D7014-10 gabiyon imalatında kullanılacak endüstriyel süreçleri tanımlamaktadır.

Avrupa'da kullanılan EN 10223-8:2013 gabion imalatında kullanılan çelik örgü ağ malzemesinin özelliklerini tanımlamaktadır.

2.5.2.3.2.2. Beton Blok Bariyerler

Amerika'da kullanılan ASTM C1776/C1776M-17 standartı ıslak dökümlü imal edilen, dayanma duvarı imalatında kullanılan modüler malzeme özelliklerini tanımlamaktadır.

Avrupa'da kullanılan EN 15258:2008 standartı dayanma yapılarının imalarında kullanılan öndökümlü beton malzemerin özelliklerini tanımlamaktadır.

2.5.2.3.2.3. MSE Bariyerler

Amerika'da kullanılan ASTM C1776/C1776M-17 standartı ıslak dökümlü imal edilen, dayanma duvarı imalatında kullanılan modüler malzeme özelliklerini tanımlamaktadır.

Avrupa'da kullanılan EN 14475:2006/AC:2006 standartı destekli mühendislik dolgularının imalat esaslarını tanımlamaktadır.

2.5.2.3.3. Uyarı Çitleri

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir korunma yöntemi olan uyarı çiti uygulaması ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan veya Avrupa Standartına ulaşılamamıştır.

2.5.2.3.4. Tel Ağlar

Kaya düşmesi olayı nedeniyle yüksek riske sahip olan bir bölgede iyileştirme amaçlı kullanılabilecek bir korunma yöntemi olan uyarı çiti uygulaması ile ilgili yapılan araştırma sonucu herhangi bir Amerikan Standartına ulaşılamamıştır.

Avrupa kullanılan EN 10223-3:2013 standartı inşaat amaçlı kullanılacak altıgen çelik ağ malzemelerinin özelliklerini tanımlamaktadır.

2.5.2.3.5. Yakalama Çitleri

Amerika'da ETAG27 ve SAEFL standartlarını esas alarak oluşturulan NCHRP20-07 standartı 2003 yılında yürürlüğe girmiştir ve yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır.

İsviçre'de kullanılan SAEFL standartı 2001 yılında yürülüğe girmiştir yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır. 2006 yılında SAEFL standartına eklemeler yapılmıştır.

Avrupa'da kullanılan ETAG27 standartı 2008 yılında yürülüğe girmiştir ve yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır.

NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu özellikler Çizelge 2.29'da, bu standartlartın sahip olduğu olumlu ve olumsuz yönler Çizelge 2.30'da sunulmaktadır.

Çizelge 2.29: NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu özellikler ([176'dan değiştirilerek alınmıştır.).

	Kılavuz		
	SAEFL	**NCHRP 20-07**	**ETAG 27**
Geliştirilen yer	İsviçre	Amerika Birleşik Devletleri	Avrupa Birliği
Test Sorumluluğu	Yöneten Kuruluş	İmalatçı	Yöneten Kuruluş
Kaya/Blok Gönderim Yöntemi	Düşey düşme	Düşey düşme, eğimli kablo ve kaya yuvarlanması	Düşey düşme veya eğimli kablo
Kaya/Blok tipi	Üretilmiş	Üretilmiş veya doğal	Üretilmiş
Çit Yüksekliği	Sınırlı	Sınırlı	Sınırsız
Dikme Aralığı / Panel Genişliği	Sınırlı	Sınırsız	Sınırsız
Küçük Çaplı Kaya / Blok Testi	Evet	Evet	Hayır
MEL / SEL	2	2	3
Düşük Enerjili Testler (SEL)	1	1	2
Düşük Enerjili Testler (MEL)	1	1	1
SEL'de Artık Yükseklik	Sınırsız	Sınırsız	1.Test: > %70 2.Test: Sınırsız
MEL'de Artık Yükseklik	>%50	>%60	Kategori A, B, C
SEL'de Uzama	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız
MEL'de Uzama	Sınırlı	Sınırlı	Sınırsız
Bakım	Değerlendirilir	Değerlendirilir	Değerlendirilmez

Çizelge 2.30: NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu olumlu ve olumsuz yönler ([176'dan değiştirilerek alınmıştır.).

Kılavuz	Avantajlar	Dezavantajlar
SAEFL	- Testler kolayca tekrarlanabilir - Küçük çaplı kaya/blok testleri - Bakım ve onarım yöntemleri değerlendirilir - Uzama sınırlıdır - Halatlar ve ankrajlarda kuvvet ölçümleri	- Dikme uzaklığı ve panel genişliği sınırlıdır - %50 artık yükseklik sınırlaması - 10 farklı noktadan kuvvet okuması gerektirmektedir - Temellerde kuvvet okuması yapılamamaktadır - Düşey düşme testleri gerçek durumu temsil etmemektedir
NCHRP 20-07	- Kolayca ulaşılabilen ve taşınabilir malzeme ile imalatçılar tarafından yürütülebilir - Birçok kaya/blok gönderim seçeneği - Dikme uzaklığı/panel genişliği imalatçılar tarafından belirlenen sınırlamalar içerisinde test sonrasında belirlenmektedir. - Temel ve ankraj tasarımı hakkında yazılı belge istenmektedir - Dikme temeli, yatay ankrajlar ve şev yüzeyindeki ankrajlar için kuvvet ölçümleri istenmektedir	- Sonuçlar yanlı olabilir - %60 artık yükseklik sınırlaması - Gerçekleştirilmesi güç olan kaya yuvarlanması testine izin vermektedir
ETAG 27	- Avrupa'da yaygın olarak kullanılmaktadır - Birçok kaya/blok gönderim seçeneği - Dikme uzaklığı/panel genişliği imalatçı tarafından belirlenmektedir. - Dikme temeli, yatay ankrajlar ve şev yüzeyindeki ankrajlar için kuvvet ölçümleri istenmektedir	- SAEFL ve NCHRP20-07'den farklıdır - Uzamayı sınırlamaz - Dikme uzaklığı/panel genişliğinde yapılacak değişiklikleri sınırlamaz - %50 artık yükseklik sınırlaması - Bakım ve onarım yöntemleri değerlendirilmez

2.5.2.3.6. Zayıflatıcı Asılı Ağlar

Amerika'da ETAG27 ve SAEFL standartlarını esas alarak oluşturulan NCHRP20-07 standartı 2003 yılında yürürlüğe girmiştir ve yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır.

İsviçre'de kullanılan SAEFL standartı 2001 yılında yürülüğe girmiştir yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır. 2006 yılında SAEFL standartına eklemeler yapılmıştır.

Avrupa'da kullanılan ETAG27 standartı 2008 yılında yürülüğe girmiştir ve yakalama çitlerinin sahip olması gereken özellikleri tanımlamaktadır.

NCHRP20-07, ETAG27 ve SAEFL standartlarının sahip olduğu özellikler Çizelge 2.29'da, bu standartların sahip olduğu olumlu ve olumsuz yönler Çizelge 2.30'da sunulmaktadır.

3. MEKANİK BİLİMİ VE HAREKET SORUNLARI İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu bölümde cisimlerin özellikleri bilinen bir çevre içerisindeki hareketlerinin incelenmesini sağlayan yöntemlere sahip mekanik bilimi ve bu bilimin inceleme konusu olan hareket sorunları hakkında genel bilgiler sunulmaktadır.

3.1. Fizik ve Mekanik Bilimi ile Hareket Sorunu

Doğada tüm zaman ve büyüklük ölçeklerinde meydana gelen olayları anlamamız için araçlar sunan fizik biliminin bir alt kolu cisimlerin hareketlerinin incelendiği mekanik bilimidir [128]. Herhangi bir cismin yaptığı hareketin tahmin edilebilmesi için hareketi tanımlayan sayısal araçlara ihtiyaç olduğundan mekanik biliminin kullandığı ana araç hesaplamalar ve hesaplamalarla ilgili analitik ile sayısal yöntemlerdir. Teziminizin konusu olan kaya düşmelerinde gözlemlendiği gibi kaya bloklarının izledikleri yörünge üzerinde yaptıkları hareketler yukarıda verilen tanımlar ışığında mekanik bilimi tarafından incelenmesi gereken bir “hareket sorunu” meydana getirmektedir.

Hareketli kaya bloklarının oluşturduğu “hareket sorunu” esasında bir fiziksel sorundur. Genel olarak herhangi bir fiziksel soruna çözmek amacıyla yaklaşırken öncelikle fiziksel sezgilerimizi kullanarak sorunu fiziksel kanunları kullanarak matematiksel eşitlikler halinde tanımlayabileceğimiz bir duruma getirene kadar basitleştirmeye çalışırız [128]. Bu sürecin ilk kısmı iyi bir fiziksel modelinoluşturulması ve bu modelin matematiksel eşitlikler yardımıyla matematiksel soruna dönüştürülmesi oluşturmaktadır [128]. Genellikle bu kısım “sorunun fiziği” olarak anılmaktadır [128]. Matematiksel eşitlikler yardımıyla sorun tanımlandığında incelenen cismin hareketi veya cisimlerin hareketleri tanımlanmış olur. Hareket probleminin çözüm sürecinin ikinci kısmında ise matematiksel eşitlikler yardımıyla matematiksel olarak tanımlanan “hareket sorunu” analitik veya sayısal yöntemler kullanılarak çözümlenir [128]. Pratikte doğru fiziksel eşitliklerin bulunması ile matematiksel sorunun çözümü arasında kayda değer bir etkileşim bulunmaktadır. Fiziksel ve özellikle korunum yasaları gibi genel kavramlar ile ilgili sezgilerimizi kullanarak analitik çözümlere ulaşmamız mümkün olabilmektedir. Fakat bir çok sorun ve tartışmaya açık olarak neredeyse tüm uygulama sorunları için basit bir analitik çözüm yapabilmek mümkün olamamaktadır. Bu durumlarla

karşılaşıldığında analitik yöntemler yerine sayısal yöntemler kullanılarak ilgili hareket sorununun çözümüne ulaşmak mümkün olmaktadır [128].

3.2. Analitik ve Sayısal Yöntemler

Analitik yöntemler klasik matematiksel teknikler olan türev alımı, integrasyon veya differansiyel denklemlerin çözülmesi yardımıyla matematiksel bir sorunun kesin ve doğru çözümüne ulaşmamızı sağlayan yöntemlerdir.

Sayısal yöntemler ise matematiksel problemlerin bilgisayarlar veya hesap makineleri yardımıyla sayısal türev alımı, sayısal integrasyon ve sayısal differansiyel denklem çözümü gibi teknikler kullanılarak [128] yaklaşık çözümlerine ulaşmamızı sağlayan yöntemlerdir. Genellikle sayısal türev alımı ile sayısal integrasyon nedeniyle hesaplamalarda ortaya çıkan hata “integrasyon adımının” büyüklüğüne bağlıdır [128].

Sayısal integrasyonun yapılmasında kullanılan yazılım tarafından tanımlı integrasyon hesap döngüsü içerisinde değeri tanımlanmış olan “zaman adımı” integrasyon adımının büyüklüğünü kontrol etmektedir [128]. Genellikle integrasyon adım büyüklüğü (zaman adım büyüklüğü) azaldıkça sayısal yöntem tarafından yapılan hesaplama hatası azalmaktadır [128]. Sayısal yöntem tarafından yapılan hesaplama hatası belirli bir sınıra kadar azaltılabilmekte ve bu sınır bilgisayar tarafından yapılan sayısal yuvarlama hatalarının baskın olduğu an ile tanımlanmaktadır [128]. Daha hassas sonuçlar elde etmek için daha küçük integrasyon adımlarının kullanımı zaman zaman büyük hesaplama hatalarının yapılmasına neden olabilmektedir [128].

3.3. Ölçümler ve Birimler

Fizik bilimi sayesinde doğayı sayılar yardımıyla tanımlamamız mümkün olmaktadır. Fakat ölçüm birimleri kullanılarak gerçek dünya ile ilişkilendirilmeyen sayıların karşılaşılan fiziksel sorunların çözümünde kullanılması pratik olmayacaktır. Örnek vermek gerekirse, içerisinde bulunduğunuz odanın bir kenarını adımlarınız kullanarak bulabilirsiniz. Odanın bir kenarının sizin adımınızla 10 adım uzunluğunda olduğunu belirlediğinizi kabul edelim. Sadece 10 sayısını gerçek dünyada herhangi bir ölçüm birimi olmadan kullanmak pek bir anlam ifade etmeyecektir. Ayrıca odanın kenarını ölçmek için ölçüm birimi olarak kendi adımınızı kullanmanız kendinizden başkası için de anlamlı bir değer

belirtmeyecektir. Bu nedenle fiziksel ölçümler yapılırken standart ölçüm birimleri kullanılmaktadır.

3.3.1. Standartlaştırılmış Ölçüm Birimleri

Yapılan tez çalışması kapsamında yapılan ölçümlerde Çizelge 3.1'de sunulan SI birimleri kullanılmıştır.

Çizelge 3.1: Uluslararası Birimler Sistemi (SI) ve Ön Ekleri ([128]'den değiştirilerek alınmıştır).

SI Birimleri			**Ön Ekler**		
Nicelik	***Birim***	***Simge***	***Katsayı***	***Ön Ek***	***Simge***
Uzunluk	Metre	m	10^{12}	Tera-	**T**
Zaman	Saniye	s	10^{9}	Giga-	**G**
Kütle	Kilogram	kg	10^{6}	Mega-	**M**
Kuvvet	Newton	N	10^{3}	Kilo-	**k**
Enerji	Joule	J	10^{-1}	Desi	**d**
1 Newton = 1 N = 1 kg m s^{-2}			10^{-2}	Santi-	**c**
			10^{-3}	Mili-	**m**
			10^{-6}	Mikro-	μ
1 J = 1 N m = 1 kg m s^{-2} m = 1 kg m^2 s^{-2}			10^{-9}	Nano-	**n**
			10^{-12}	Piko-	**p**
			10^{-15}	Femto-	**f**

3.3.2. Belirsizlik ve Anlamlı Rakamlar

Ölçülen niceliklere ait değerler hiçbir zaman kesin olarak belirlenememektedir, kullanılan ölçüm yöntemine bağlı olarak belirsizlikler içermektedir. Pratik hesaplamalarda kullanılan sayılar için belirli hata aralığı yapılan ölçüm/ölçümler ile birlikte verilmekte veya verilen sayının en küçük anlanlı rakamının bulunduğu basamağın değerinin yarısı kadar hata içerdiği kabul edilmektedir (James, G., 2015, sf:48). Örnek vermek gerekirse yerçekimi ivmesi değeri aşağıda sunulan şekilde herhangi bir metin içerisinde

$$g_0 = 9.80665$$

olarak verildiğinde ilgili sayının 6 anlamlı rakama sahip olması, sayı içerisindeki en küçük basamak değerine sahip anlamlı rakamın (5 rakamı) sayının on binde birler basamağında bulunması ve sayı ile birlikte herhangi bir hata miktarının belirtilmemiş olması nedeniyle

$$g_0 = 9.80665 \pm 0.000005$$

olduğu yani,

$$9.806645 < g_0 < 9.806655$$

olduğu kabul edilmektedir [129]. Bir başka deyişle standart uygulama, herhangi bir uyarının yapılmadığı durumlarda pratik hesaplamalarda kullanılacak değerlerin son basamağındaki rakamın anlamlı bir rakam olamayabileceğinin kabul edilmesidir [128].

Anlamlı rakamlar aşağıdaki kurallar kullanılarak belirlenmektedir [130]:

- Sıfırdan farklı rakamlar ve sıfırdan farklı rakamlar arasındaki sıfırlar anlamlı rakamlardır.
- Sıfırdan farklı ilk rakamdan önce yazılmış olan sıfırlar anlamlı değildir.
- Ondalık virgülü bulunan bir sayıda virgülün ve son sıfırdan farklı rakamın sağında bulunan sıfırlar anlamlı rakamlardır.
- Ondalık virgülü bulunmayan bir sayıda virgülün ve son sıfırdan farklı rakamın sağında bulunan sıfırların anlamlı veya anlamsız olabilir. Bu sıfırların anlamlılık durumunun belirlenmesi için ek bilgi verilmesi gerekmektedir.

Yukarıda belirtilen belirsizliklerin yapılan ölçüm değerleri içerisinde bulunması nedeniyle ilgili değerleri belirten sayıların her zaman anlamlı rakamlar kullanılarak sunulması gerekmektedir. Yapılan bir araştırmanın sonuçlarındaki belirsizlikler kullanılan veri kümesi içerisindeki en büyük belirsizliğe sahip sayı tarafından kontrol edilmektedir [128]. Pratik olarak çarpma işlemi yapılırken sonuca ait anlamlı rakam sayısını çarpılan sayılar içerisinde en az anlamlı rakama sahip sayı, toplama işlemi yapılırken ise ondalık virgülünün konumu işlemin sonucunu gösterir sayı içerisindeki anlamlı rakam sayısını belirlemektedir [128]. Çarpma ve toplama işlemi için ilgili örnekler Eşitlik (3.1) ile (3.7) arasında sunulmaktadır [128]:

$$2.10101\ N\ \times 4.0\ m = 8.4\ N \tag{3.1}$$

$$2\ kN \times 4.400\ m = 9\ Nm \tag{3.2}$$

$$2kN\ \times 4.000\ m\ \times 2.600\ s = 20\ Nms = 2 \times 10^1\ Nms \tag{3.3}$$

$$3.4\ mm + 10\ mm = 13\ mm \tag{3.4}$$

$$1000.00\ mm + 5\ m = 1005\ m \tag{3.5}$$

$$1\ km + 10\ m = 1\ km + 0.010\ km = 1\ km \tag{3.6}$$

$$1.000\ km + 10\ m = 1.000\ km + 0\ 010\ km \tag{3.7}$$

Hesaplamalarda yapılan yuvarlama hatalarının miktarlarının belirlenmesinde kullanılacak yöntemler ayrıntılı olarak James, G. tarafından yapılan 2015 yılındaki yayım [129] içerisinde sunulmaktadır. Yapılan tez çalışması içerisinde sunulan verilerin ve hesaplama sonuçlarının belirtilmesinde Ek-1, Bölüm 3.3.2 içerisinde sunulan esaslar dikkate alınmıştır.

3.4. Newton Yasaları

Birinci Yasa: Bir parçacık üzerine etkiyen dengelenmemiş bir kuvvet bulunmuyorsa hareketsiz olarak durmaya veya sabit hızla hareket etmeye devam eder [131].

İkinci Yasa: Bir parçacığın ivmesi üzerine etkiyen net kuvvet ile orantılı ve bu kuvvet ile aynı yöndedir. Bir başka deyişle bir parçacığa etkiyen net kuvvet parçacığın zamana bağlı olarak momentumunda yaşanan değişikler ile orantılıdır ve bu değişim kuvvet ile aynı yöndedir [131]. "***F***" "m" kütlesine sahip bir parçacık üzerine etkiyen net kuvvet ve "**a**" ivmeye sahip olmayan bir başlangıç koordinat sistemi içerisinde ölçülen parçacığın ivmesi olmak üzere Newton'un İkinci Yasası Eşitlik (3.8) kullanılarak ifade edilmekte ve dinamik bilimi içerisinde yapılan birçok inceleme için temel oluşturmaktadır [131]:

$$\mathbf{F} = \mathrm{m}\mathbf{a} \tag{3.8}$$

Üçüncü Yasa: Etkileşim içerisindeki cisimlere ait etki ve tepki kuvvetleri aynı doğru üzerinde bulunan büyüklükleri eşit, ters yönlere sahip vektörlerdir [131].

3.5. Hareket Sorunları

Hareket sorunları esasında mekanik biliminin kolu olan dinamik biliminin inceleme konusudur. Dinamik bilimi kuvvetler etkisi altında bir cismin hareketini incelemektedir ve kendi içerisinde "kinematik" ve "kinetik" olarak iki bölüme ayrılmaktadır [131]. Kinematik harekete neden olan kuvvetleri dikkate almadan cismin yaptığı hareketleri incelemekte, kinetik ise cisim üzerine etkiyen ve

harekete neden olan kuvvetlerin etkilerini sonuçta ortaya çıkan hareket ile ilişkilendirmektedir [131].

Bu bölüm içerisinde hareket sorunlarının ve konu ile ilgili genel terimlerin tanımları, çözüm yöntemleri ile ilgili eşitlikler sunulmaktadır.

3.5.1. Tanımlar

Vektörel ile sayıl niceliklerin tanımları, özellikleri ve kullanıldıkları işlemler Ek 2 içerisinde sunulmaktadır.

Uzay

Konumları doğrusal ve açısal ölçümler ile belirli bir koordinat sistemine göre tanımlanmış cisimlerin kapladığı geometrik bölge. Üç boyutlu sorunların çözümü için cisme ait 3 adet, iki boyutlu sorunların çözümü için sadece 2 adet bağımsız koordinat bulunması gerekmektedir [132].

Zaman

Birbirini takip eden olayların dinamik bilimi içerisinde ölçülmesini sağlayan temel niceliktir [132].

Kütle

Bir cismin hızını değişmekte gösterdiği direnç olan cisme ait eylemsizliğin ölçütüdür. Ayrıca cismi oluşturan malzeme miktarı olarak ta düşünülebilir. Kütlesel çekim kuvvetleri üzerinde etkilidir [132].

Kuvvet

Bir cismin diğer bir cisim üzerindeki etkisidir ve üzerine etkidiği cismi etki ettiği yöne doğru doğru hareket etmesini sağlamaktadır [132]. Kuvvet vektörel bir niceliktir; yönü, büyüklüğü ve etki ettiği nokta ile tanımlanmaktadır [132].

Doğada bulunan kuvvetler Güçlü Çekirdek Kuvvetleri, Zayıf Çekirdek Kuvvetleri, Elektromanyetik Kuvvetler, Kütle Çekimsel Kuvvetler olmak üzere dört temel kuvvet cinsine indirgenerek ifade edilebilmektedir [128]. Kuvvetlerin sınıflandırılması ile ilgili ayrıntılı bilgi Bölüm 3.5.4.1 içerisinde sunulmaktadır.

Kuvvet Modelleri

Üzerinde çalıştığımız nesnelerin birçok atomdan oluşması ve nesneyi oluşturan her bir atom nedeniyle ortaya çıkan kuvvetlerin toplamının pratik olarak

hesaplanamaması nedeniyle ilgili makroskopik (iri ölçekli) kuvvetlerin hesaplanması için geliştirilen modellere kuvvet modelleri denilmektedir [128]. İri ölçekli nesnelerin üzerine etkiyen kuvvetlerin belirlenmesinde kullanılmaktadırlar [128].

Parçacık

İhmal edilebilir boyutlara sahip cisimdir. Matematiksel olarak parçacığın boyutlarının sıfıra yakın olduğu kabul edilmekte ve belirli bir kütleye sahip olan bir nokta olarak hesaplamalarda dikkate alınmaktadır [132]. Bir cisim, boyutları konumu veya üzerine etkiyen kuvvetlerin yarattığı sonuçlarla ilişkisiz olduğunda parçacık olarak değerlendirilmelidir [132]. Örnek olarak bir uçak uçuş yörüngesinin tanımı dikkate alınarak bir parçacık olarak değerlendirilebilir [131]. Parçacık genellikle cismi oluşturan diferansiyel bir eleman olarak düşünülmektedir [132].

Rijit Cisim

Cismin bir bütün olarak yaptığı konum değişiklikleri veya cismin boyutları dikkate alındığında cismin herhangi iki noktası arasındaki mesafe değişiklikleri (cismin uğradığı şekil değişiklikleri) ihmal edilebilir düzeyde ise bu cisim rijit cisim olarak adlandırılmaktadır [131, 132]. Türbülanslı bir hava içerisinde uçmakta olan bir uçağa ait kanat ucunun yaptığı küçük hareketler uçağın izlediği yörünge üzerinde yaptığı hareketin tanımı dikkate alındığında ihmal edilebilecek düzeydedir [131]. Bir başka deyişle kanat ucunun uçus sırasında yaptığı esneme hareketleri uçağın izlediği rotanın üzerinde etkili değildir. Bu nedenle uçağın rijit bir cisim olarak varsayılması kabul edilebilir bir yaklaşımdır [131]. Fakat kanat yapısı içerisinde oluşan gerilmeler incelenmek istendiğinde yapının yer değiştirme özellikleri etkili olacağından uçağın rijit bir cisim olarak kabul edilmesi uygun olmayan bir varsayım haline gelecektir [131].

Konum ve Yer Değiştirme

Nesnenin hareketi zamana bağlı bir fonksiyon olan ve belirli bir koordinat sistemi içerisinde ölçülen **konumlar** ile tanımlanmaktadır. Hareket tek boyutlu olarak incelenirken sayıl bir büyüklük olan *x(t)* ile, birden fazla boyutta incelenirken vektörel bir büyüklük olan ***r(t)*** ile gösterilmektedir [128].

Belirli bir zaman aralığında nesnenin konumundaki değişimi ifade eden **yer değiştirme,** $\Delta x(t_1)$, $t=t_1$ *ve* $t=t_1+\Delta t$ zaman aralığında tek boyutlu hareket *için* aşağıdaki eşitlik kullanılarak tanımlanmaktadır [128]:

$$\Delta\, x(t_1) = x(t_1 + \Delta\, t) - x(t_1) \tag{3.9}$$

Birden fazla boyutta hareket incelenmek istendiğinde ***r(t)*** Bölüm 3.5.3.1'de sunulan koordinat sistemlerinin herhangi birinde tanımlı, nesnenin konum vektörünün bileşenlerini belirtir bir matris olmak şartıyla aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır:

$$\Delta\, \boldsymbol{r}(t_1) = \boldsymbol{r}(t_1 + \Delta\, t) - \boldsymbol{r}(t_1) \tag{3.10}$$

Hız

Hız nesnenin konumunda zamana bağlı olarak yaşanan değişimdir [128].

Ortalama Hız

Ortalama hız aşağıdaki eşitlikte sunulduğu gibi belirli bir zaman aralığında nesnenin yaptığı yer değiştirmenin toplam süreye bölünmesiyle tek boyutlu hareket için hesaplanmaktadır [128]:

$$v(t_1) = \frac{x(t_1 + \Delta\, t) - x(t_1)}{\Delta\, t} = \frac{\Delta\, x(t_1)}{\Delta\, t} \tag{3.11}$$

Birden fazla boyutta hareket incelenmek istendiğinde ***r(t)*** , ***v(t)*** Bölüm 3.5.3.1'de sunulan koordinat sistemlerinin herhangi birinde tanımlı, sırasıyla nesnenin konum ve hız vektörlerinin bileşenlerini belirtir bir matris olmak şartıyla aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır:

$$\boldsymbol{v}(t_1) = \frac{\boldsymbol{r}(t_1 + \Delta\, t) - \boldsymbol{r}(t_1)}{\Delta\, t} = \frac{\Delta\, \boldsymbol{r}(t_1)}{\Delta\, t} \tag{3.12}$$

Anlık Hız

Anlık hız, konumun zamana göre türevidir ve tek boyutlu hareket için aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [128]:

$$v(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{x(t + \Delta\, t) - x(t)}{\Delta\, t} \right) = \frac{dx}{dt} = \dot{x} \tag{3.13}$$

Birden fazla boyutta hareket incelenmek istendiğinde ***r(t)*** , ***v(t)*** Bölüm 3.5.3.1'de sunulan koordinat sistemlerinin herhangi birinde tanımlı, sırasıyla nesnenin konum ve hız vektörünün bileşenlerini belirtir bir matris olmak şartıyla aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır [128]:

$$\boldsymbol{v}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\boldsymbol{r}(t + \Delta\, t) - \boldsymbol{r}(t)}{\Delta\, t} \right) = \frac{\Delta\, \boldsymbol{r}(t)}{\Delta\, t} = \frac{d\boldsymbol{r}}{dt} = \dot{\boldsymbol{r}} \tag{3.14}$$

İvme

İvme nesnenin hızında zamana bağlı olarak yaşanan değişimdir [128].

Ortalama İvme

Ortalama ivme aşağıdaki eşitlikte sunulduğu gibi belirli bir zaman aralığında nesnenin sahip olduğu hızların farkının toplam süreye bölünmesiyle tek boyutlu hareket için hesaplanmaktadır [128]:

$$a(t_1) = \frac{v(t_1 + \Delta\, t) - v(t_1)}{\Delta\, t} = \frac{\Delta\, v(t_1)}{\Delta\, t} \tag{3.15}$$

Birden fazla boyutta hareket incelenmek istendiğinde ***v(t)***, ***a(t)*** Bölüm 3.5.3.1'de sunulan koordinat sistemlerinin herhangi birinde tanımlı, sırasıyla nesnenin hız ve ivme vektörlerinin bileşenlerini belirtir bir matris olmak şartıyla aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır [131]:

$$\boldsymbol{a}(t_1) = \frac{\boldsymbol{v}(t_1 + \Delta\, t) - \boldsymbol{v}(t_1)}{\Delta\, t} = \frac{\Delta\, \boldsymbol{v}(t_1)}{\Delta\, t} \tag{3.16}$$

Anlık İvme

Anlık ivme, hızın zamana göre türevidir ve tek boyutlu hareket için aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [128]:

$$a(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{v(t + \Delta\, t) - v(t)}{\Delta\, t} \right) = \frac{d^2x}{dt^2} = \ddot{x} = \frac{dv}{dt} = \dot{v} \qquad (3.17)$$

Birden fazla boyutta hareket incelenmek istendiğinde ***v(t)***, ***a(t)*** Bölüm 3.5.3.1'de sunulan koordinat sistemlerinin herhangi birinde tanımlı, sırasıyla nesnenin hız ve ivme vektörlerinin bileşenlerini belirtir bir matris olmak şartıyla aşağıdaki eşitlik kullanılmalıdır [131]:

$$\boldsymbol{a}(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\boldsymbol{v}(t + \Delta\, t) - \boldsymbol{v}(t)}{\Delta\, t} \right) = \frac{d^2\boldsymbol{r}}{dt^2} = \ddot{\boldsymbol{r}} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \dot{\boldsymbol{v}} \qquad (3.18)$$

Nesne(Sistem)

Hareket sorunu içerisinde hareketi incelenen cisim veya cisimler nesne (sistem) olarak tanımlanmaktadır [128]

Ortam

Hareket sorunu tanımlanırken kullanılan ve "nesne" olmayan her şey ortam olarak tanımlanmaktadır [128]**.**

3.5.2. Yapılandırılmış Sorun Çözme Yaklaşımı

Hareket sorunları Şekil 3.1'de sunulan yapılandırılmış sorun çözme yaklaşımı kullanılarak çözülmektedir. Hareket sorunu nesne(sistem) ve ortam olarak ayırtlanmalıdır. Nesne (sistem) özellikleri tanımlanmalıdır. Nesnenin konumunun içerisinde yapılacak ölçümlerle belirleneceği koordinat sistemi başlangıç noktası ve eksen özellikleri ile birlikte tanımlanmalıdır. Nesnenin harekete başladığı andaki konum ve hızını belirten başlangıç koşulları zamana bağlı olarak belirlenmelidir.

Nesne üzerine etkiyen kuvvetler belirlenerek ortam ile nesne arasındaki etkileşimi tanımlayan kuvvet modeli tanımlanmalıdır. Tanımlanan kuvvet modeli ve Newton'un İkinci Yasası kullanılarak nesnenin sahip olduğu ivme belirlenir.

Şekil 3.1'de "Çözüm" aşamasında sunulan eşitlik "Tanımlama" aşamasında kullanılan başlangıç koşulları dikkate alınarak çözümlendiğinde nesnenin hızına ve konumuna zamana bağlı bir fonksiyon olarak ulaşılır. İlgili eşitliğin çözümü analitik yöntemler kullanılarak sadece ivme zamanın bir fonksiyonu olduğunda

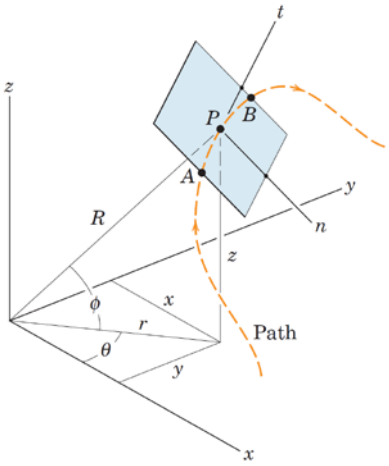
yapılabilmektedir [128]. İvme konumun veya hızın bir fonksiyonu olduğunda Şekil 3.1'de "Çözüm" aşamasında sunulan eşitlik bir diferansiyel denklem haline gelmektedir ve differansiyel denklemlerin analitik olarak çözümlerinin yapılması denklemler belirli özelliklere sahip olmadığında mümkün olmamaktadır [128]. Analitik olarak çözümü yapılamayan differansiyel denklemler sayısal yöntemler kullanılarak çözülebilmektedir [128]. Hareket sorunlarının çözümünde kullanılan sayısal yöntemler ile ayrıntılı bilgiler Bölüm 3.5.6. içerisinde sunulmaktadır.

TANIMLAMA	MODELLEME	ÇÖZÜM	DEĞERLENDİRME
Hangi nesne(sistem) hareket etmektedir?	Nesneye etkiyen kuvvetlerin belirlenmesi	$x(t_0) = x_0$ ve $v(t_0) = v_0$ başlangıç koşulları olmak üzere $\frac{d^2x}{dt^2} = a(x,v,t)$ eşitliğinin analitik veya sayısal yöntemler kullanılarak çözümlenmesi	$x(t)$ve $v(t)$ geçerliliği kontrol edilir.
Nesnenin (sistemin) konumu, $x(t)$, nasıl ölçülmüştür? (Ölçümde kullanılan koordinat sisteminin başlangıç noktası, eksen özellikleri)	Kuvvetler için kuvvet modellerinin ileri sürülmesi		Zamana bağlı konum ve hız fonksiyonları istenen soruya cevap verecek şekilde kullanılır.
Başlangıç koşullarının belirlenmesi, $x(t_0)$ ve $v(t_0)$	Newton'un İkinci Yasa'sının ivmenin $a = a(x,v,t)$ olarak belirlenmesi için uygulanması	Eşitliğin çözümü sayesinde nesnenin konumuna ve hızına zamana bağlı bir fonsiyon olarak ulaşılacaktır, $x(t)$ ve $v(t)$	Sonuçlar değerlendirilir.

Şekil 3.1: Yapılandırılmış sorun çözme yaklaşımı [128].

3.5.3. Koordinat Sistemleri

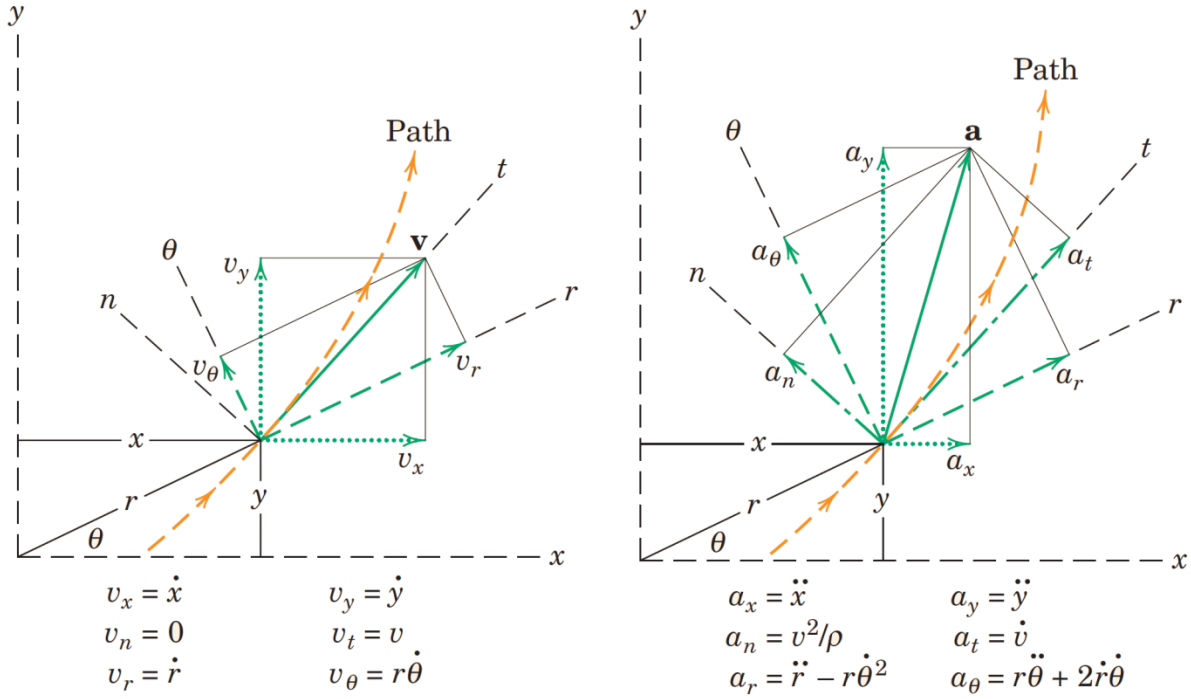
Bir P parçacığının herhangi bir *t* zamanındaki uzaydaki konumu kartezyen koordinatları (x-y-z), silindirik koordinatları (r-θ-z) veya küresel koordinatları kullanılarak tanımlanmaktadır. Ayrıca P parçacığının yaptığı hareket izlediği yörünge boyunca yörüngeye dik (n) ve teğet (t) yönde yapılan ölçümler ile de tanımlanabilmektedir [131]. Bu ölçümler yörünge değişkenleri olarak adlandırılmaktadır [131]. Durum Şekil 3.2'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2: Bir P parçacığının herhangi bir t zamanındaki uzaydaki konumu [131]

3.5.3.1. 2 Boyutlu Sistemler

2 boyutlu sistemler düzlemde eğrisel hareketin tanımlanmasında kullanılan sabit koordinat sistemleridir ve kartezyen(x-y), kutupsal(r-θ) ile normal ve teğet (n-t) koordinat sistemlerinden oluşmaktadır [131]. İlgili sistemler içerisinde tanımlanan hız ve ivme vektörlerine ait bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkileri Şekil 3.3'te sunulmaktadır.



Şekil 3.3: Kartezyen(x-y), Kutupsal (r-θ) ile Normal ve Teğet (n-t) koordinat sistemleri içerisinde tanımlanan hız ve ivme vektörlerine ait bileşenler [131].

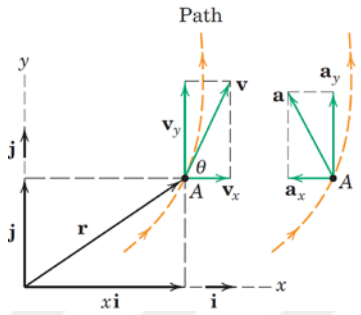
3.5.3.1.1. Kartezyen Koordinat Sistemi (x-y)

İvmenin x ve y bileşenlerinin birbirinden bağımsız olduğu durumlarda yapılacak hesaplamalarda kullanılması uygundur [131]. Sonuçta oluşan eğrisel hareket konum, hız, ivme vektörlerinin vektörel toplamından meydana gelmektedir [131]. Parçacığa ait net hız vektörü her zaman parçacığın takip ettiği yörüngeye teğettir [131]. Kartezyen koordinat sistemi kullanılarak konum, hız ve ivme vektörleri "**r**" konum vektörü, "**v**" hız vektörü, "**a**" ivme vektörü, "**i**" x eksenine ait birim vektör, "**j**" y eksenine ait birim vektör Eşitlik (3.19), (3.20) ve (3.21) kullanılarak ifade edilmektedir.

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} \tag{3.19}$$

$$\boldsymbol{v} = \dot{\boldsymbol{r}} = \dot{x}\boldsymbol{i} + \dot{y}\boldsymbol{j} \tag{3.20}$$

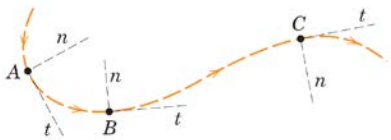
$$\boldsymbol{a} = \dot{\boldsymbol{v}} = \ddot{x}\boldsymbol{i} + \ddot{y}\boldsymbol{j} \tag{3.21}$$



Şekil 3.4: Kartezyen koordinat sistemi içerisinde yörünge üzerindeki A parçacığının konumu [131].

3.5.3.1.2. Normal ve Teğet Koordinatlar (n-t)

Bir parçacığın yaptığı eğrisel hareket izlediği yörüngeye dik (n) ve teğet (t) yönde yapılan ölçümler kullanılarak tanımlanabilmektedir. Şekil 3.5'te sunulan şekilde hareketin yörüngeye dik bileşenin (n) pozitif yönü izlenen yörünge üzerindeki eğrilerin merkezlerini gösterir yöndür ve n ve t koordinatlarının yörünge boyunca parçacık ile birlikte hareket ettiği kabul edilmektedir. [131]. n ve t koordinatları eğrisel hareket yapan bir parçacığın hızının ve ivmesinin vektörel olarak tanımlanmasında kullanılmaktadır [131].

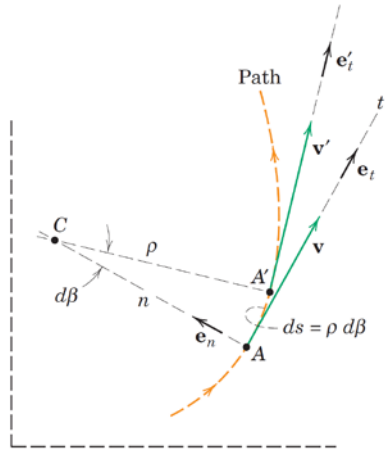


Şekil 3.5: Parçacığın eğrisel yörünge üzerinde yaptığı hareketin A, B, C noktalarında yörüngeye dik ve teğet bileşenler yardımıyla gösterimi [131].

"dt" büyüklüğündeki diferansiyel bir zaman artışı sırasında A parçacığı eğri üzerinde "ds" kadar yer değiştirerek A' konumuna Şekil 3.6'te gösterilen şekilde

varmaktadır. ρ eğrilik yarıçapı olmak üzere parçacığın yaptığı yer değiştirme $ds = \rho\, d\beta$ eşitliği kullanılarak β'nın radyan cinsinden ölçülmesi durumunda hesaplanmaktadır. Hız vektörü ise $v = ds/dt = \rho\ d\beta/dt$, "$\mathbf{e_n}$" pozitif n yönündeki birim vektör ve "$\mathbf{e_t}$" pozitif t yönündeki birim vektör olmak üzere Eşitlik (3.22) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\boldsymbol{v} = v\boldsymbol{e_t} = \rho\dot{\beta}\boldsymbol{e_t} \tag{3.22}$$



Şekil 3.6: A Parçacığına ait hız vektörünün ve konumun dt süresince değişimi [131]

Eşitlik (3.22)'nin zamana göre türevi Ek 3 içerisinde sunulan vektörel türev kuralı kullanılarak alındığında Eşitlik (3.23) elde edilmektedir.

$$\boldsymbol{a} = \frac{d\boldsymbol{v}}{dt} = \frac{d(v\boldsymbol{e_t})}{dt} = v\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{t}} + \dot{v}\boldsymbol{e_t} \tag{3.23}$$

Birim vektör Şekil 3.7'de sunulan şekilde dt süresince d$\mathbf{e_t}$ kadar yönünü değiştirmiş olacaktır. Bu değişimin büyüklüğü $\mathbf{e_t}$ birim vektörünün radyan olarak ölçülen dβ açısı boyunca başlangıç noktası değiştirilmeden döndürülmesi ile elde edilen yayın uzunluğu olacaktır ($|\mathbf{e_t}|$ dβ= dβ). Değişimin yönü ise $\mathbf{e_n}$ tarafından kontrol edildiğinden d$\mathbf{e_t}$ = $\mathbf{e_n}$ dβ şeklinde yazılabilir. Bu eşitliğin dt'ye bölündüğünde $\mathbf{e_t}$ birim vektörünün zamana göre türevi Eşitlik (3.24)'te sunulan şekilde elde edilir.

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{t}} = \dot{\beta}\boldsymbol{e_n} \tag{3.24}$$

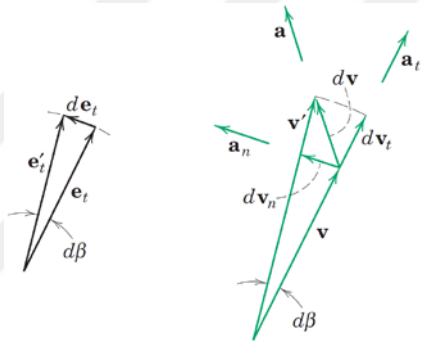
Eşitlik (3.31) ve $v = \rho\, d\beta$ Eşitlik (3.23)'te yerine konduğunda ivme vektörü Eşitlik (3.25)'te sunulan şekilde yörünge değişkenleri cinsinden elde edilmektedir.

$$\mathbf{a} = \frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{e_n} + \dot{v}\boldsymbol{e_t} \tag{3.25}$$

$$a_n = \frac{v^2}{\rho} = \rho\dot{\beta}^2 = v\dot{\beta} \tag{3.26}$$

$$a_t = \dot{v} = \ddot{s} \tag{3.27}$$

$$a = \sqrt{{a_n}^2 + {a_t}^2} \tag{3.28}$$



Şekil 3.7: dt süresince birim vektördeki değişim [131].

3.5.3.1.3. Kutupsal Koordinatlar (r-θ)

Radyal bir uzaklık veya açısal konum tarafından hareketin sınırlandığı veya serbest bir hareketin yapılan radyal uzaklık veya açısal konum ölçümleri tarafından incelendiği durumlarda kullanılması uygundur [131].

r: konum vektörü

v: hız vektörü

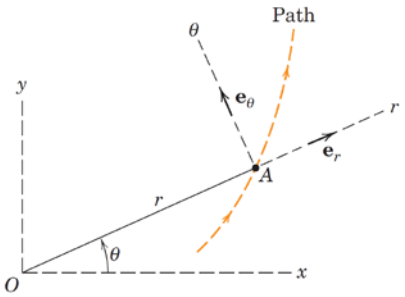
a: ivme vektörü

r: Sabit bir noktaya (x-y koordinat sisteminin başlangıç noktası) olan radyal uzaklık

θ: Keyfi bir sabit çizgi (x ekseni) ile r arasında kalan açı

$\mathbf{e_r}$: vektörün yönüne paralel birim vektör

$\mathbf{e_\theta}$: vektörün yönüne dik birim vektör



Şekil 3.8: Kutupsal koordinat sisteminde yörünge üzerindeki A parçacığının konumu [131].

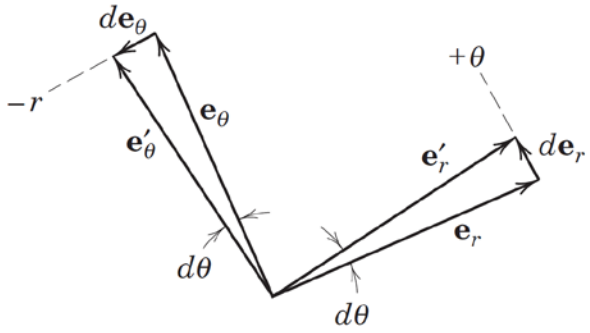
Birim Vektörlerin Zamana Göre Türevi: *dt* kadar süre içerisinde $\mathbf{e_r}$ ve $\mathbf{e_\theta}$ birim vektörleri dθ kadar dönerek Şekil 3.9'te gösterilen $\mathbf{e_r}$' ve $\mathbf{e_\theta}$' konumuna geleceklerdir. Birim vektörlerin büyüklüklerinin zamana göre limit değişim değerleri radyan cinsinden dθ ile yarıçapın çarpımına eşittir ve Eşitlik (3.29)'dan (3.32)'ye kadar sunulan şekilde tanımlanmaktadır:

$$d\boldsymbol{e_r} = \boldsymbol{e_\theta}\, d\theta \qquad \text{ve} \qquad d\boldsymbol{e_\theta} = -\boldsymbol{e_r}\, d\theta \tag{3.29}$$

$$\frac{d\boldsymbol{e_r}}{d\theta} = \boldsymbol{e_\theta} \qquad \text{ve} \qquad \frac{d\boldsymbol{e_\theta}}{d\theta} = -\boldsymbol{e_r} \tag{3.30}$$

$$\frac{d\boldsymbol{e_r}}{dt} = \frac{d\theta}{dt}\boldsymbol{e_\theta} \qquad \text{ve} \qquad \frac{d\boldsymbol{e_\theta}}{dt} = -\frac{d\theta}{dt}\boldsymbol{e_r} \tag{3.31}$$

$$\dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{r}} = \dot{\theta}\boldsymbol{e_\theta} \quad \text{ve} \qquad \dot{\boldsymbol{e}}_{\boldsymbol{\theta}} = -\dot{\theta}\boldsymbol{e_r} \tag{3.32}$$



Şekil 3.9: Kutupsal koordinat sisteminde birim vektörlerin zamana göre türevleri [131].

Ek 2 içerisinde sunulan vektörlerin türevlerinin alınmasında kullanılan kural kullanılarak A parçacığının konum vektörünün zaman göre türevleri alınıp A parçacığına ait hız ve ivme vektörlerine Eşitlik (3.33)'ten (3.41)'e kadar sunulan eşitlikler kullanılarak ulaşılabilir [131]:

$$\boldsymbol{r} = r\boldsymbol{e_r} \tag{3.33}$$

$$\boldsymbol{v} = \dot{\boldsymbol{r}} = \dot{r}\boldsymbol{e_r} + r\dot{\theta}\boldsymbol{e_\theta} \tag{3.34}$$

$$v_r = \dot{r} \tag{3.35}$$

$$v_\theta = r\dot{\theta} \tag{3.36}$$

$$v = \sqrt{{v_r}^2 + {v_\theta}^2} \tag{3.37}$$

$$\boldsymbol{a} = \left(\ddot{r} - r\dot{\theta}^2\right)\boldsymbol{e_r} + (r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta})\boldsymbol{e_\theta} \tag{3.38}$$

$$a_r = \ddot{r} - r\dot{\theta}^2 \tag{3.39}$$

$$a_\theta = r\ddot{\theta} + 2\dot{r}\dot{\theta} = \frac{1}{r}\frac{d}{dt}(r^2\dot{\theta}) \tag{3.40}$$

$$a = \sqrt{{a_r}^2 + {a_\theta}^2} \tag{3.41}$$

3.5.4. Kuvvet

Bu bölüm içerisinde kuvvetler ve kullanılan belirli kuvvet modelleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler sunulmaktadır.

3.5.4.1. Kuvvetlerin Sınıflandırılması

Doğada kuvvetler nesnelerin fiziksel temasları sonucu ortaya çıkan "Temas Kuvvetleri" ve nesnelerin kütle çekimsel, elektriksel veya manyetik bir güç alanı içerisinde konumlanmaları sonucu ortaya çıkan "Cisim Kuvvetleri" olarak sınıflandırılabilmektedir [131]. Vücudumuzun ağırlığı cisim kuvvetine bir örnektir [131].

Ayrıca kuvvetler noktasal kuvvetler ve yayılı kuvvetler olarak farklı iki alt grup içerisinde sınıflanmaktadır [131]. Noktasal kuvvetler cisim üzerinde tek bir nokta üzerine etkiyen kuvvetler, yayılı kuvvetler ise cisim üzerinde belirli bir hacim (Örn: ağırlık), alan veya çizgi(Örn: halat kuvvetleri) üzerinde etkili olan kuvvetler olarak tanımlanmaktadır [131]. Sonlu bir alan üzerine uygulanan temas kuvvetleri uygulandıkları cisim üzerinde yayılı kuvvetler oluşturmasına rağmen alanın boyutlarının büyüklüğü ile cismin boyutlarının büyüklüğü karşılaştırıldığında alanın boyutlarının oldukça küçük olması nedeniyle genellikle temas kuvvetlerinin cisim üzerinde tek bir noktaya etkidiği kabul edilmektedir [131]. Ayrıca hacim üzerine kütle çekimi nedeniyle etkiyen bir kuvvet olan "ağırlık" kuvveti cismin ağırlık merkezine etkiyen noktasal bir kuvvet olarak kabul edilebilmektedir [131].

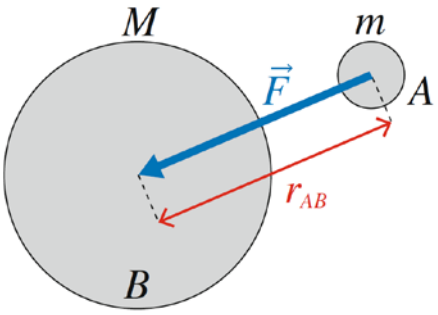
3.5.4.2. Kuvvet Modelleri

Bölüm içerisinde cisim kuvveti olan yerçekimsel kuvvet, sürüklenme kuvveti, yay kuvveti, sönümlendirici kuvveti ve sürtünme kuvveti tanımları sunulmaktadır.

3.5.4.2.1. Yerçekimsel Kuvvet (Ağırlık)

Yerçekimsel kuvvet "$\boldsymbol{F}_{BA}$" A cismi üzerine etkiyen B cismi nedeniyle oluşmuş yerçekimsel kuvvetin vektörel tanımı, "γ" evrensel yerçekimi sabiti ($6.673(10^{-11})$ m^3kg/s^2), "m" A cisminin kütlesi, "M" B cisminin kütlesi, "$\boldsymbol{r}_{AB}$" A cisminin B cismine göre konumunu belirtir konum vektörü, "r_{AB}" A cisminin B cismine göre konumunu belirtir konum vektörün büyüklüğü olmak üzere eşitlik 3.41'de sunulan Newton'un yerçekimi yasası kullanılarak hesaplanmaktadır [128]:

$$\boldsymbol{F}_{BA} = \gamma \frac{m.M}{r_{AB}^3} \boldsymbol{r}_{AB} \tag{3.42}$$



Şekil 3.10: A cismi üzerinde B cismi nedeniyle oluşan F kuvveti [128]:

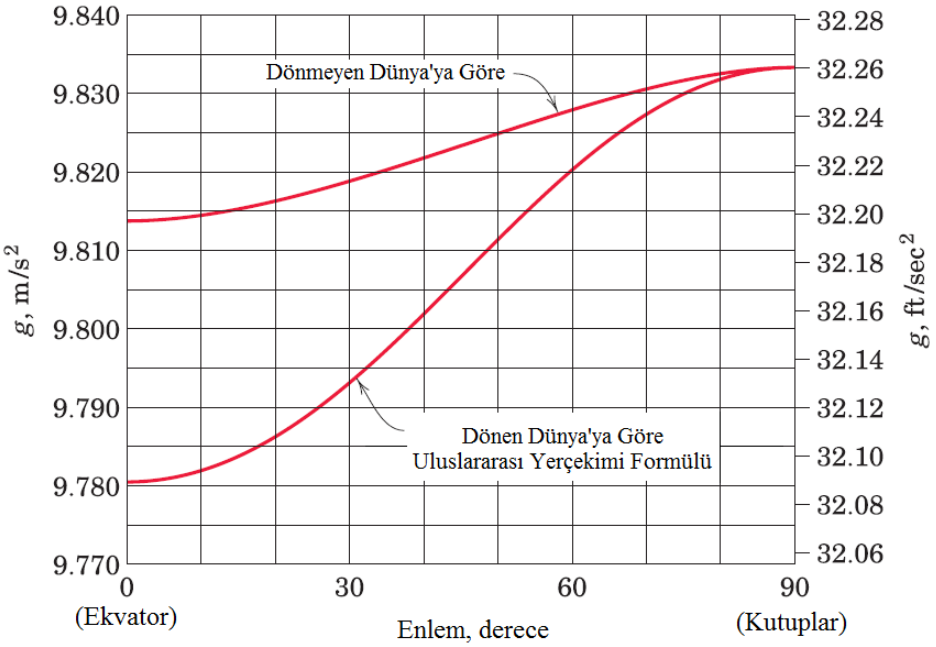
Genel yerçekimi yasası Dünya veya başka bir gezegenin yüzeyine yakın cisimler için gezegen ve cisim arasındaki uzaklığın yaklaşık sabit olması nedeniyle sabit olarak kabul edilebilmekte ve "***G***" yerçekimsel kuvvet vektörü ,"**j**" gezegen yüzeyine dik ve yönü yukarı doğru olan birim vektör, "R" gezegenin ve cismin ağırlık merkezleri arasındaki uzaklık, "m" cismin kütlesi, "M" gezegenin kütlesi, "*g*" yerçekimi ivmesi olmak üzere Eşitlik 3.43 kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanmaktadır [128].

$$\boldsymbol{G} = -m \frac{\gamma M}{R^2} \boldsymbol{j} = -mg\boldsymbol{j} \tag{3.43}$$

Çizelge 3.2: Güneş sistemindeki gezegenlerin yüzeyinde yerçekimi ivmesinin sahip olduğu değerler ([128]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Cisim	**Kütle [kg]**	**Yarıçap [km]**	**g [m/s^2]**	**g/g$_e$**
Güneş	1,99x10^{30}	6,96x10^5	247,13	27,95
Merkür	3,18x10^{23}	2,43x10^3	3,59	0,37
Venüs	4,88x10^{24}	6,06x10^3	8,87	0,90
Dünya	5,98x10^{24}	6,38x10^3	9,81	1,00
Ay	7,36x10^{22}	1,74x10^3	1,62	0,17
Mars	6,42x1023	3,37x10^3	3,77	0,38
Jüpiter	1,90x10^{27}	6,99x10^4	25,95	2,65
Satürn	5,68x10^{26}	5,85x10^4	11,08	1,13
Uranüs	8,68x10^{25}	2,33x10^4	10,67	1,09
Neptün	1,03x10^{26}	2,21x10^4	14,07	1,43
Plüton	1,40x10^{22}	1,50x103	0,42	0,04

Yerçekimi ivmesinin Dünya gezegeni üzerinde deniz seviyesinde sahip olduğu değer üzerinde bulunulan enleme bağlı olarak Şekil 3.11'de sunulan abak kullanılarak belirlenebilmektedir [131].



Şekil 3.11: Deniz seviyesinde yerçekimi ivmesinin sahip olduğu değerlerin enleme bağlı değişimleri [131].

Yerçekimi ivmesinin uluslararası standart değeri deniz seviyesinde, 45^0 enlemi üzerinde bulunmaktadır ve 9.80665 m/s^2 veya 31.1740 ft/s^2 sayısal değerlerine sahiptir [131].

3.5.4.2.2. Sürüklenme Kuvveti

Akışkan özelliğe sahip ortamlar(sıvı veya gaz) içerisinde hareket eden katı cisimler üzerine sürüklenme kuvvetleri etkimektedir [128]. Katı cisim ve akışkan ortam arasındaki etkileşimin tanımlanması için kullanılabilecek bir temel doğa kanunu mevcut değildir [128]. Yapılan deneysel çalışmalar sürüklenme kuvvetinin cismin hızına bağlı olduğunu göstermektedir [128].

Sürüklenme kuvvetinin hesaplanması için kullanılan genel model "F_D" sürüklenme kuvvetinin büyüklüğü, "ρ" akışkanın yoğunluğu, "S" katı cismin hareket yönüne dik olan düzlem içerisinde bulunan cisim kesit alanı, "C_D" sürüklenme katsayısı, "v" katı cisme ait hız vektörünün büyüklüğü olmak üzere Eşitlik 3.44'te sunulmaktadır [128].

$$F_D = \frac{1}{2}\rho S C_D v^2 \tag{3.44}$$

Sürüklenme katsayısı (C_D) "η" akışkanın viskozitesi, "*d*" karakteristik uzunluk ölçeği, "ρ" akışkanın yoğunluğu ve "*v*" cismin sahip olduğu hız vektörünün büyüklüğü olmak üzere Eşitlik 3.45 kullanılarak tanımlanan Reynolds sayısının bir fonksiyonudur [128].

$$Re = \frac{\rho d}{\eta} v \tag{3.45}$$

Reynolds sayısının 1000'den büyük değerlere sahip olduğu yüksek hıza sahip olunan durumlarda sürüklenme kuvveti "*D"* cismin büyüklüğüne, şekline, yüzey durumuna ve akışkanın yoğunluğuna bağımlı bir sabit ve "v" cismin akışkana göre sahip olduğu hız vektörünün büyüklüğü olmak üzere Eşitlik 3.46 kullanılarak hesaplanmaktadır [128]. Bu durumda cismin etrafındaki akışkanın hareketi düzensizdir ve türbülanslı akış olarak tanımlanmaktadır [128].

$$F_D = -Dv^2 \tag{3.46}$$

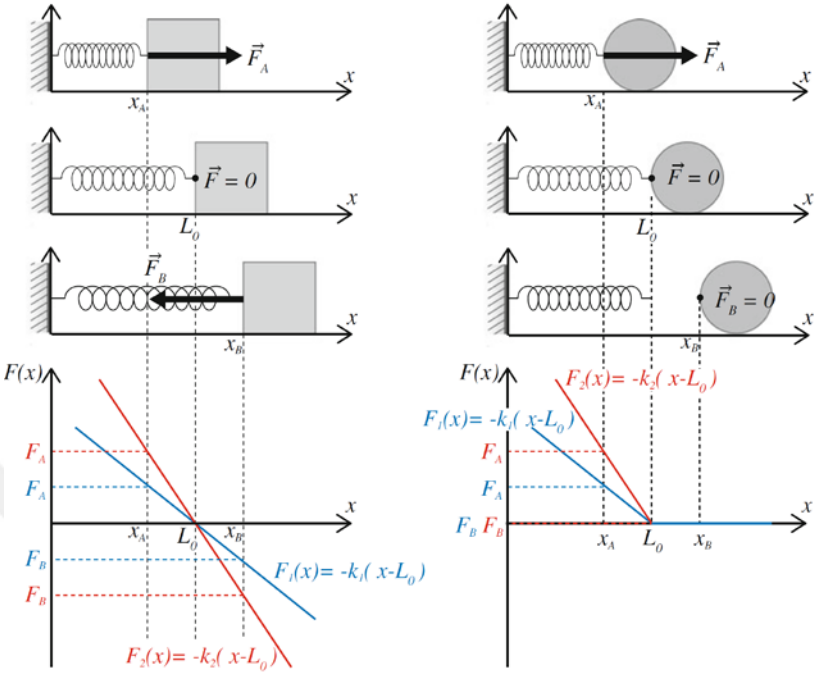
Küresel bir cisim için "*D"* değeri "ρ" akışkanın yoğunluğu, "R" kürenin yarıçapı olmak üzere Eşitlik 3.47 kullanılarak yaklaşık olarak hesaplanmaktadır [128].

$$D \simeq 12.0\rho R^2 \tag{3.47}$$

3.5.4.2.3. Yay Kuvveti

Yay kuvvetleri kullanarak iki katı cismin temasıyla oluşan deformasyonlar nedeniyle oluşan kuvvetler modellenebilmektedir [128]. Şekil 3.12'de sunulduğu gibi tek bir noktadan bir yaya sabitlenmiş cisim üzerine etkiyen yay kuvveti "*k*" yay sabiti, "*x*" yayın anlık uzunluğu ve "L_0" yayın üzerine herhangi bir kuvvet etmediği durumdaki uzunluğu olmak üzere Eşitlik 3.48 kullanılarak hesaplanmaktadır [128]. Şekil 3.12'de $k_2 > k_1$ olacak şekilde iki farklı yay tarafından cismin tamamen yaya bağlı olduğu ve yaydan belirli bir mesafe ilerledikten sonra ayrılabildiği durumlar için yay uzunluğuna bağlı olarak değişen cismin üzerine etkiyen yay kuvvetleri sunulmaktadır [128]. Yay katsayısı arttıkça yayın sıkılığı artmaktadır.

$$F = F(x) = -k(x - L_0) \tag{3.48}$$



Şekil 3.12: Cismin yaya sabitlendiği ve serbest kalabildiği durumlarda yay uzunluğuna bağlı olarak değişen yay kuvvetleri [128].

Yay kuvvetleri kullanılarak iki katı cismin temasının tek boyutta modellendiği durumda cisimlerin yaptığı hareketin modellenebilmesi için Newton'un İkinci kanunu ve Eşitlik 3.49 kullanılarak oluşturulan aşağıdaki diferansiyel denklemin çözümlenmesi gerekmektedir.

$$F = ma \Longrightarrow a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{k}{m}(x - L_0) \tag{3.49}$$

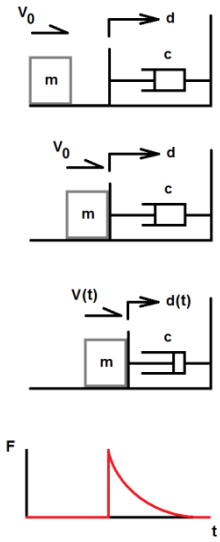
3.5.4.2.4. Sönümlendirici Kuvveti

Sönümlendirici kuvvetleri kullanarak iki katı cismin temasıyla oluşan deformasyonlar nedeniyle oluşan kuvvetler modellenebilmektedir. Sönümlendirici kuvveti "*c*" sönümleme katsayısı ve "*v*" cismin sahip olduğu hız vektörünün büyüklüğü olmak üzere eşitlik 3.50 kullanılarak hesaplanmaktadır. Şekil 3.13'te sönümlendirici kuvvetin zamana bağlı olarak değişimi sabit v_0 hızı ile sönümlendiriciye doğru ilerleyen cisim için sunulmaktadır.

$$F = F(v) = -cv \tag{3.50}$$

Sönümlendirici kuvvetleri kullanılarak iki katı cismin temasının tek boyutta modellendiği durumda cisimlerin yaptığı hareketin modellenebilmesi için Newton'un İkinci kanunu ve Eşitlik 3.51 kullanılarak oluşturulan aşağıdaki diferansiyel denklemin çözümlenmesi gerekmektedir:

$$F = ma \Longrightarrow = a = \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{c}{m}v \tag{3.51}$$



Şekil 3.13: Zamana bağlı olarak sönümlendirici kuvvetin değişimi

3.5.4.2.5. Sürtünme Kuvveti

İki katı cismin hareketli olduğu birbirleriyle temas ettikleri durumda temas yüzeyine paralel dinamik sürtünme kuvvetleri, iki katı cismin hareketiz olduğu fakat temas ettikleri durumda temas yüzeyine paralel statik sürtünme kuvvetleri cisimler üzerine etkiyebilmektedir [128].

Statik sürtünme kuvveti "μ_s" statik sürtünme katsayısı, "N" temas yüzeyine dik yönde cisim üzerine etkiyen normal kuvvet olmak üzere Eşitlik 3.52 kullanılarak hesaplanmaktadır [128].

$$F_s = \mu_s N \tag{3.52}$$

Dinamik sürtünme kuvveti "μ_d" statik sürtünme katsayısı, "N" temas yüzeyine dik yönde cisim üzerine etkiyen normal kuvvet olmak üzere Eşitlik 3.53 kullanılarak hesaplanmaktadır (Malthe-Sørenssen,2015, sf:242).

$$F_d = \mu_d N \tag{3.53}$$

3.5.5. Analitik Yöntemler

Eşitlikler veya eşitsizliklerin çözümleri yapılırken analitik yöntemler, grafiksel yöntemler veya sayısal yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir [133]. Analitik yöntemler kullanılarak bir eşitliğin/eşitsizliğin çözümü sadece matematik bilimi tarafından tanımlanan cebirsel özellikler kullanılarak eşitlik içerisinde tanımlanmış bağımsız değişkenin eşitliği/eşitsizliği sağlayan değerinin/değerlerinin belirlenmesi olarak tanımlanmaktadır [133].

Bağımlı ve bağımsız değişkenlerden oluşan bilinmeyen bir fonksiyon ve bu fonksiyonun türevlerini içeren diferansiyel denklemlerin çözümleri yapılırken polinomlar, rasyonel fonksiyonlar, kuvvet fonksiyonları(x^n), üstel fonsiyonlar(b^x), logaritmik, trigonometrik ve ters trigonometrik fonsiyonlar, hiberbolik ve ters hiperbolik fonksiyonlar ile bu fonsiyonların toplamları, çarpımları, farkları ve bölümlerinden oluşan diğer tüm fonskiyonları kapsayan basit fonsiyonların anti türevlerinin genellikle basit fonksiyonlar olmaması nedeniyle analitik yöntemlerin kullanımı mümkün olmamaktadır [134].

Kaya düşmesi sorunu mekanik olarak 2 boyutta incelendiğinde yatay ve düşey boyutta bloğun yeryüzü ile temasının kesildiği ve serbest düşme hareketini yaptığı zaman aralığı için iki farklı ikinci mertebeden diferansiyel denklem, yeryüzü ile temas ettiği zaman aralığı için iki farklı ikinci mertebeden diferansiyel denklem kullanılması gerektiği görülmektedir. Bölüm 2.3.2 içerisinde tanımlanan hareket modellerinin tümünde hava sürtünmesinin gözardı edilmesi nedeniyle bloğun yeryüzü ile temasının kesildiği evre içerisindeki blok hareketinin tanımı Çizelge 3.3'te sunulan eşitlikler kullanılarak yapılmaktadır.

Bloğun yeryüzü ile temas ettiği durumdaki hareketi ise bloğun yeryüzüne tek bir noktada temas ettiği, bloğun sadece ötelenme hareketi yapabildiği ve cisimler arasındaki çarpışmanın direkt merkezsel çarpışma olduğu kabulü ile Çizelge 3.4'te sunulan eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir. Direkt merkezsel çarpışma her

iki cismin temas ettiği noktanın cisimlerin ağırlık merkezlerini birleştiren doğru üzerinde olduğu durum olarak tanımlanmaktadır [135].

Çizelge 3.3: Bloğun serbest düşme hareketini hava sürtünmesini gözardı ederek tanımlayan eşitlikler

Model Tipi	**Hareket Denklemli**	**Genel Çözüm**	**Başlangıç Değer Problemi**
Yatay	$m\ddot{d} = 0$	$d(t) = c_1 t + c_2$ $\dot{d}(t) = c_1$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = V_0 t + d(0) \\ \dot{d}(t) = V_0 \end{matrix}$
Düşey	$m\ddot{d} = -mg$	$d(t) = -g\frac{t^2}{2} + c_1 t + c_2$ $\dot{d}(t) = -gt + c_1$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = -g\frac{t^2}{2} + V_0 t + d(0) \\ \dot{d}(t) = -gt + V_0 \end{matrix}$

Çizelge 3.4: Bloğun temas hareketini çarpmanın direkt merkezsel çarpışma olduğu kabulü ile tanımlayan eşitlikler

Model Türü	Hareket Denklemi	Genel Çözüm	Başlangıç Değer Problemi
Yatay Yay	$m\ddot{d} + kd = 0$	$d(t) = c_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) + c_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$ $\dot{d}(t) = -\sqrt{\frac{k}{m}}c_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) + \sqrt{\frac{k}{m}}c_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right)$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = V_0\sqrt{\frac{m}{k}}\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) \\ \dot{d}(t) = V_0 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) \end{matrix}$
Düşey Yay	$m\ddot{d} + kd = -mg$	$d(t) = c_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) + c_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) - \frac{mg}{k}$ $\dot{d}(t) = -\sqrt{\frac{k}{m}}c_1 \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) + \sqrt{\frac{k}{m}}c_2 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) - \frac{mg}{k}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = \frac{mg}{k}\cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) + V_0\sqrt{\frac{m}{k}}\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) - \frac{mg}{k} \\ \dot{d}(t) = V_0 \cos\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) - \frac{mg}{k}\sqrt{\frac{k}{m}}\sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}}t\right) \end{matrix}$
Yatay Sönümlendirici	$m\ddot{d} + c\dot{d} = 0$	$d(t) = c_1 + c_2 e^{-\frac{c}{m}t}$ $\dot{d}(t) = -\frac{c}{m}c_2 e^{-\frac{c}{m}t}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = V_0\frac{m}{c}(1 - e^{-\frac{c}{m}t}) \\ \dot{d}(t) = V_0 e^{-\frac{c}{m}t} \end{matrix}$
Düşey Sönümlendirici	$m\ddot{d} + c\dot{d} = -mg$	$d(t) = c_1 + c_2 e^{-\frac{c}{m}t} - \frac{mgt}{c}$ $\dot{d}(t) = -\frac{c}{m}c_2 e^{-\frac{c}{m}t} - \frac{mg}{c}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $\begin{matrix} d(t) = \left(V_0 + \frac{mg}{c}\right)\left(\frac{m}{c}\right) - \left(V_0 + \frac{mg}{c}\right)\left(\frac{m}{c}\right)e^{-\frac{c}{m}t} - \frac{mgt}{c} \\ \dot{d}(t) = \left(V_0 + \frac{mg}{c}\right)e^{-\frac{c}{m}t} - \frac{mg}{c} \end{matrix}$

Model Türü	Hareket Denklemi	Genel Çözüm	Başlangıç Değer Problemi
Yatay Voigt Modeli (Kelvin-Voigt Modeli) (Kelvin Modeli)	$m\ddot{d} + c\dot{d} + kd = 0$	$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} > 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} \\ \dot{d}(t) = r_1 c_1 e^{r_1 t} + r_2 c_2 e^{r_2 t} \end{matrix}\right\}$ where $\left.\begin{matrix} r_1 = a + b \\ r_2 = a - b \end{matrix}\right\}$ $a = -\frac{c}{2m}$, $b = \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = \frac{V_0}{(r_1 - r_2)} e^{r_1 t} - \frac{V_0}{(r_1 - r_2)} e^{r_2 t}$, $\dot{d}(t) = \frac{V_0 r_1}{(r_1 - r_2)} e^{r_1 t} + \frac{V_0 r_2}{(r_1 - r_2)} e^{r_2 t}$
		$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} = 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = (c_1 + c_2 t) e^{rt} \\ \dot{d}(t) = c_2 e^{rt} + r(c_1 + c_2 t) e^{rt} \end{matrix}\right\}$ where $r_1 = r_2 = r = -\frac{c}{2m}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = V_0 t e^{rt}$, $\dot{d}(t) = V_0 t e^{rt} + V_0 r t e^{rt} = V_0 (1 + r t) e^{rt}$
		$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} < 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = e^{at}(c_1 \cos(bt) + c_2 \sin(bt)) \\ \dot{d}(t) = e^{at}((ac_1 + bc_2)\cos(bt) + (ac_2 - bc_1)\sin(bt)) \end{matrix}\right\}$ $\left.\begin{matrix} r_1 = a + bi \\ r_2 = a - bi \end{matrix}\right\}$ $a = -\frac{c}{2m}$, $b = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = \frac{V_0}{b} e^{at} \sin(bt)$, $\dot{d}(t) = \frac{V_0}{b}(b\cos(bt) - a\sin(bt)) e^{at}$
Düşey Voigt Modeli (Kelvin-Voigt Modeli) (Kelvin Modeli)	$m\ddot{d} + c\dot{d} + kd = -mg$	$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} > 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = c_1 e^{r_1 t} + c_2 e^{r_2 t} - \frac{mg}{k} \\ \dot{d}(t) = r_1 c_1 e^{r_1 t} + r_2 c_2 e^{r_2 t} \end{matrix}\right\}$ where $\left.\begin{matrix} r_1 = a + b \\ r_2 = a - b \end{matrix}\right\}$ $a = -\frac{c}{2m}$, $b = \sqrt{\left(\frac{c}{2m}\right)^2 - \frac{k}{m}}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = \frac{(V_0 k - gmr_2)}{k(r_1 - r_2)} e^{r_1 t} - \frac{(V_0 k - gmr_1)}{k(r_1 - r_2)} e^{r_2 t} - \frac{mg}{k}$, $\dot{d}(t) = \frac{r_1(V_0 k - gmr_2)}{k(r_1 - r_2)} e^{r_1 t} - \frac{r_2(V_0 k - gmr_1)}{k(r_1 - r_2)} e^{r_2 t}$
		$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} = 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = (c_1 + c_2 t) e^{rt} - \frac{mg}{k} \\ \dot{d}(t) = c_2 e^{rt} + r(c_1 + c_2 t) e^{rt} \end{matrix}\right\}$ where $r_1 = r_2 = r = -\frac{c}{2m}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = \left(\frac{mg}{k} + \frac{(V_0 k - gmr)t}{k}\right) e^{rt} - \frac{mg}{k}$, $\dot{d}(t) = \frac{(V_0 k + V_0 krt - mgr^2 t)}{k} e^{rt}$
		$\frac{c^2}{m^2} - \frac{4k}{m} < 0$ $\left.\begin{matrix} d(t) = e^{at}(c_1 \cos(bt) + c_2 \sin(bt)) - \frac{mg}{k} \\ \dot{d}(t) = e^{at}((ac_1 + bc_2)\cos(bt) + (ac_2 - bc_1)\sin(bt)) \end{matrix}\right\}$ $\left.\begin{matrix} r_1 = a + bi \\ r_2 = a - bi \end{matrix}\right\}$ $a = -\frac{c}{2m}$, $b = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{c}{2m}\right)^2}$	$\left.\begin{matrix} d(0) = 0 \\ \dot{d}(0) = V_0 \end{matrix}\right\}$ $d(t) = e^{at}\left(\frac{mg}{k}\cos(bt) + \frac{(V_0 k - agm)}{bk}\sin(bt)\right) - \frac{mg}{k}$, $\dot{d}(t) = (t) = e^{at}\left(-\frac{mgb}{k}sin(bt) + \frac{(V_0 k - agm)}{k}cos(bt)\right) + ae^{at}\left(\frac{mg}{k}cos(bt) + \frac{(V_0 k - agm)}{k}sin(bt)\right)$

3.5.6. Sayısal Yöntemler

Eşitlikler veya eşitsizliklerin çözümleri yapılırken analitik yöntemler kullanılarak, grafiksel yöntemler kullanılarak veya sayısal yöntemler kullanılarak yapılabilmektedir [133].Çizelge 3.3'te ve Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi Bölüm 3.5.5'te tanımlanan kabuller yapılarak ilgili hareket eşitlikleri analitik olarak çözülebilir eşitlikler olarak yazılabilmektedir. Bölüm 3.5.5'te tanımlanan analitik çözümlemelerin yapılamadığı durumlarda ise diferansiyel denklemlerin genel çözümlerine ait vektör alanlarının ölçekli olarak hazırlandığı grafiksel çözümleme yöntemi yardımı ile veya sayısal yöntemler kullanılarak çözüme ulaşım mümkün olmaktadır. Grafiksel çözümleme yöntemi kullanıldığında bloğun serbest düşme hareketi yaptığı veya yeryüzü ile temas ettiği durumlar için durum başına yatay ve düşey olmak üzere iki adet diferansiyel denklemin tanımlanması gerektiğinden bloğun hareketinin belirli bir başlangıç koşuluna göre belirlenebilmesi için dört adet farklı vektör alanını gösterir grafiğin hazırlanması gerekmektedir. Grafiksel yöntemin böylesi bir sorunun çözümlenmesi için kullanımının pratik olmadığı açıktır.

Literatürde diferansiyel denklemlerinin sayısal olarak çözümlenmesinde kullanılan tanımlı birçok yöntem bulunmasına karşın çalışmada kullanılan sayısal yöntem Euler-Chromer Yöntemi ile sınırlandırılmıştır.

3.5.6.1. Simplektik Yöntemler

3.5.6.1.1. Euler-Chromer Yöntemi

Euler-Chromer Yöntemi kullanılarak bir nesneye ait konum vektörü, $\boldsymbol{r}(t_i)$, ve hız vektörü, $\boldsymbol{v}(t_i)$, zamanın bir fonksiyonu olarak adım ivme vektörlerinin, $\boldsymbol{a}(t_i)$, toplanmasıyla aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir [128]:

$$\boldsymbol{v}(t_o) = \boldsymbol{v}_o \tag{3.54}$$

$$\boldsymbol{r}(t_o) = \boldsymbol{r}_o \tag{3.55}$$

$$\boldsymbol{v}(t_i + \Delta\, t) \simeq \boldsymbol{v}(t_i) + \boldsymbol{a}(t_i)\, \Delta\, t \tag{3.56}$$

$$\boldsymbol{r}(t_i + \Delta\, t) \simeq \boldsymbol{r}(t_i) + \boldsymbol{v}(t_i + \Delta\, t)\, \Delta\, t \tag{3.57}$$

3.5.7. Geri Sıçrama Katsayısı

Kaya düşmesi olaylarının incelenmesinde kullanılan yörünge modelleri içerisinde kullanılan önemli girdi parametrelerinden biri geri sıçrama katsayısıdır. Geri sıçrama katsayısı iki cismin veya bir cisim ile bir yüzeyin çarpışması sırasında elastik olmayan yer değiştirmeler yüzünden kaybedilen enerji miktarını tanımlamakta kullanılan bir büyüklüktür [15]. Geri sıçrama katsayısının aldığı değerler teorik olarak, 0 kinetik enerji kaybının yaşandığı mükemmel esnek olmayan çarpışmayı tanımlamak üzere ve 1 kinetik enerji kaybının yaşanmadığı mükemmel esnek çarpışmayı tanımlamak üzere 0 ile 1 değerleri arasında değişmektedir [136]. Araştırmacılar tarafından birbirinden bağımsız olarak geri sıçrama katsayısı için farklı tanımlamalar yapılmasına rağmen [15] Stronge tarafından 2000 yılında [136] kinematik geri sıçrama katsayısı, kinetik geri sıçrama katsayısı ve enerji geri sıçrama katsayısı olarak yapılan üç farklı tanımlama literatürde mevcuttur. Kinematik geri sıçrama katsayısı ve enerji geri sıçrama katsayısı en sık kullanılan katsayılardır (Labiouse ve Heidenreich, 2009, s. 1981). Hız geri sıçrama katsayısı olarak adlandırılabilen kinematik geri sıçrama katsayısı (R_v) parçacığın sıçrama hızının (V_r), çarpışma anından önceki geliş hızına (V_i) oranı olarak tanımlanmaktadır [15, 136] ve aşağıda sunulan eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$R_V = \frac{V_r}{V_i} \tag{3.58}$$

Genellikle çarpışmadan önceki (V_{in}, V_{it}) ve sonraki (V_{rn}, V_{rt}) hız vektörleri çarpışmanın gerçekleştiği yüzeye dik ve teğet birbirine dik iki ayrı vektöre ayrılarak normal geri sıçrama katsayısı (R_n) ve teğet geri sıçrama katsayısı (R_t) aşağıda sunulan eşitlikler kullanılarak hesaplanmaktadır [15]. Bu katsayılar öbek kütle yaklaşımını kullanan yörünge modelleri tarafından girdi değişkenleri olarak alınmaktadır [15].

$$R_n = \frac{V_{rn}}{V_{in}} \quad , \quad R_t = \frac{V_{rt}}{V_{it}} \tag{3.59}$$

Kinetik geri sıçrama katsayısı (R_{Kin}) çarpışma anındaki çarpışma yüzeyine teğet itkinin(p_t) normal itkiye(p_n) oranı olarak tanımlanmaktadır ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır [15]:

$$R_{Kin} = \frac{p_t}{p_n} \tag{3.60}$$

Kinetik geri sıçrama katsayısı (R_{Kin}) kinematik geri sıçrama katsayısının aksine kaya düşmesi incelemelerinde kullanılan yörünge modellerinde yaygın olarak kullanılmamaktadır [15]. Başlangıç bağıl hız vektörü ile ortak teğet çarpışma düzlemine normal birim vektör arasındaki eğiklik açısının (Ψ_0) 0'a eşit olduğu direkt çarpışmanın [136] iki pürüzlü cisim tarafından yaşandığı durumda kayma yönü sabitse kinematik ve kinetik geri sıçrama katsayıları birbirine eşit olmaktadır [136]. Descoeudres ve Zimmermann tarafından 1987 yılında sunulan EBOUL-LMR adlı model tarafından kinetik geri sıçrama katsayısı bir girdi değişkeni olarak alınmaktadır [15].

Enerji geri sıçrama katsayısı çarpışmadan sonra sahip olunan enerji miktarının (E_r) çarpışmadan önce sahip olunan enerji miktarına (E_i) oranı olarak tanımlanmakta ve aşağıdaki eşitlik kullanılarak 2 boyutta hesaplanmaktadır:

$$R_E = \frac{E_r}{E_i} = \frac{1/2\,(m{V_r}^2 + I\omega^2)}{1/2\,(m{V_i}^2 + I\Omega^2)} = \frac{{V_r}^2 + {k_r}^2\omega^2}{{V_i}^2 + {k_r}^2\Omega^2} \tag{3.61}$$

Eşitlik 3.61'de sırasıyla atalet momenti, kutupsal dönüş yarıçapı "I" ve "k"; çarpışmadan önceki açısal hız ve kinetik enerji "Ω" ve "E_i"; çarpışmadan sonraki açısal hız ve kinetik enerji "ω" ve "E_r" simgeleri ile gösterilmektedir. Ayrıca kinetik geri sıçrama katsayısı hız vektörünün normal ve teğet bileşenleri kullanılarak aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanabilmektedir [137]:

$$R_E = \frac{E_r}{E_i} = \frac{m[{V_{rn}}^2 + {V_{rt}}^2] + I\omega^2}{m[{V_{in}}^2 + {V_{it}}^2] + I\Omega^2} \tag{3.62}$$

Çizelge 3.5'te geri sıçrama katsayısını etkileyen değişkenler ve bu değişkenlerin literatürde tanımlanan eğilimleri özetlenmektedir.

Çizelge 3.5'te özetlenen ilişkilere ek olarak Ansari vd. tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada ISRM [22] tarafından önerilen yöntem kullanılarak ölçülen bloğa (N1) ve bloğun üzerinde sıçradığı yüzeye(N2) ait Schmidt Sertliği değerleri ile normal geri sıçrama katsayısı (R_n) arasında aşağıda sunulan şekilde bir ilişki olduğu belirlenmiştir [138]:

$$R_n = -0.215 + 0.0183(N1) - 0.007(N2)\ ,\ R^2 = 0.801 \tag{3.63}$$

Bu çalışmada bazalt, granit, kumtaşı, kireçtaşı, mermer ve çelik kullanılarak üretilen en az 5 cm kalınlığındaki levhalar, çapı 4.0cm ile 5.0cm arasında değişen küre şekilli kaya numuneleri, çapı 1.5cm, 2.0cm, 3.0cm, 3.5cm, 4.0cm, 4.5cm, ve 5cm olan 7 adet çelik küre kullanılmıştır [138].

Richards vd. tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada [139] farklı litolojiye (bazalt, diorit, diorit-porfir, gnays, granit, kireçtaşı, mermer, riyolit, kumtaşı, şist, siyenit, siyenit-porfir, trakit, çelik) sahip küresel numunlerin farklı eğim açısına(0°, 10°, 20°, 45°) sahip farklı litolojiye sahip pürüzsüz levhalar üzerine bırakıldığı durum ($R_{n\text{-}smooth}$) ve farklı litolojiye (bazalt, grovak, kireçtaşı) sahip köşeli numunelerin farklı litolojiye sahip pürüzlü levhalar üzerine bırakıldığı durum ($R_{n\text{-}rough}$) için normal geri sıçrama katsayısı, levhanın schmidt sıçrama katsayısı (S_{slab}), numunenin geri sıçrama katsayısı (S_{ball}) ve levhanın eğimi (α) arasındaki ilişkileri tanımlayan aşağıdaki eşitlikleri önermiştir:

$$R_{n-smooth} = \frac{(-0.110 + 9S_{slab} + 4S_{ball} + 4\alpha)}{1000}\ ,\ R^2 = 0.82 \tag{3.64}$$

$$R_{n-rough} = \frac{(-9 + 49R_{n-smooth})}{100}\ ,\ R^2 = 0.88 \tag{3.65}$$

$$R_{n-rough} = \frac{(-145 + 4S_{slab} + 2S_{ball} + 2\alpha)}{1000}\ ,\ R^2 = 0.88 \tag{3.66}$$

Schmidt sertliği ve geri sıçrama katsayısı arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir başka eşitlik aşağıda sunulan şekilde Rayudu tarafından 1997 yılında yapılmış olan çalışma içerisinde önerilmektedir [140]:

$$Geri\ Sıçrama\ Katsayısı = 0.1734 + 0.0101(Scmidt\ Sayısı)\ ,\ R^2 = 0.793 \tag{3.67}$$

Bu çalışmada 4cm çaplı çelik küre ile granit, trakit, bazalt, traverten, Carrara Mermeri, Classico Mermeri, Serpentinit, Narradera Kuvarsiti, Gal Sleyti, Berrina Kumtaşı, Piles Creek Kumtaşı, Maroubro Kumtaşı, Joadja Kumtaşı, Fox Şisti kullanılarak imal edilmiş levhalar kullanılarak geri sıçrama katsayıları farklı litolojiler için belirlenmiştir [140]. Geri sıçrama katsayıları "h" çelik kürenin bırakılma yüksekliği ve "h' '" çelik kürenin çarpışmadan sonra sıçrayarak ulaştığı en büyük yükseklik olmak üzere Spang ve Reutentsrauch tarafından 1988 yılında önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [140]:

$$R = \sqrt{\frac{h'}{h}} \tag{3.68}$$

Wu tarafından 1985 yılında yapılan çalışmada [116] normal geri sıçrama katsayısının ortalama değeri (R_n), teğet geri sıçrama katsayısının ortalama değeri (R_t) ile çarpışma açısı (θ) arasında aşağıda sunulan şekilde doğrusal ilişkiler olduğunu ortaya koymuştur:

$$R_n = -0.995 - 0.013(\theta)\ ,\ R^2 = 0.99 \tag{3.69}$$

$$R_t = 0.535 + 0.0028(\theta)\ ,\ R^2 = 0.87 \tag{3.70}$$

Asteriou vd. tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada[141] farklı litolojiye(mermer, şist, kuvars kumtaşı, kireçtaşı, marn) sahip kenarı 2cm uzunluğundaki kübik numunelerin kalınlığı 5cm olan numuneler ile aynı litolojiye sahip levhalara farklı şekiller çarpması sağlanmış ve schmidt sertliği, çarpma açısı gibi özelliklerin geri sıçrama katsayısı ile ilişkileri incelenmiştir. Numunelerin levha üzerine serbest düşme hareketi yaparak çarptığı durum için kinematik geri sıçrama katsayısı (V_{COR}) ile Schmidt sertliği (R) değerleri arasında aşağıda sunulan şekilde bir ilişki bulunduğu belirlenmiştir [141].

$$V_{COR} = 0.235e^{0.022(R)}\ ,\ R^2 = 0.799 \tag{3.71}$$

Aynı çalışma içerisinde aşağıda sunulan şekilde çarpma açısına(α_i) bağlı olarak kinematik geri sıçrama katsayısı değerinin($V_{COR,\alpha i}$) belirlenmesi için bir eşitlik önerilmektedir:

$$V_{COR,\alpha i} = 1 + \frac{\alpha_i}{90}(V_{COR} - 1) \tag{3.72}$$

Çizelge 3.5: Geri sıçrama katsayısını etkileyen değişkenler ve bu değişkenlerin literatürde tanımlanan eğilimleri. ↗ ve ↘ sırasıyla ilgili olduğu değişkendeki artış ve azalışı, ↔ ise ilgili olduğu değişkende değişim gözlemlenmediğini belirtmektedir ([137]'den değiştirilerek alınmıştır.).

Değişken		R_n	R_t	R_E	Yer yüzeyi Malzemesi	Kaynak
Blok	Blok Kütlesi ↗	↘i			Beton, Kaya	Ushiro vd., 2000
	Köşelilik ↗ (şeklin küreden köşeli bloğa doğru değişimi)	↘	↗ (kısmen)	↘	Granit	Wong vd., 2000
		30°< Θ <60°: - 15°< Θ <30°: ↗	↘ (kısmen)	↘ (kısmen)	Alçı	Chau vd., 1999a
Yer yüzeyi	Yound Modülü ↗	↗	↗		Doğal Şev	Pfeiffer and BoWen, 1989
		↗	↗		Doğal Şevler	Fornaro vd., 1990
		↗	↗		Alçı, Kaya, Zemin	Chau vd., 2002 Wu, 1985
	Kuru yoğunluk ↗	$w < W_{opt}$: ↗ $w > W_{opt}$: ↔	$w < W_{opt}$: ↗ $w > W_{opt}$: ↔	$w < W_{opt}$: ↗ $w > W_{opt}$: ↔	Zemin, Alçı	Chau vd., 1999b
Kinematik	Çarpma açısı Θ↗ Buna Bağlı Olarak Şev Açısı β↘ (Θ + β = 90°)	↘	↗ (kısmen)		Tahta, Kaya	Wu, 1985
		↘ (kısmen)			Granit, Püskürtme Beton	Wong vd., 2000
		↘			Alçı, Zemin	
		↘ (kısmen)	↔	↘	Granit, Püskürtme Beton	Chau vd., 2002
		↘	↔	↘	Alçı, Zemin	
	Düşüş Yüksekliği H ↗ Buna Bağlı Olarak Çarpışma Hızı ↗	↘	↘	↘	Kireçtaşı	Urciuoli, 1988
		↘ (kısmen)	↔		Beton, Kaya	Ushiro vd., 2000

Glover tarafından 2015 yılında tamamlanan çalışmada eş-boyutlu, yassı ve dikdörtgen prizma şekilli blokların serbest düşerek başladıkları yörünge hareketleri dizisinde yüzey ile yaptıkları ilk çarpışmalarda ölçülen kinematik normal geri sıçrama katsayısı ile kinematik teğet geri sıçrama katsayısı arasında negatif korelasyon olduğu belirlenmiştir [35]. Bir başka deyişle R_n arttıkça R_t değeri düşmekte, R_t arttıkça R_n değeri düşmektedir. Ortalama kinematik geri sıçrama değerleri ilk çarpışma için incelendiğinde dikdörtgen prizma şekilli blokların düşük R_t ve yüksek R_n değerlerine, yassı şekilli blokların düşük R_n ve yüksek R_t değerlerine eş boyutlu blokların ise diğer tip bloklara ait R_n değerlerinin arasındaki değerlere ve yüksek R_t değerine sahip oldukları tespit edilmiştir [35]. Ayrıca tüm blok şekillerine ait ilk çarpışma hareketi sırasında ölçülen kinematik normal geri sıçrama katsayısı ile sıçramanın üzerinde gerçekleştiği yüzeyin eğimi arasında pozitif bir korelasyon olduğu bir başka deyişle yüzeyin eğimi arttıkça normal geri sıçrama katsayısının arttığı belirlenmiştir [35]. Bununla birlikte farklı şekillere sahip blokların yaptıkları ilk sıçrama hareketinin ardından izledikleri yayılma yörüngesi üzerinde yaptıkları sıçrama hareketlerine ait kinematik geri sıçrama değerleri incelendiğinde genellikle R_n'nin 1'den büyük değerler aldığı ve daha az gözlemlenmesine rağmen R_t'nin de 1'den büyük değerler aldığı tespit edilmiştir. Bu tip hareket için ölçülen kinematik geri sıçrama katsayısı değerlerinin normal ve teğet bileşenleri arasında ilk sıçrama hareketinde ölçülen değerler kadar belirgin olmamasına rağmen negatif bir korelasyon olduğu belirlenmiştir [35]. En yüksek R_n değerleri yassı blokların yaptığı hareketler sırasında gözlemlenmiştir ve bu değerler 6'ya oldukça yakın değerlerdir. Uç R_n değerlerine karşılık gelen en küçük R_t değerlerine ise dikdörtgen prizma şekilli blokların sahip olduğu tespit edilmiştir [35]. Sıçramanın gerçekleştiği yüzeyin eğimi arttıkça R_n değerleri artmakta ve R_t değerleri düşmektedir [35]. Özetlenmesi gerekirse eş boyutlu, yassı ve dikdörtgen şekilli blokların yaptığı ilk sıçrama hareketi sırasında ölçülen kinematik normal geri sıçrama katsayısı değerleri 1'den küçük değerler alduğu ve bunu izleyen yayılma yörüngesi üzerindeki yapılan hareketler sırasında ölçülen kinematik geri sıçrama hareketi sırasında ise 1'den büyük değerler alabildiği belirlenmiştir. Yayılma hareketi sırasında R_n değerleri artan yüzey eğimi ile birlikte artmakta ve R_t değerleri azalmaktadır.

Giacomini vd. tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada [19] Avustralya'da bulunan Beltana Madenin'de tel ağ ile kaplanmış ve kaplanmamış durumda bulunan, yükseklikleri 40 ile 50m arasında değişen yaklaşık 70° eğimli şevlerden ağırlıkları belirli ETAG 027'ye uygun olarak boyutlandırılmış ve şekillendirilmiş beton ile kumtaşı blokları kullanılmıştır. Blokların konumları, hızları ve izledikleri yörüngeler 3 boyutta yüksek hızlı stereo-kamera sistemi kullanılarak yukarıda tanımlanan iki farklı çalışma sahası içerisinde ölçülmüştür. Blokların tel ağ ile kaplı ve kaplanmamış şev üzerinde sahip olduğu kinematik normal geri sıçrama katsayıları (k_n) ile çarpma açısında aşağıda sunulan şekilde bir ilişkinin bulunduğu belirtilmektedir:

$$k_n = 0.92e^{-0.046(\alpha)}, \quad R^2 = 0.520 \tag{3.73}$$

Bir veya birden fazla bloğun yer yüzeyinde başlayıp yer yüzeyinde [1, 2] veya deniz altında [3] sonlanan ağaçlandırılmış [4, 5, 6, 7, 8, 9] veya bitki örtüsü ile kaplı olmayan [10, 11] yüzeyler üzerindeki hareketleri şeklinde gerçekleşen kaya düşmeleri incelenirken blok veya blokların zamana bağlı olarak konumlarının, hızlarının, ivmelerinin, enerjilerinin bilinmesi oluşturacakları tehlikenin tanımlanması ve alınacak önlemlerin belirlenip boyutlandırılması için gereklidir [12]. Blok veya blokların hareketlerinin incelenmesi için çeşitli kabuller yaparak, benzer-farklı eşitlikler kullanarak yukarıda belirtilen hareket değişkenlerinin birkaçını veya tümünü iki veya üç boyutta hesaplayabilen modeller çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir [12] ve ilgili yörünge modellerine ait özet bilgi Çizelge 2.27'de sunulmaktadır. Blokların hareketleri sırasında takip ettiği yörüngeler serbest düşme, yuvarlanma, kayma ve sıçrama olarak tanımlanan dört farklı hareketin kombinasyonlarından oluşmaktadır [12]. Çalışmanın konusu olan geri sıçrama katsayısı/katsayıları, kaya düşmesi sırasında blok tarafından yapılan hareketlerin tahmini en zor ve en az anlaşılmış olanı sıçramanın basitleştirilerek modellenmesini sağlamaktadır [12]. Hareketli blok yörüngesinin ilgili modeller ile tahmini sayesinde bloğun oluşturacağı tehlikenin tanımlanması ve alınacak önlemlerin boyutlandırılması mümkün olmaktadır.

Literatürde farklı ortamlara ait geri sıçrama katsayıları farklı çalışmalar sonucu tanımlanmış olmasına rağmen farklı çalışmalarda ilgili sonuçların sınırlı sayıdaki ortam için tespit edilmiş olması (bkz. Ek 1), benzer ortamlar için aldıkları değerlerin

büyük bir aralıkta değişmesi [17] nedeniyle pratikte ilgili değerlerin kullanımı oldukça güç olmaktadır. Yapılan bibliyografya araştırması sonucu konu hakkında yapılmış ayrıntılı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca yukarıdaki ilgili çalışmalar incelendiğinde geri sıçrama katsayılarının 1'den küçük değerler aldığı görülmektedir fakat literatürde bulunan deneysel çalışmalar sonucu geri sıçrama katsayılarının 1'den büyük değerler de alabildiği görülmektedir [142, 143, 144, 18, 145, 106, 146, 141, 147, 19, 148, 149; 13, 150]. Pratikte yapılan uygulamalarda da 1'den küçük geri sıçrama katsayıları kullanılarak modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Literatürde oluşturulan birçok farklı modelin farklı ortamlardaki performanslarının incelendiği çalışmalar bulunmaktadır [12; 21] fakat mevcut modellerin verimlerinin geri sıçrama katsayılarının 1'den büyük olduğu durumlarda incelendiği bir çalışmaya Spadari vd. tarafından 2013 yılında yapılmış olan çalışma [149] hariç tamamlanan literatür taraması sonucu ulaşılamamıştır. Literatürde bu konuda bir eksik bulunduğu açıktır. Bahsi geçen durumun varlığı deneysel çalışmalar sonucu tespit edilmiş olması nedeniyle bilinmekte fakat hangi koşullarda ilgili durumun gerçekleştiği net olarak tanımlanamamaktadır. Yapılan literatür taraması sonucu ulaşılabilen, konusu geri sıçrama katsayıları olan yapılmış deneysel çalışmaların özeti ise Ek 2'te sunulmaktadır.

4. HAZIRLANAN N-TEK ADLI YAZILIM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

4.1. Kabuller

MATLAB yazılımu kullanılarak hazırlanan N-TEK adlı yazılım içerisinde hareketli bloğun dairesel kesite sahip olduğu, bloğun yüzey ile teması sırasında herhangi bir sürtünme kuvvetinin etkili olmadığı ve bloğun 2 boyutta sadece ötelenme hareketi yapabildiği kabulü yapılarak zamana bağlı olarak bloğun ağırlık merkezinin anlık konumu ve hızı hesaplanabilmektedir. Bloğun yüzey ile temasının kesildiği durumda hava sürtünmesinden etkilenmediği kabul edilmekte, yüzey ile teması sırasında ise bloğa sadece basit katı modeli (Kelvin-Voigt) kullanılarak hesaplanan temas kuvvetlerinin yatay ve düşey olarak etkidiği kabulü yapılmaktadır. İlgili yazılım yardımıyla 2 boyutta (yatay ve düşey) cismin hareketi parçacık mekaniği esasları kullanılarak hesaplanmaktadır.

Mevcut kabuller ışığında hazırlanan yazılım bloğun literatürde tanımlı “serbest düşme hareketini” ve “çarpma hareketini” canlandırabilmektedir. Ticari yazılımlardan farklı olarak “çarpma” hareketinin hesaplanması sırasından basit katı modelinin kullanılması nedeniyle bloğun yüzey ile temas ettiği noktalardaki deformasyonların boyutu ve bloğun çarpma sırasında yüzey üzerinde yaptığı “sıyırma” hareketi canlandırılabilmektedir.

4.2. Genel Hesap Algoritması

Yazılım belirlenen bir süre boyunca belirlenen zaman adımı uzunluğu kullanarak kütlesi belli dairesel kesitli 2 boyutta ilk hıza ve konuma sahip bir bloğun sabit ivmeli bir kuvvet alanı içerisinde her bir kısmı için sıkılık ve sönümleme değerleri belirlenmiş poligonal bir yüzey üzerinde yaptığı hareketi anlık konum ve hız vektörleri cinsinden Bölüm 3.5.6 içerisinde tanımlanan sayısal yöntemler kullanarak hesaplamaktadır.

Yazılım içerisinde hareketli bloğa ait değişkenler blok kütlesi[kg], blok yarıçapı[m], bloğun harekete başladığı andaki konum vektörü (yatay[m]-düşey[m]), bloğun harekete başladığı andaki hız vektörü (yatay[m/s]-düşey[m/s]); genel hesaplama değişkenleri hareketin hesaplanması istenen toplam süre[s], zaman adımı[s], yerçekimi ivmesi[m/s^2], yüzey değişkenleri yüzeyi oluşturan poligona ait köşe noktası koordinatları(yatay[m]-düşey[m]), her bir köşe noktasında yatay ve düşey

için ayrı olarak tanımlanan yay katsayısı[N/m] ve sönümlenme katsayısı[Ns/m] değerleri olarak belirlenmiştir.

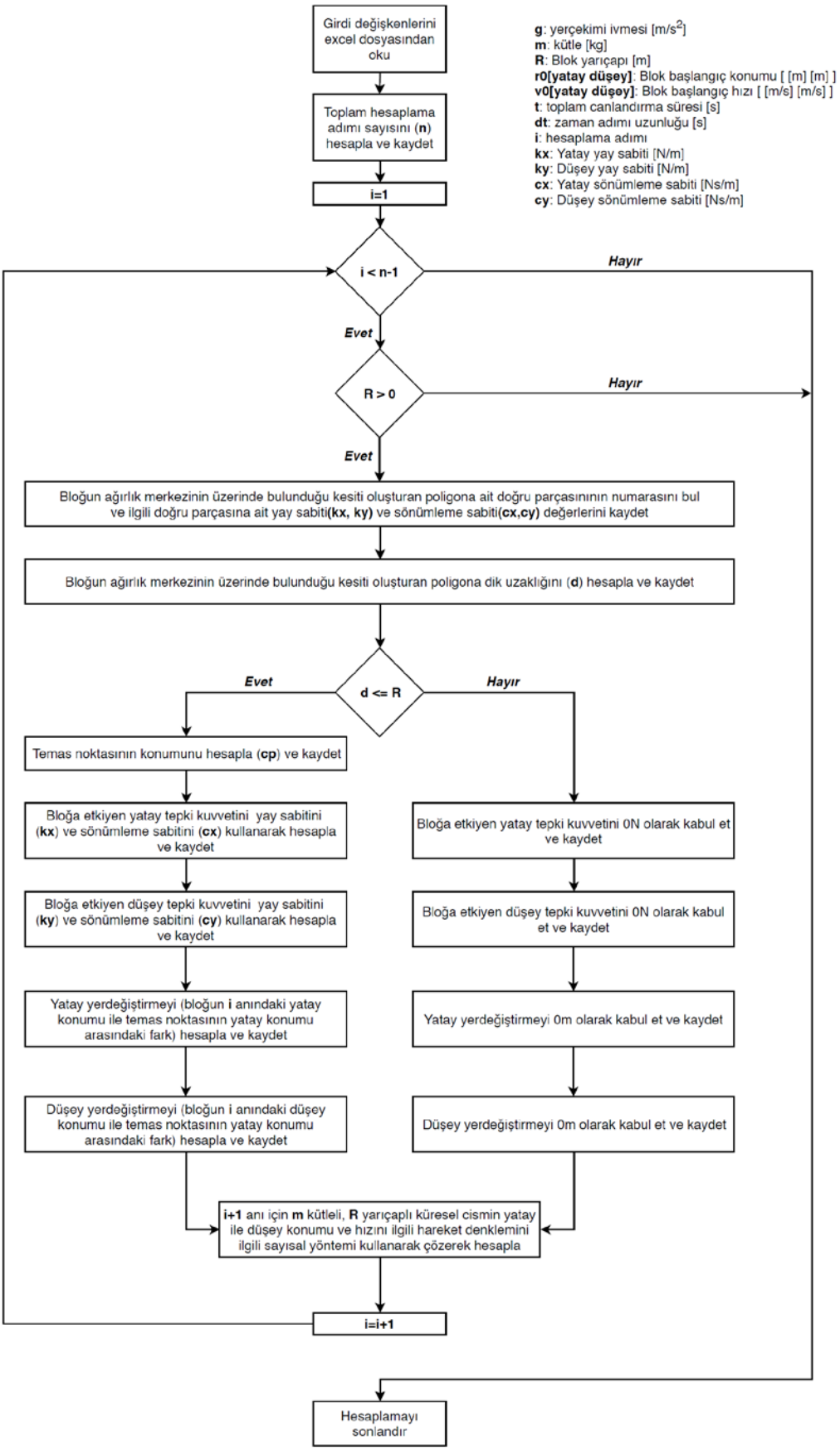
Bölüm 3 içerisinde sunulan eşitlikler kullanılarak t_0=0 anında r_0 konumundan V_0 hızıyla harekete başlayan m kütlesine sahip bloğun dt zaman adımı olmak üzere $t=t_0+dt$ anındaki konumu ve hızı t_0 anındaki konumu dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Bloğun t_0 anındaki konumu ile anlık olarak üzerinde bulunduğu yüzeyi oluşturan doğru parçası arasındaki uzaklığın bloğun yarıçapından büyük olduğu durum için cismin yüzey ile temas etmediği kabul edilmekte, bloğun anlık konumu ile yüzeyi oluşturan doğru parçası arasındaki uzaklığın bloğun yarıçapına eşit veya yarıçapından daha küçük olduğu durum için cismin yüzey ile temas ettiği kabul edilerek Bölüm 3 içerisindeki tanımlanan ilgili eşitlikler yardımıyla $t=t_0+dt$ anındaki konum ve hızı hesaplanmaktadır. İlgili hesaplama döngüsü t değeri toplam hesaplama süresine eşitleninceye kadar son olarak hesaplanan t değeri bir sonraki hesaplama döngüsü adımı için t_0 değerine eşitlenerek tekrarlanmaktadır.

Genel hesaplama algoritmasına ait yazılım akış şeması Şekil 4.1'de sunulmaktadır.

4.3. Temas Tespit Algoritması

Yazılım içerisinde tanımlanmış temas tespit algoritması anlık olarak bloğun ağırlık merkezi ile bloğun üzerinde bulunduğu yüzeye ait doğru parçası arasındaki dik uzaklığın bloğun yarıçapı ile karşılaştırarak ilgili hesaplamaların yapılmasını sağlamaktadır. Anlık olarak belirlenen dik uzaklığın bloğun yarıçapından küçük olduğu durumda bloğun yüzey ile temas ettiği aksi halde bloğun yüzey ile temas etmediği kabul edilmektedir.

Sayısal hesaplamaların ayrık zaman değerleri için anlık olarak yapılması ve temas anının anlık hesaplama yapılan anların arasında kalabilmesi nedeniyle genellikle sayısal yöntemler kullanılarak yapılan çözümlemelerde net temas konumunun belirlenmesi mümkün olamamaktadır. Bu nedenle hazırlanan yazılım içerisinde temas tespit algoritması kullanılarak belirlenen bloğun yüzey ile ilk temas ettiği an temas anı, belirlenen temas anından önceki ilk konum ile temas anındaki konum vektörlerinin aritmetik ortalaması ise temas konumu kabul edilerek hareket hesaplamaları yapılmaktadır.



Şekil 4.1: Genel hesaplama algoritmasına ait akış şeması

5. ÖRNEK OLAY ÇALIŞMALARI

5.1. Giriş

Bölüm içerisinde üzerinde çalışılmak üzere seçilmiş örnek olaya ait çalışma sahası ile bu saha üzerinde yapılan incelemelerde kullanılan yöntemler ve elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler sunulmaktadır.

5.2. Çalışma Sahası

Bu bölümde çalışma alanı olarak seçilen Ankara İli, Nallıhan İlçesi yerel yönetim sınırları içerisinde kalan bölge ile ilgili konum ve ulaşım bilgileri, ilgili bölgenin genel jeolojisi ve mühendislik jeolojisi ile ilgili bilgiler ile sahada yürütülen deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler sunulmaktadır. Çalışma sahası içerisinde yapılan arazi çalışmaları Bölüm 5.3'te tanımlanan yöntemler kullanılarak yürütülmüştür.

5.2.1. Konum

Seçilen çalışma alanı Ankara İli Şehir Merkezine yaklaşık 130 km. uzaklıkta olup, sahaya ulaşım Eski İstanbul Yolu olarak bilinen D140 karayolu kullanılarak sağlanmaktadır. Karayolu üzerinde Ankara-Ayaş-Beypazarı-Çayırhan rotası izlendikten sonra Nallıhan İlçesi Davutoğlan Köyü'nün çıkışından yaklaşık 1.5km uzaklıkta bulunan, Nallıhan Kuş Cenneti'nin girişinin güneyinde kalan çalışma sahasına ulaşılmaktadır. Uzunluğu yaklaşık 630m olan ve çeşitli uydu görüntüleri (RASAT, GoogleEarth, Landsat ETM7+) üzerinde rahatlıkla seçilebilen, bölgedeki en önemli akarsu olan Sakarya Nehri üzerindeki Sarıyar Barajına ait gölet tarafından kuzeyden ve güneyden sınırlanan çalışma sahasına ait yer bulduru haritası Şekil 5.1'de sunulmaktadır.

Ankara İli Nallıhan İlçesi yerel yönetim sınırları içerisinde kalan çalışma sahası Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından 2002 yılında hazırlanmış, 1/100000 ölçekli, Türkiye Jeoloji Haritaların'dan 40 numaralı Bolu-H27 paftası [151] içerisinde, Harita Genel Komutanlığı tarafından "HİZMETE ÖZEL" olarak hazırlanmış 1/25000 ölçekli topoğrafik haritalarından Bolu H27-d4 paftası içerisinde kalmaktadır.



Şekil 5.1: Ankara İli Nallıhan İlçesi yerbulduru haritası

5.2.2. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı karasal ve Karadeniz iklimi etkisi altındadır [152]. Yazları sıcak ve yağışsız yaşanmasına rağmen yılın diğer mevsimleri yağışlı geçmektedir [152]. Kışlar karasal iklimde beklendiği kadar soğuk ve sert olmayıp daha yumuşak yaşanmaktadır [152].

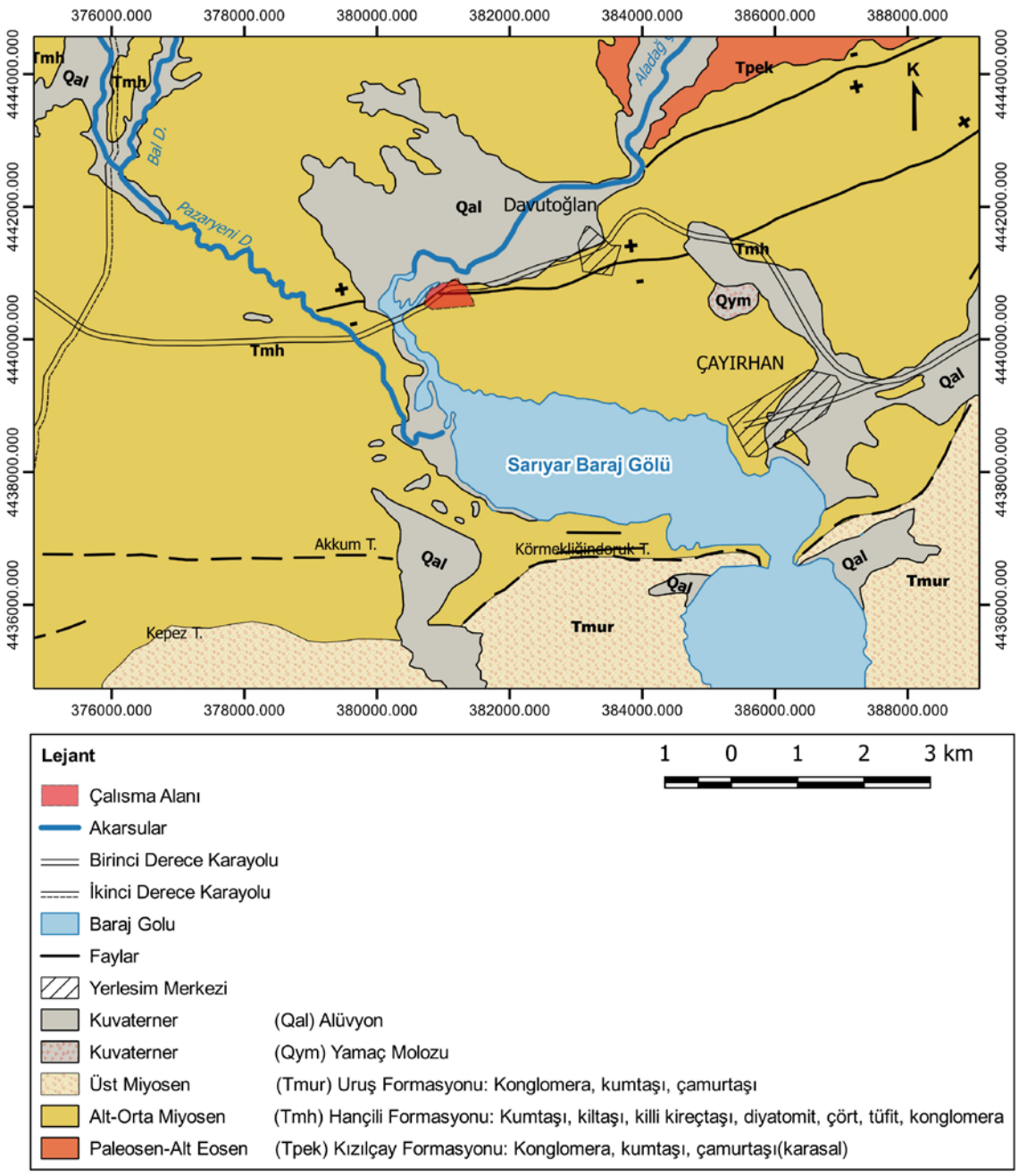
Nallıhan ilçesinin doğusunda ve güneyinde bulunan yükseltiler genellikle çıplaktır. İlçenin %48'i ormanlık alan, %25'i tarıma elverişli, %22'si çayır-mera ve %5'i çalılıktır [152].

5.2.3. Çalışma Sahasının Genel Jeolojisi

Bölüm içerisinde çalışma sahası içerisindeki jeolojik birimlerin tanımları, dağılımları ve birbirleri arasındaki stratigrafik ilişkiler hakkında bilgiler sunulmaktadır.

5.2.3.1. Çalışma Sahası İçerisindeki Jeolojik Birimler

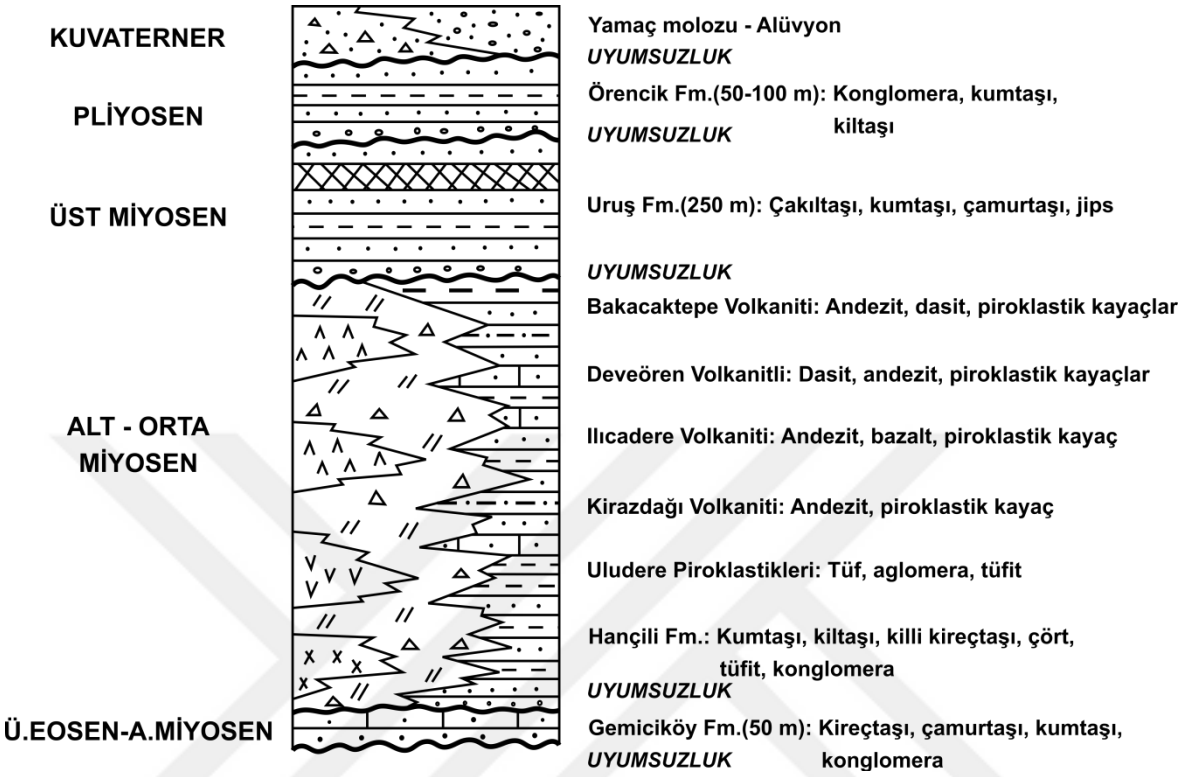
Şekil 5.2'de sunulan MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış, 1/100000 ölçekli 40 numaralı Bolu-B27 Paftası'nda görüldüğü gibi çalışma sahası içerisinde Hançili Formasyonu ve alüvyon; çalışma alanı çevresinde ise yamaç molozu, Uruş Formasyonu ve Kızılçay Formasyonu'nun bulunduğu görülmektedir.



Şekil 5.2: Çalışma sahasına ait jeoloji haritası (M.T.A. Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmış 1/100000 ölçekli Bolu-B27 Jeoloji Haritası Paftası'ndan değiştirilerek alınmıştır, [151]).

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi Hançili Formasyonu Üst Eosen-Alt Miyosen yaşlı, karasal Gemiciköy Formasyonu'nu uyumsuz olarak örtmekte; Üst Miyosen yaşlı, karasal ortamda ve akarsu ile göl fasiyesinde çökelmiş Uruş Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Kendi aralarında yanal geçişli olan Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozu birimleri tarafından uyumsuz olarak

örtülen, akarsu ortamında çökelmiş Pliyosen yaşlı Örencik Formasyonu ise Uruş Formasyonu'nu açısal uyumsuzlukla olarak örtmektedir (Akbaş vd., 2002, sf: 1-15).



Şekil 5.3: Çalışma alanında gözlemlenen Hançili Formasyonu ve alüvyonun M.T.A Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Bolu-B27 Jeoloji Haritası Paftasın'da tanımlanan diğer jeolojik birimler ile stratigrafik ilişkilerini özetleyen stratigrafik kolon [151].

5.2.3.1.1. (Tmh) Hançili Formasyonu

Gölsel ortamda çökelmiş; kumtaşı, kiltaşı, şeyl tüf ve kireçtaşından oluşan Hançili Formasyonu Şekil 5.2'de görüldüğü gibi geniş bir alanda yayılım göstermektedir [151]. Beyaz, gri renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşı; beyaz, sarı renkli orta tabakalı kumtaşı; gri, yeşil renkli ince tabakalı ve yer yer laminalı kiltaşları ile tüfleri kapsayan birim içerisindeki kömürlü ve killi düzeyler içerisinde yaprak ve makrofosillerin varlığı tespit edilmiştir [151].

Andezitik, dasitik, tüf, breş, aglomera, volkanik konglomera ve ince lav akıntılarından oluşan Uludağ Piroklastikleri ile yanal geçişli olan Hançili Formasyonu kendinden yaşlı birimleri uyumsuz olarak örtmekte, Uruş Formasyonu tarafından ise uyumsuz olarak örtülmektedir [151].

Birim içerisinde bulunan *Mikrodyroys sp.*, *Eliomys sp.*, *Megacricetodan sp.*, *Democricetodan sp.*, *Eumyarion sp.*, *Mirebella sp.*, *Eucricetodan sp.*, *Desmanodan sp.*, ve mikro memeli faunasına ait fosiller nedeniyle birim yaşı Alt Miyosen olarak verilmektedir [151]. Ancak Akyürek vd. (1994) 'nin birim içerisinde Serravaliyen-Tortoniyen yaşı saptadıkları da belirtilmektedir [151].

5.2.3.1.2. (Qal) Alüvyon

Kuvaterner yaşlı alüvyon birimi akarsu yataklarında ve eski çukurluklar üzerinde gelişmiş düz alanlarda gelişmiş çakıl, kum, çamur çökelleri olarak tanımlanmaktadır [151].

5.2.3.2. Çalışma Sahasının Yapısal Jeolojisi ve Tektonizması

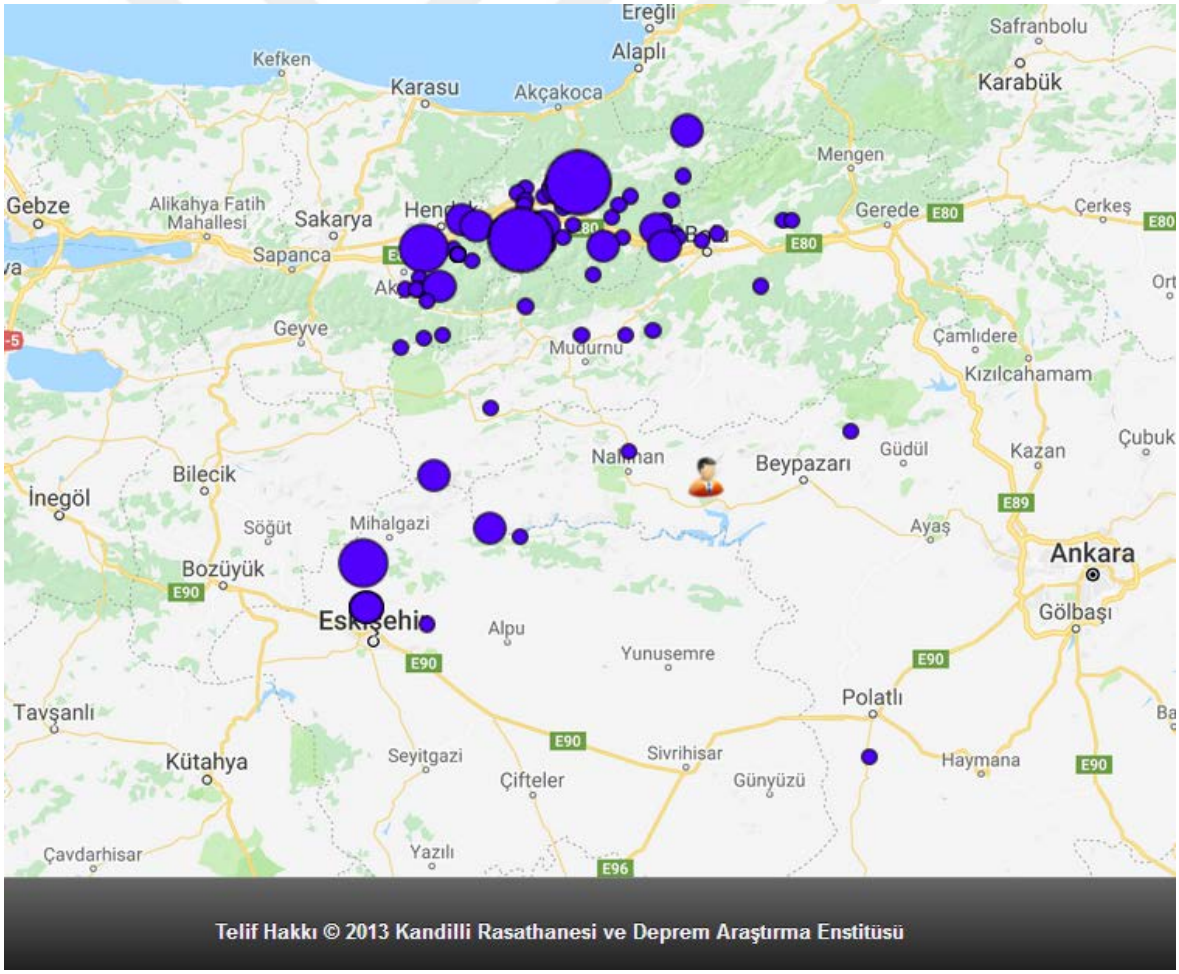
Çalışma alanı içerisindeki yapısal unsurların genel yönelimlerinin DKD-BGB doğrultusunda uzandığı belirtilmektedir [151]. Çalışma sahasında kaya kütlesi içerisindeki süreksizliklerin mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi için yürütülmüş hat etüdü çalışmalarının sonuçları bahsi geçen durumu doğrulamaktadır (bkz. Bölüm 5.3.1.3). Akbaş vd. [151] tarafından Bolu–H27 Jeoloji Haritası içerisinde haritalanmış ters fayların, bindirme fayının ve eğim atımlı fayların genellikle doğrultularının KD-GB olduğu görülmektedir. Aynı araştırmacılar tarafından ilgili yapısal unsurların Üst Kretase-Eosen arasında yaşanan tektonik süreçler sonucu oluştuklarının düşünüldüğü belirtilmektedir [151]. Geç tektonik dönemde oluşan fayların ise genellikle eğim atımlı faylar olduğu ve bunların doğrutularının KD-GB ve KB-GD yönelimli olduğu belirtilmektedir [151].

Sunulan bilgiler ışığında çalışma sahasının K-G ve (Şekil 5.2'de sunulan KD-GB doğrultulu birbirine paralel normal faylar dikkate alındığında) KB-GD yönelimli bir gerilme etkisi altında kaldığı çıkarımı yapılmaktadır. Bahsi geçen gerilme rejiminin ilgili fayların tipleri dikkate alındığında çekme gerilmesi olması gerektiği görülmektedir. Bölüm 5.2.3.1.1 içerisinde Hançili Formasyonuna ait yaş bilgileri, Şekil 5.2'de sunulan normal fayların yönelimleri ve Akbaş vd. [151] tarafından yapısal unsurlar ile ilgili bilgiler dikkate alındığında çalışma sahası içerisinde gözlemlenen normal fayların geç tektonik dönemde bölge üzerinde etkili olan KB-GD doğrultulu bir çekme gerilmesi rejimi etkisi altında geliştiği sonucuna varılmaktadır. Çalışma sahasının Üst Kretase-Eosen arasındaki KB-GD doğrultulu sıkışma gerilmesi nedeniyle yükseldiği ardından Alt Miyosen'de bölgeye aynı doğrultuda etkiyen çekme gerilmesi rejimi nedeniyle KD-GB doğrultulu normal

faylarla ayrılarak bir horst haline geldiği ve çalışma sahasının kuzeyindeki Aladağ Deresine ait menderes tarafından aşındırılarak günümüzdeki geometrisine kavuştuğu düşünülmektedir.

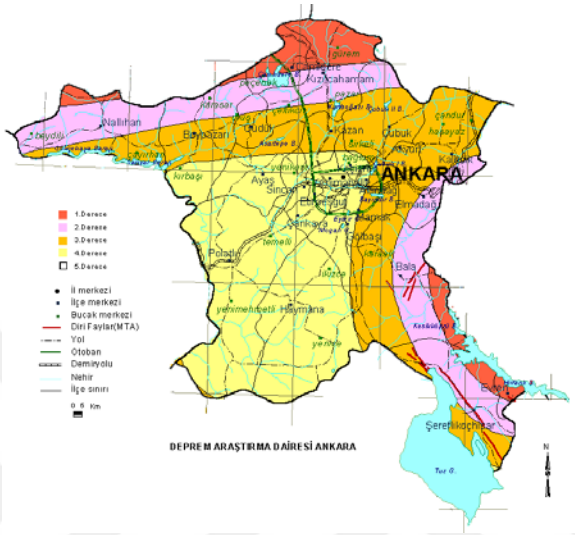
5.2.3.3. Çalışma Sahasının Depremselliği

Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından, 1900-2015 yılları arasında kayıt altına alınmış, merkezi Nallıhan Kuş Cenneti olan 100km yarıçaplı daire ile tanımlanmış alan içerisinde kalan depremler Şekil 5.4'te sunulmaktadır. Kayıtlı 79 adet depremin 60 tanesinin büyüklüğü 4 ile 5 arasında, 15 tanesinin büyüklüğü 5 ile 6 arasında, 2 tanesinin büyüklüğü 6 ile 7 arasındadır. Bahsi geçen alan içerisinde 2 adet 7'den büyük deprem tespit edilmiştir [153]. Çalışma alanına en yakın deprem 06.09.1943 tarihinde Nallıhan İlçe Merkezi Kuzeyinde, 10 km derinlikte tespit edilmiş, büyüklüğü 4.9 olan depremdir.

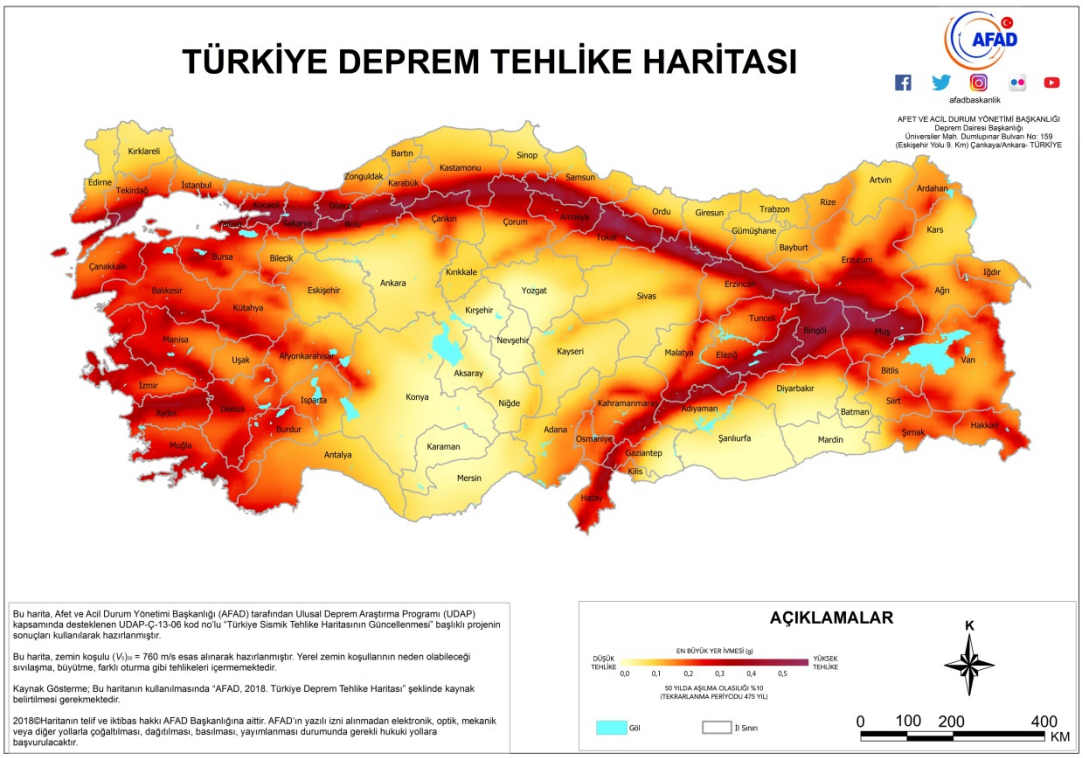


Şekil 5.4: Çalışma sahası çevresinde 1900-2015 yılları arasında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi tarafından kayıt altına alınmış depremler [153].

Çalışma sahası Şekil 5.5'te görüldüğü gibi T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi tarafından hazırlanmış Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasın'da 3. Dereceden Deprem bölgesi içerisinde kalmaktadır [154]. 1 Ocak 2019 tarihinde yürülüğe girecek Türkiye Deprem Tehlike Haritası'na göre çalışma sahasında beklenen en büyük yer ivmesinin 0.1 g'den küçük olduğu görülmektedir [154].



Şekil 5.5: Ankara İli Deprem Bölgeleme Haritası [154].



Şekil 5.6: Türkiye Deprem Tehlike Haritası [154].

5.3. İnceleme Yöntemleri

İlgili çalışma sahaları içerisinde yürütülen inceleme çalışmaları sırasında yaşanan kaya düşmesi olayları hakkında yerleşim yeri sakinlerinden bilgi alınmış; kaya düşmesi olayları sırasında hareketlenen bloklarının güncel konumları, boyutları, hacimleri tespit edilmiş; çalışma sahası içerisindeki kaya düşmesi kaynak alanları belirlenmiş ve blokları oluşturan kayaca ait kaya kütlesi içerisinden süreksizlik ölçümleri ISRM [22] tarafından önerilen esaslara uygun olarak alınmıştır. Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılması amacıyla blokları oluşturan kayaçlara ait mühendislik jeolojisi özellikleri (birim hacim ağırlık, kritik süreksizliklere ait temel sürtünme açısı değeri) ilgili laboratuvar deneyleri (kumpas yöntemiyle yoğunluk-birim hacim ağırlık tayini, deformasyon kontrollü doğrudan makaslama cihazıyla makaslama deneyi, tilt deneyi) yapılarak belirlenmiştir. Tez içerisinde önerilen modeli kullanarak hareketli bloklar için yörünge ve enerji hesaplamalarını yapan hazırlanan yazılım ve ticari bir yazılım olan RocFall v4.039 kullanılarak Bölüm 5.3.1 ve 5.3.2'de ayrıntıları sunulan çalışmalar sayesinde elde edilen veriler değerlendirilerek geriye dönük analiz çalışmaları yapılmış ve ilgili çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.3.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma sahaları içerisinde yürütülen arazi çalışmaları sayısal arazi modelinin oluşturulması için yapılan insansız hava aracı uçuşlarını; kaya düşmesi kaynak alanlarının, önceden hareketlenmiş bloklara ait konumların ve hacimlerin tespitlerini, laboratuvar deneyleri için yapılan örnek alım çalışmalarını, mühendislik jeolojisi birimini oluşturan kaya kütlesinin içerisindeki süreksizliklerin tanımlanması için yapılmış çalışmaları ve hesaplamalarda kullanılan yazılımlara ait girdi parametrelerinin tespiti için yürütülen arazi deneylerini kapsamaktadır.

5.3.1.1. Sayısal Arazi Modelinin Oluşturulması

Çalışma sahasına ait sayısal arazi modeli Parrot Gruba ait SenseFly firması tarafından insansız hava aracı formunda üretilmiş bir uzaktan algılama platformu olan, genel görünümü Şekil 5.7'da, donanım özellikleri Çizelge 5.1'de sunulan "eBee Plus" adlı ürün kullanılarak elde edilen elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde algılaması tamamlanmış hava fotoğraflarının Pix4d yazılımı yardımıyla işlenmesi sayesinde İstanbul Teknik Üniversitesi Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsün'de görevli Doç. Dr. Tolga GÖRÜM tarafından oluşturulmuştur. Insansız

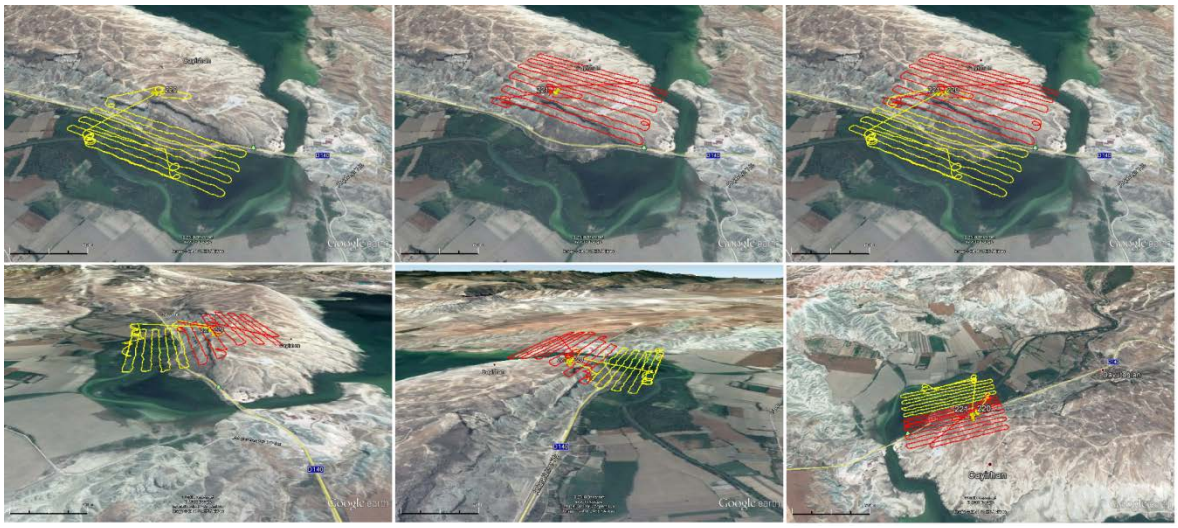
hava aracı tarafından yapılan iki farklı uçuşa (No:220 ve No:221) ait rotalar Şekil 5.8'de ve ilgili rotalarda yapılan uçuşlar sonucu elde edilen hava fotoğraflarının her bir uçuş için ayrı olarak işlenmesi sonucu elde edilen sayısal arazi modeli ve ortofotolara ait kalite raporları Ek4 ve Ek5, ayrı ayrı işlenmiş verilerin birleştirilmesiyle elde edilen tüm çalışma sahasına ait sayısal arazi modeli ve ortomozaiğe ait kalite raporu Ek 6'da sunulmaktadır.



Şekil 5.7: SenseFly Firması tarafından üretilmiş "eBee Plus" insansız hava aracının ve "S.O.D.A" algılayıcısının genel görünümü [155].

Çizelge 5.1: SenseFly Firması tarafından üretilmiş "eBee Plus" insansız hava aracına ait özellikler [155].

DONANIM	
Kanat Genişliği	110 cm
Ağırlık	1.1 kg
Motor	Düşük gürültülü, Fırçasız, Elektrik
Radyo Bağlantısı Menzili	nominal 3km (Uygun Koşullarda 8km'ye Kadar Çıkabilir)
Ayrılabilir Kanatlar	Mevcut
Algılayıcı	senseFly S.O.D.A
senseFly S.O.D.A	
Algılayıcı Tipi	KYM(RGB) (20 megapiksel)
Algılayıcı Boyutu	1-inç
Piksel Aralığı	2.33 μm
Obtüratör Tipi	Global
Yersel Çözünürlük (122m yükseklikte)	2.9cm/piksel
Toz & Şok Koruması	Mevcut
YAZILIM	
Uçuş Planlaması & Kontrol	eMotion3
Görüntü İşleme	Pix4DMapper
İŞLETME	
Otomatik 3 Boyutlu Uçuş Planlanması	Mevcut
Düz Uçuş Süratı	40-110 km/saat
Rüzgar Direnci	45 km/saat'e Kadar
Maksimum Uçüş Süresi	59 Dakika
Otomatik İniş	Yaklaşık 5m Hassasiyet ile Doğrusal İniş
Yer Kontrol Noktası (YKN) İhtiyacı	RTK/PPK aktif olduğunda YKN'ye ihtiyaç yoktur RTK/PPK pasif olduğunda istenirse YKN kullanılabilir
Elle Fırlatarak Kalkış (Katapulta İhtiyaç Olmadan)	Mümkün
SONUÇLAR	
120m'deyken Sahip Olunan Nominal Kapsama Alanı	220 hektar
2500m'deyken Sahip Olunan Maksimum Kapsama Alanı	40km^2
Yer Örnekleme Mesafesi	1cm/piksel'e Kadar Düşebilir
Mutlak X, Y, Z Doğruluğu (RTK/PPK Aktif veya YKN'ler Mevcutken)	X,Y 3cm'e; Z 5cm'e Kadar Düşebilir
Mutlak X, Y, Z Doğruluğu (RTK/PPK Pasif veya YKN'ler Mevcut Değilken)	1-5m



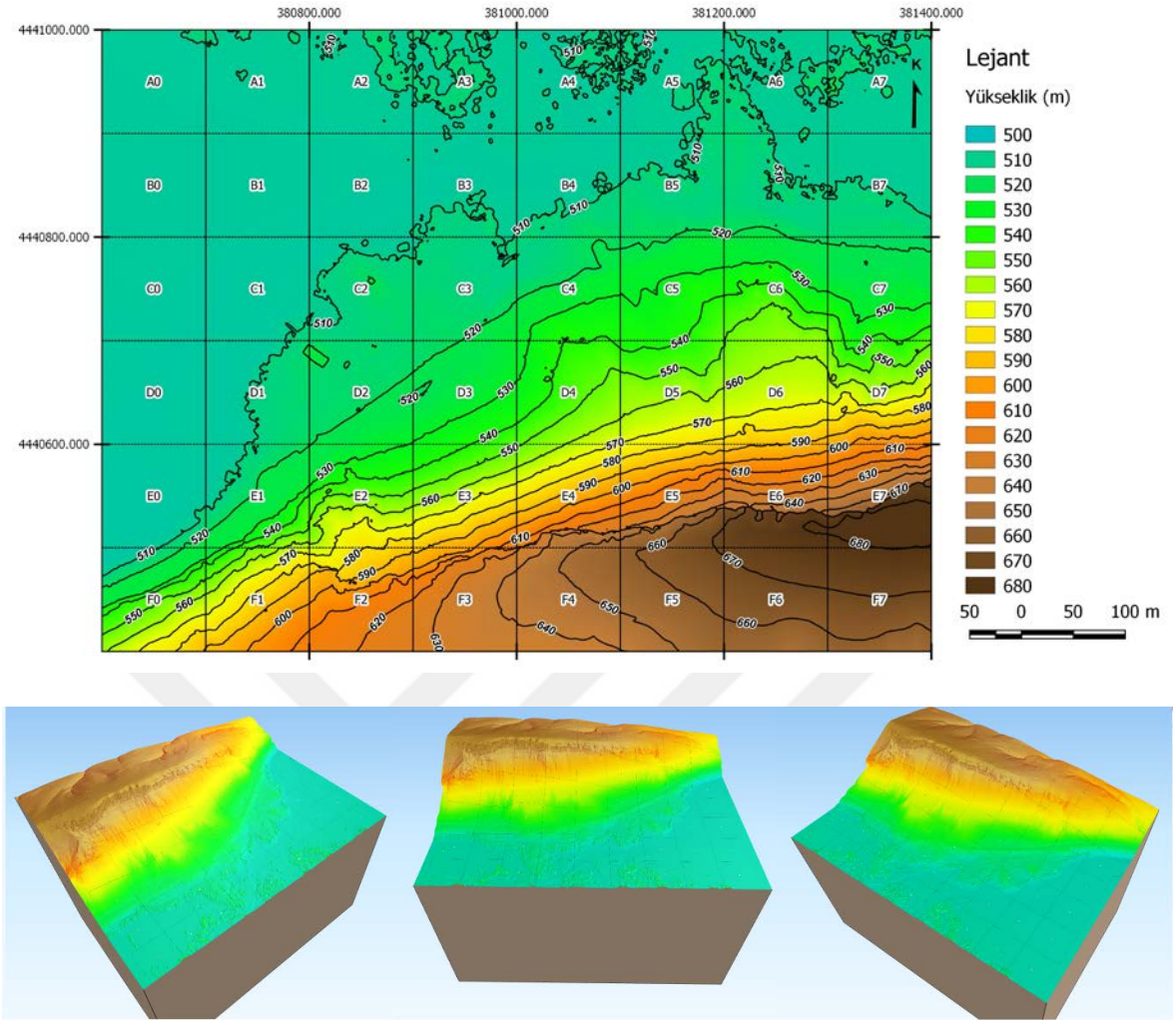
Şekil 5.8: Çalışma sahasında yapılan uçuşlara ait rotalar (Sarı: Uçuş 220, Kırmızı: Uçuş 221)

Algılaması tamamlanmış görüntü içerisindeki herhangi bir noktaya ait bağıl ortalama konum duyarlılığı, noktanın 3 boyut içerisindeki her boyutta sahip olduğu GPS tarafından ölçülmüş konumu ile Pix4d yazılımı tarafından işlendikten sonra sahip olduğu konum arasındaki farkın görüntünün sahip olduğu konum hatasına bölünmesiyle(elde edilen sayısal bir büyüklüktür. Görüntünün sahip konum hataları insansız hava aracı üzerindeki RTK GPS sistemi sayesinde ulaşılmıştır. Oluşturulan sayısal arazi modeli, ortofotolar ve ortomozaiklere ait bağıl ortalama konum duyarlılıklarına ait değerler Çizelge 5.2'de özetlenmektedir.

Çizelge 5.2: İnsansız hava aracı sayesinde elde edilen veri kümelerine ait metre cinsinden bağıl ortalama konum duyarlılıkları

Bağıl Ortalama Konum Hassasiyeti [m]			
Veri Kümesi	**X**	**Y**	**Z**
Uçuş 220	0.021502	0.021502	0.047486
Uçuş 221	0.020525	0.020525	0.046622
Uçuş 220 + Uçuş 221	0.020961	0.020961	0.047033

Oluşturulan sayısal arazi modeli üzerinde belirlenen güzergahlar boyunca alınan kritik kesitler yardımıyla tez çalışması içerisinde önerilen yöntem kullanılarak ilgili hesaplamaları yapan, hazırlanmış yazılım ve ticari yazılım kullanılarak yürütülecek geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılacak şev geometrisine ait bilgiler tanımlanmaktadır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9: Çalışma sahasına ait sayısal yükseklik modeli

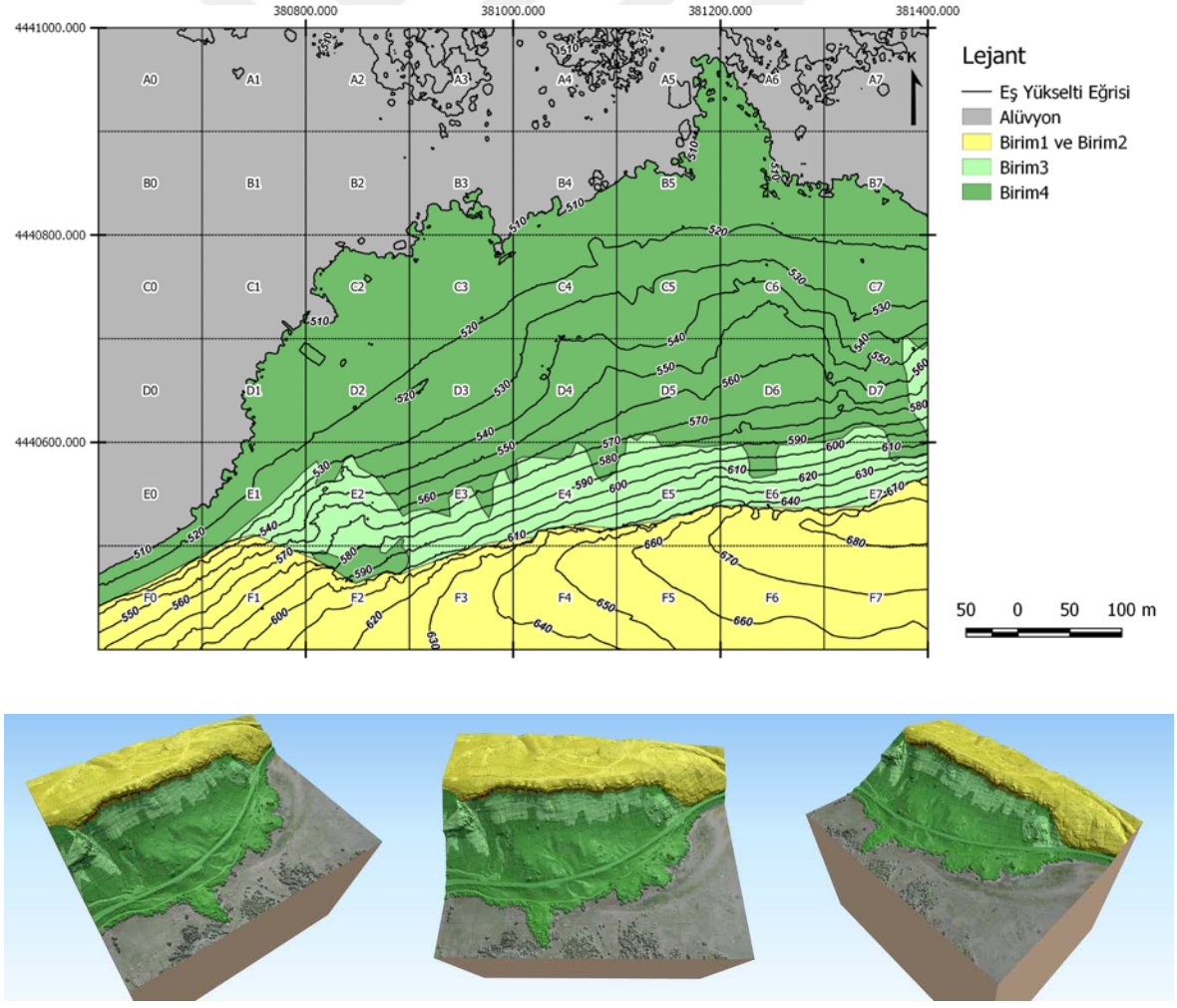
5.3.1.2. Mühendislik Jeolojisi Birimlerinin Tanımlanması

Çalışma alanının yapılan arazi gözlemleri sonucu “Birim-1, Birim-2, Birim-3, Birim-4 ve Alüvyon” adlı 5 farklı mühendislik jeolojisi birimini kapsadığı belirlenmiştir. Şekil 5.2’de görüldüğü gibi çalışma sahası içerisinde alüvyon ve Hançili Formasyonu’nun varlığı belgelenmiş, yapılan arazi gözlemleri ile durum doğrulanmıştır. Fakat Şekil 5.25’te görüldüğü gibi çalışma sahasının topografik özellikleri ve yapısı nedeniyle Hançili Formasyonu’nun Şekil 5.2’de haritalandığı şekilde tüm şev yüzeyi boyunca mostralarının yüzeylenmemektedir. Şekil 5.9 dikkate alındığında Hançili Formasyonu’nun çalışma sahası içerisinde yaklaşık 580m kotundan başlayan ve artan kotlarda yüzeylendiği görülmektedir. Yüzeylenen Hançili Formasyonu çalışmanın amacı doğrultusunda “Birim-1” ve “Birim-2” adlı 2 adet mühendislik jeolojisi birimi olarak tanımlanmaktadır.

Yaklaşık 500 m ile 510 m kotları arasında Şekil 5.2'de (Qal)Alüvyon olarak haritalanmış çökellerin varlığı yapılan arazi gözlemleri ve hava fotoğraflarının yardımı ile tespit edilmiştir ve ilgili jeolojik birim çalışmanın amacı doğrultusunda "Alüvyon" adlı 1 adet mühendislik jeolojisi birimi olarak tanımlanmaktadır.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.25'da görüldüğü gibi şevin yüksek eğime sahip olduğu, arazinin doğusunda yaklaşık 670m kotuna batısında ise 600 m kotuna kadar uzanan kısmı ile karayolunun kuzeyinde yüzeylenen alüvyon biriminin arasında farklı sıklıkta bitki örtüsü ile kaplı bir birim bulunmaktadır. İlgili birim çalışmanın amacı doğrultusunda "Birim-3" ve "Birim-4" adı altında 2 adet mühendislik jeolojisi birimi olarak tanımlanmaktadır.

Çalışma alanı içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerinin yayılımları Şekil 5.10'da, tanımları ve önemleri Bölüm 5.3.1.2.1 ile Bölüm 5.3.1.2.5 arasında sunulmaktadır.



Şekil 5.10: Çalışma sahası içerisindeki mühendislik jeolojisi birimleri

5.3.1.2.1. Alüvyon

Şekil 5.2'de görülen Aladağ Deresi'nin Sarıyar Baraj Gölü içerisine taşıdığı çökel malzemedir. Kızılçay Formasyonu (Tpek) ve Hançili Formasyonu (Tmh) kırıntılılarından oluşmaktadır. Üzerinde hacimleri 0.002m^3 ile 3.009m^3 13 adet düşmüş blok bulunmaktadır.

5.3.1.2.2. Birim 1 (Tmh – Hançili Formasyonu)

Birim 1'in ISRM [22] ve Ulusay [156] tarafından önerilen yönteme uygun tanımları Çizelge 5.3'te sunulmaktadır. Renk tanımlamasında Munsell Color [157] tarafından hazırlanmış kaya renk kartı kullanılmıştır.

Birim 1'in Birim 2'den farkı Bölüm 5.3.1.3 içerisinde "Eklem-2" olarak adlandırılmış ana eklem takımına sahip olmaması ve Birim 2'ye göre sahada daha büyük hacimli fakat sayıca daha az düşmüş blok oluşturmasıdır. Durum Birim 1'in Birim 2'ye göre ayrışma süreçlerinden daha az etkilenen, süreksizlerle daha az bölünmüş bir yapıya sahip olması ile açıklanmaktadır.

Çizelge 5.3: Birim 1'i oluşturan kaya kütlesine ait tanımlamalar

	Dayanım	Yapı	Renk	Tane Boyu	İkincil Litolojik Özellikler	Kayaç Adı	Süreksizlik Özellikleri	Bozunmanın Derecesi	Kaya Kütlesinin Geçirgenliği
Birim 1	Orta Derecede Sağlam(R3)	Çok geniş-geniş aralıklı düzenli tabakalara sahip,	açık-koyu sarımsı turuncu (10YR 8/6), yer yer grimsi sarı (5Y 8/4)	ince taneli	-	KİREÇTAŞI	bkz. Bölüm 5.3.1.3	Orta Derecede ayrışmış(W3)	Az Geçirgen

5.3.1.2.3. Birim 2 (Tmh – Hançili Formasyonu)

Birim 2'nin ISRM [22] ve Ulusay [156] tarafından önerilen yönteme uygun tanımları Çizelge 5.4'te sunulmaktadır.

Birim 1'in Birim 2'den farkı Bölüm 5.3.1.3 içerisinde "Eklem-2" olarak adlandırılmış ana eklem takımına sahip olma, Birim 1'e göre sahada daha küçük hacimli fakat sayıca daha fazla düşmüş blok oluşturması ve birimin içerisinde orta-kalın taneli karbonatlı kumtaşı laminalarının bulunmasıdır. Durum Birim 2'nin Birim 1'e göre ayrışma süreçlerinden daha fazla etkilenen, süreksizlerle daha fazla bölünmüş bir yapıya sahip olması ile açıklanmaktadır.

Çizelge 5.4: Birim 2'yi oluşturan kaya kütlesine ait tanımlamalar

	Dayanım	Yapı	Renk	Tane Boyu	İkincil Litolojik Özellikler	Kayaç Adı	Süreksizlik Özellikleri	Bozunmanın Derecesi	Kaya Kütlesinin Geçirgenliği
Birim 2	Sağlam(R4)	Orta derecede geniş-yakın, yer yer çok yakın aralıklı düzenli tabakalara sahip	grimsi sarı (5Y 8/4), sarımsı turuncu (10YR 8/6)	orta-kalın taneli	karbonatlı	KUMTAŞI	bkz. Bölüm 5.3.1.3	Az(W2)-Orta Derecede(W3) ayrışmış	Orta Derecede Geçirgen
			beyaz (N9)	ince taneli	-	KİREÇTAŞI			

5.3.1.2.4. Birim 3

Birim 1 ve Birim 2'nin kırıntılılarından oluşmuş bitki örtüsü tarafından Birim 4'e göre daya seyrek bir biçimde örtülen zemin özelliğine sahip birimdir.

5.3.1.2.5. Birim 4

Birim 1 ve Birim 2'nin kırıntılılarından oluşmuş bitki örtüsü tarafından Birim 3'e göre daha sık bir biçimde örtülen zemin özelliğine sahip birimdir.

5.3.1.3. Kaya Kütlesi İçerisindeki Ana Süreksizlik Takımlarının Tanımlanması

Hançili Formasyonu içerisindeki ana eklem takımlarının sahip olduğu farklı özellikler nedeniyle Bölüm 5.3.1.2. içerisinde tanımlanan "Birim-1" ve "Birim-2" adları altında iki ayrı birime ayrılmıştır. Çalışma sahası içerisindeki ilgili birimlerde gözlemlenebilen ana eklemlerinin tespit edilmesi amacıyla şevin taç kısmındaki Birim-1 ve Birim 2 ile Birim-3 dokanağı üzerindeki konumları Çizelge 5.5'te sunulan 8 farklı istasyonda süreksizlik ölçümleri ISRM [22] tarafından önerilen şekilde yapılmış ve ana eklem takımları Çizelge 5.6'da sunulan şekilde yapılan arazi gözlemleri yardımıyla tanımlanmıştır. İstasyonlardan alınan toplam 145 adet ölçüm Ek 7 içerisinde ve Şekil 5.12'de sunulmaktadır. Ana süreksizlik takımları sahada tipik olarak Şekil 5.15'te sunulan şekilde gözlenmektedir.

Çizelge 5.5: Hat etütlerinin yapıldığı istasyonların konumları

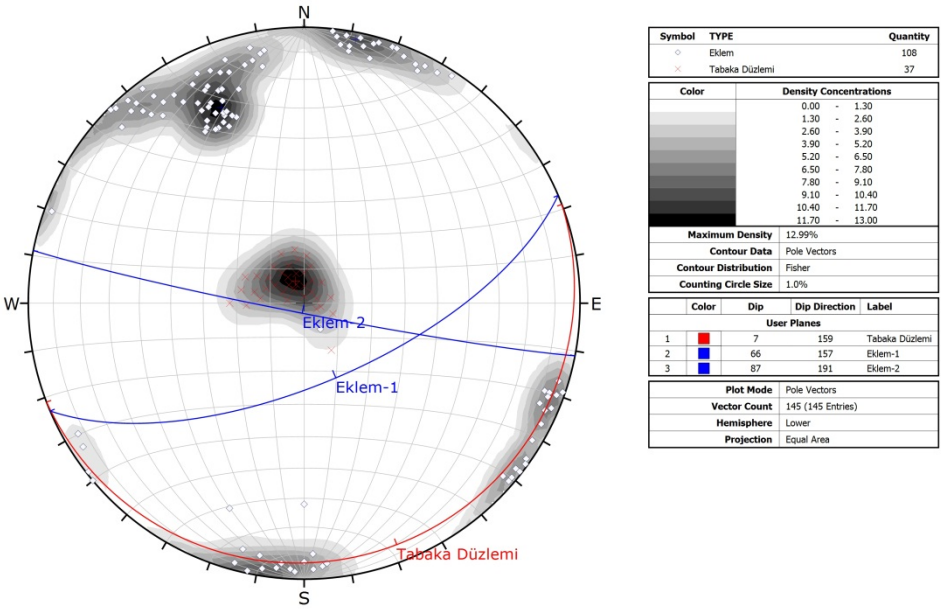
İstayon Adı	UTM, WGS-84	
	SAĞA	YUKARI
İstasyon-1	380825	4440483
İstasyon-2	380489	4440468
İstasyon-3	380882	4440476
İstasyon-4	380925	4440487
İstasyon-5	380974	4440501
İstasyon-6	381018	4440508
İstasyon-7	381151	4440529
İstasyon-8	381188	4440540



Şekil 5.11: Hat etütlerinin yapıldığı istasyonların oblik hava fotoğrafı üzerindeki konumları

Çizelge 5.6: Hançili Formasyonu içerisindeki ana eklem takımlarına ait özellikler

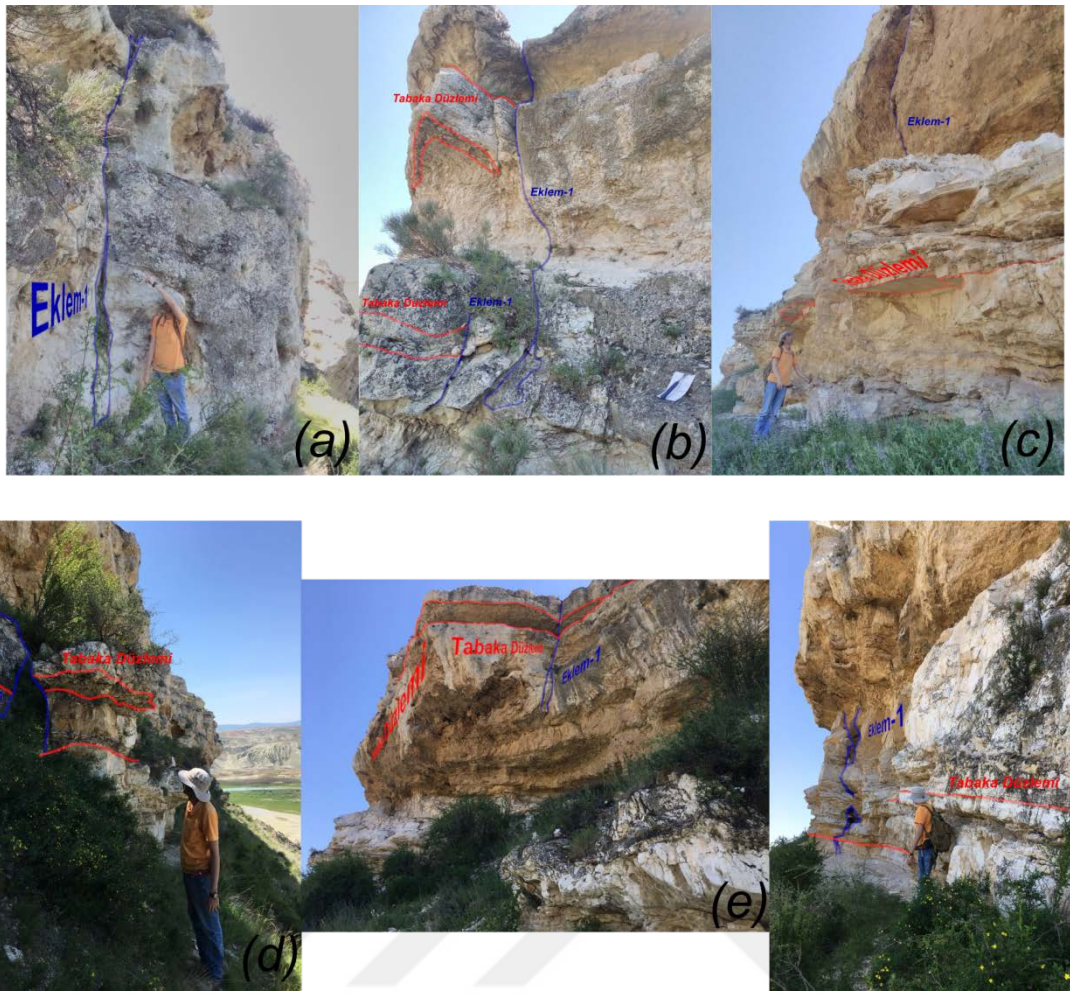
EĞİM [^{0}]	EĞİM YÖNÜ [^{0}]	TÜRÜ	DEVAMLILIK [m]	ARALIK [mm]	AÇIKLIK [mm]	AYRIŞMA	DOLGU	JRC	SU GELİRİ
71	158	Eklem1	10-20	600-2000	0,5-2,5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9 -11	kuru
86	193	Eklem2	1-3	600-2000	2,5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
7	141	Tabaka Düzlemi	>20	6000-2000, 600-2000, 60-200	0,1-0,25	Az Ayrışmış	yok	9 - 19	kuru



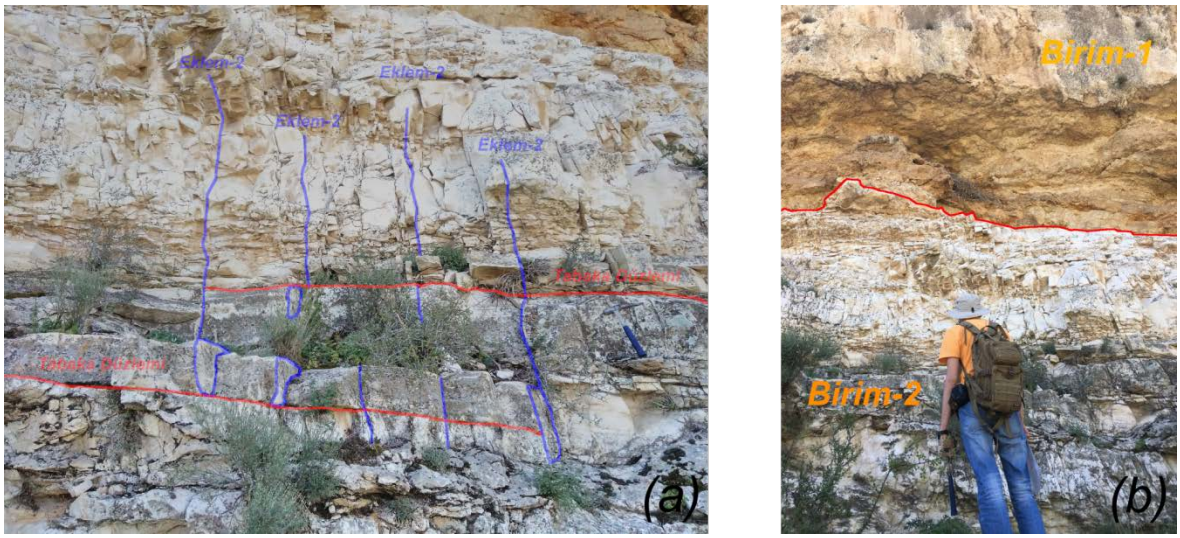
Şekil 5.12: Birim1 ile Birim2'yi oluşturan Hançili Formasyonu içerisindeki ana eklem takımlarının yönelimlerini gösterir stereonet

Ana eklem takımlarından "Tabaka Düzlemi" ve "Eklem-1" sahada Şekil 5.15'te sunulan şekilde gözlenmektedir. "Eklem 1" Birim 1 ve Birim 2 içerisinde "Tabaka Düzlemi" ile kesişerek kaya kütlesinden blokların ayrılmasına neden olmaktadır.

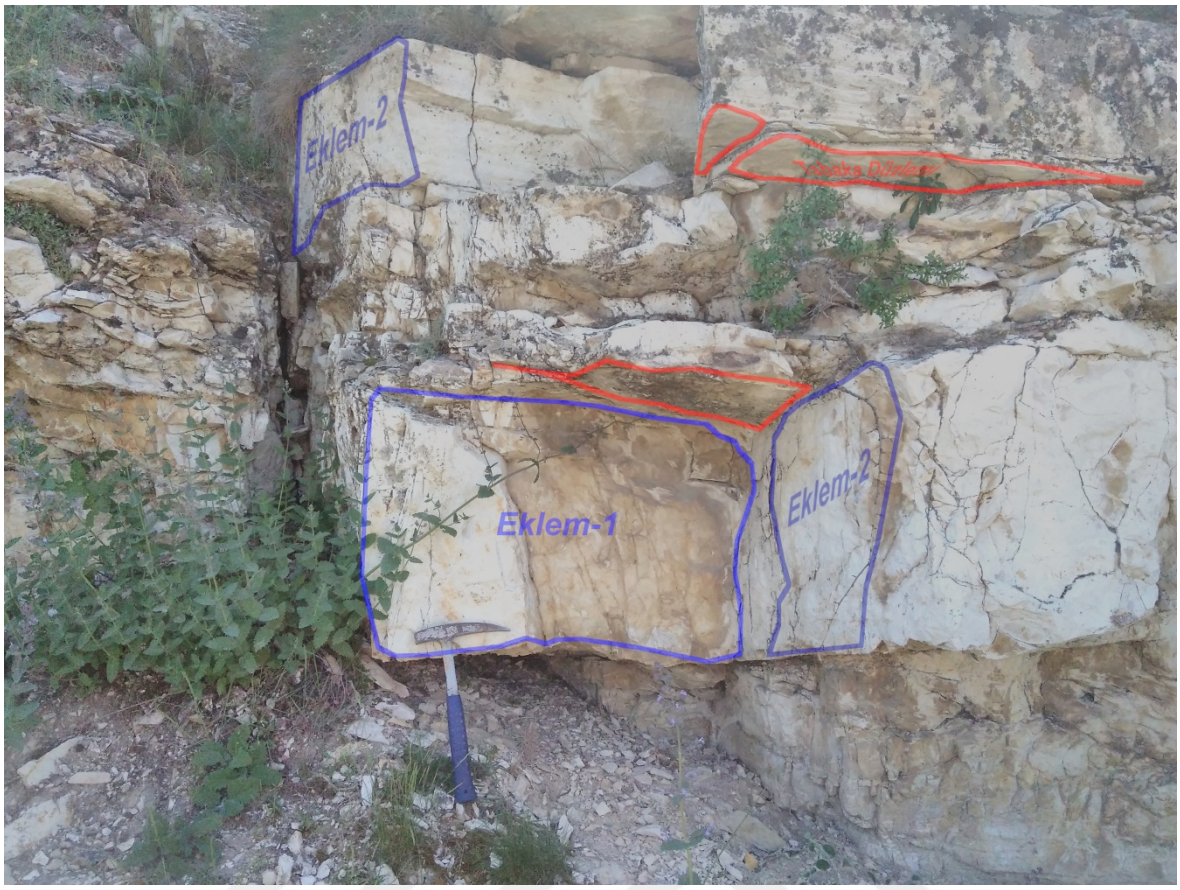
Ana eklem takımlarından "Tabaka Düzlemi" ve "Eklem 2" sahada Şekil 5.14'te sunulan şekilde yerel olarak Çizelge 5.6'da sunulan aralık değerinden daha sık aralıklara sahip olarak sahada gözlemlenebilmektedir.



Şekil 5.13: Eklem 1'in ve Tabaka Düzlemleri'nin sahadaki görünümleri,(a) İstasyon-2, (b) İstasyon-4, (c) İstasyon-6(Batı), (d) İstasyon-6 ve 7 arası (Doğu), (e) İstasyon-6, (f) İstasyon-8



Şekil 5.14: Eklem 2'nin ve Tabaka Düzlemleri'nin sahadaki görünümleri, (a) İstasyon-4, (b) İstasyon 5 ve 6 arası



Şekil 5.15: Ana eklem takımlarının sahadaki tipik görünümleri (İstasyon-6 ve 7 arası)

5.3.1.4. Kaya Düşmesi Kaynak Bölgeleri ile Düşmüş Blokların Hacimlerinin Değerlendirilmesi

Ofis çalışmaları sırasında ortomozaiğin ve sayısal arazi modelinin oluşturulmasında kullanılan nokta bulutunun eş zamanlı olarak değerlendirilmesiyle tespit edilen kaya düşmesi kaynak bölgelerinin konumlarının doğrulanması, sahada yapılan gözlemler ve Bölüm 5.3.1.2 ile Bölüm 5.3.1.3 içerisinde tanımları sunulan çalışmaların tamamlanmasıyla elde edilen veriler incelenerek yapılmıştır. Kaynak bölgesinin konumu Şekil 5.25'te sunulmaktadır.

Bölüm 5.3.3.1 içerisinde ayrıntıları sunulan düşen blokların hacimlerinin hesaplanması için yapılan çalışmaya ait sonuçlarının kontrolünün yapılması amacıyla çalışma sahası içerisindeki Çizelge 5.7'de sunulan blokların birbirlerine dik yönelimli en büyük boyutları dörtgen bir prizmatik hacmi tanımlayacak şekilde şerit metre kullanılarak ölçülmüştür. Arazi ölçümleri yardımıyla hesaplanan hacim ile nokta bulutu kullanılarak hesaplanan hacim arasındaki farkların genelde nokta bulutu kullanılarak hesaplanan hacmin 3 katını geçmediği Çizelge 5.7'de

görülmektedir ve durum beklenen bir sonuçtur. Örnekle açıklamamız gerekirse taban kenar uzunluğu ve yüksekliği 1 m olan kare piramit düşünüldüğünde CloudCompare yazılımı tarafından hesaplanan piramit hacmi (1x1x1)/3 m^3, diğer yöntemler ile hesaplanan piramit hacmi ise (1x1x1) m^3 olacaktır. Sahadaki bloğun şekli dörtgen prizmadan piramidal bir şekle doğru saptıkça birbirine dik, en büyük blok boyutları kullanılarak hesaplanan hacim değeri gerçek blok hacminden saparak olağandan daha büyük değerler alacaktır. Bu nedenle sahada bulunan blokların hacimlerinin hesaplanmasında kullanılan ve literatürdeki çalışmalarda sıklıkla tercih edilen ilgili yöntemin kullanılması doğru ve pratik değildir. Uygulama alanın genişliği, ekonomik olması ve en önemlisi gerçeğe en yakın sonucu vermesi nedeniyle çalışmamızda da tercih edildiği gibi yüksek yersel çözünürlüğe sahip uzaktan algılama (stereo hava fotoğrafları veya LIDAR) verileri kullanılarak oluşturulmuş veri kümesi kullanılarak blok hacimlerinin belirlenmesi günümüz teknolojisi dikkate alındığında daha uygundur.

Çizelge 5.2'de sunulan uzaktan algılama verilerine ait bağıl ortalama konum duyarlılığı değerleri dikkate alındığında nokta bulutu yapılan ölçümlerde ± 0,00004123 m^3 (41,23 cm^3) sapma olabileceği görülmektedir. İlgili hacim sapması değerinin arazi ölçümlerinin kullanıldığı yöntemle hesaplanan hacimlerde yaşanan sapmalar ile karşılaştırıldığında oldukça küçük bir değer olması nedeniyle uzaktan algılama verileri kullanılarak sahadaki düşmüş blok hacimleri belirlenmiştir.

Çizelge 5.7: Örnek bloklara ait hacim ölçümleri

Karelaj No	BlokNo	Cloud Compare (Yazılım)	Arazi Ölçümleri				Hacim farkı
		Net Hacim [m^3]	genişlik [m]	uzunluk [m]	yükseklik [m]	Hacim [m^3]	Net Hacim - Arazi Ölçümleri [m^3]
D2	25	12,114	2,80	5,40	2,00	30,240	18,126
D2	26	0,681	1,20	1,60	1,20	2,304	1,623
D4	91	0,337	0,80	0,90	0,60	0,432	0,095
D4	107	79,459	4,50	5,60	3,00	75,600	3,859
D4	112	0,136	1,10	0,85	0,53	0,496	0,360
D4	114	0,048	0,70	0,60	0,70	0,294	0,246
D4	138	4,216	2,70	2,00	1,60	8,640	4,424
D4	139	0,655	1,00	1,50	0,80	1,200	0,545
C5-D5	189	0,186	2,01	1,30	1,70	4,442	4,256
C5	197	0,065	0,60	0,65	0,63	0,246	0,181
C5	198	0,189	1,10	1,50	1,30	2,145	1,956

5.3.1.5. Süreksizlik Yüzeyine ait Sürtünme Açısının Tespiti Amacıyla Arazide Yürütülen Schmidt Çekici Deneyleri

Sahada yapılan gözlemler sonucu Birim 1 ve Birim 2 içerisindeki blokların devrilmesine neden olduğu düşünülen Eklem 1'e ait süreksizlik yüzeylerini temsil eden düşmüş blok yüzeyleri üzerinde ISRM [22] ve ISRM [23] tarafından önerilen yöntemlere uygun olarak süreksizlik yüzeyinin sürtünme açısının tespiti amacıyla 25, 26, 91, 107, 118, 139, 190, ve 198 numaralı bloklar kullanılarak yürütülmüştür. Ayrışmış süreksizlik yüzeyleri üzerinde yapılan ölçümler (r) ayrıntılı olarak Ek11 içerisinde sunulmaktadır. Sürtünme açısı Bölüm 5.3.3.2 içerisinde tanımlanan kinematik analizlerde kullanılan ana girdi değişkenlerinden bir tanesidir. Deney sonuçları Çizelge 5.8'de sunulmaktadır.

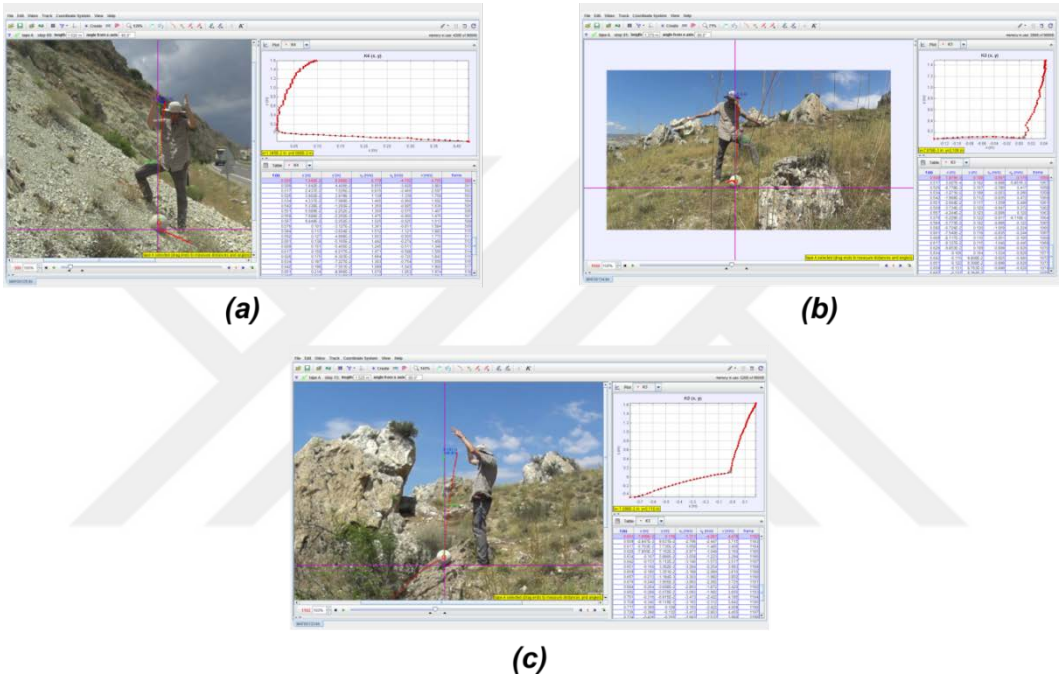
Çizelge 5.8: Ayrışmış süreksizlik yüzeyleri üzerinde yapılan Scmidt Çekici Deneyi Sonuçları (r)

Örnek Adı	Örnekleme Tipi	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri				
		En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Ortanca	Tepe Değeri
Blok No:25	Yerinde (In-situ)	21	47	33,95	32,50	21 - 27 - 33 - 34 - 42
Blok No:26	Yerinde (In-situ)	22	52	34,25	33,50	24 - 42
Blok No:91	Yerinde (In-situ)	36	55	44,50	44,00	39
Blok No:107	Yerinde (In-situ)	22	58	43,10	44,50	43
Blok No:118	Yerinde (In-situ)	31	55	41,35	39,50	36 - 38
Blok No:139	Yerinde (In-situ)	33	55	47,10	50,00	51
Blok No:190	Yerinde (In-situ)	21	53	41,15	44,00	39 - 46 - 52
Blok No:198	Yerinde (In-situ)	33	55	46,55	47,00	47
Blok No:198	Yerinde (In-situ)	33	72	62,35	65,50	51 - 60 - 63 - 66 - 67 - 68 - 71

5.3.1.6. Geriye Dönük Analiz Çalışmalarında Kullanılan Yazılımlara ait Girdi Değişkenlerinin Belirlenmesi

Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılan yazılımlara ait girdi değişkenlerini blokların üzerinde hareket ettiği 2 boyutlu yüzeye ait geotmetri ve ilgili yazılım tarafından kullanılan hareket modeline ait değişkenler oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında hazırlanmış yazılım ve ticari RocFall yazılımında kullanılmak üzere yüzey geometrisi verilerini Bölüm 5.3.1.1'de sunulan arazi modeli üzerinden alınan ve Şekil 5.27'te sunulan kritik topoğrafik kesitleri oluşturan poligonların köşe noktalarının yatay ve düşey konumları oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında hazırlanmış yazılım RocFall yazılımında kullanılan düşen kütleyi tanımlayan değerler Çizelge 5.16'da sunulan ortalama blok hacimleri ile Bölüm 5.3.2.1 içerisinde tanımlanmış deneysel çalışmalar sonucu ulaşılan ortalama birim hacim ağırlık değerinin çarpılmasıyla tespit edilmiştir.

RocFall yazılında kullanılan çalışma alanı içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerine ait normal (R_n) ve teğet (R_t) geri sıçrama katsayısı değerlerinin tespiti için öncelikle Şekil 5.18'da konumları sunulan deneysel çalışmalara ait yüksek hızlı kamera (Sony HDR-AS100V, 200kare/sn) ile çekilmiş görüntüler "Tracker" adlı yazılım kullanılarak Şekil 5.16'te sunulan şekilde kütlesi belirli cismin çarpışma öncesi ve sonrası yatay ile düşey hız vektörlerinin büyüklüklerini belirlemek üzere değerlendirilmiştir. İlgili mühendislik jeolojisi birimlerine ait R_n ve R_t değerleri Çizelge 5.9'da sunulmaktadır.



Şekil 5.16: Yüksek hızlı kamera görüntülerinin incelenmesi, a) Birim3'e ait görüntü, b) Birim4'e ait görüntü, c) Birim1 ve Birim2'ye ait görüntü.

Çizelge 5.9: Yüksek hızlı kamera ile çekilen görüntülerin değerlendirilmesi sonucu ulaşılan sahadaki mühendislik jeolojisi birimlerine ait Rn ve Rt değerleri

Deney Konumu			Kullanılan Küre			Hız				Temsil Edilen Mühendislik Jeolojisi Birimi	Geri Sıçrama Katsayısı	
						Çarpışma Öncesi		Çarpışma Sonrası				
No	Sağa	Yukarı	No	Kütle [kg]	Çap [cm]	Yatay [m/s]	Düşey [m/s]	Yatay [m/s]	Düşey [m/s]		R_N	R_T
L1	380780	4440550	K4	11,222	21,513	0,179	-4,762	0,655	-3,929	Birim3	0,825	3,659
L1	380780	4440550	K4	11,222	21,513	-0,077	-4,916	0,182	-4,235	Birim3	0,861	2,349
L1	380780	4440550	K4	11,222	21,513	0,096	-4,383	0,335	-2,784	Birim3	0,635	3,477
L1	380780	4440550	K4	11,222	21,513	0,054	-4,552	0,218	-3,610	Birim3	0,793	4,041
L2	381405	4440734	K1	11,36	21,0007	-0,107	-1,716	-0,644	-1,609	Birim4	0,938	6,019
L2	381405	4440734	K1	11,36	21,0007	0,047	-5,205	0,047	-3,596	Birim4	0,691	1,000
L2	381405	4440734	K1	11,36	21,0007	-0,062	-4,663	0,233	-2,660	Birim4	0,570	3,746
L3	381013	4440631	K2	11,574	21,742	-0,497	-1,018	-0,620	-0,163	Birim4	0,160	1,247
L4	381027	4440655	K3	11,238	21,687	-1,311	-4,281	-2,796	-2,447	Birim1 ve Birim2	0,572	2,133
L5	381016	4440636	K3	11,238	21,687	-0,591	-3,179	-0,998	-0,059	Birim4	0,018	1,689
L5	381016	4440636	K3	11,238	21,687	-0,581	-2,114	-0,845	-0,106	Birim4	0,050	1,454

Bölüm 3.5.7 içerisinde sunulan geri sıçrama katsayısının tanımı ve Eşitlik 3.49 dikkate alındığında Çizelge 5.9'da sunulan değerlerin anlamsız olduğu açıktır. Bu nedenle RocFall yazılımında kullanılan, çalışma alanı içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerine ait normal (R_n) ve teğet (R_t) geri sıçrama katsayısı değerleri Bölüm 5.3.3.1'de sunulan esaslara uygun olarak belirlenmiş blok kütleleri kullanılarak yürütülmüş geriye dönük analiz çalışmaları tamamlanarak belirlenmiştir.

Hazırlanan yazılıma ait yatay yay sabiti (k_x), yatay sönümleme katsayısı (c_x), düşey yay sabiti (k_y), düşey sönümleme katsayısı (c_y) ayrıntıları bölüm içerisinde sunulan arazi deneyleri sonucu elde edilen şev yüzeyini oluşturan malzemeye ait yatay ve düşey yer değiştirme değerleri kullanılarak belirlenmiştir.

Yarıçapları ve ağırlıkları Çizelge 5.10'da sunulan küresel şekle sahip, karışım oranları Levy [158] tarafından önerilen oranlara uygun olarak hazırlanmış beton bloklar (Şekil 5.17a) Şekil 5.17'da gösterilen şekilde ilgili mühendislik jeolojisi birimleri üzerinde serbest düşme hareketi yapacakları şekilde bırakılarak (Şekil 5.17b) eğimli birim yüzeyi üzerinde oluşturdukları maksimum yer değiştirme değerleri kumpas yardımıyla ölçülmüştür (Şekil 5.17c-d). Elde edilen deformasyon vektörü, .çarpışmadan önce ölçülen yüzey eğimi değeri (Şekil 5.17e) yardımıyla yatay ve düşey bileşenlerine ayrılarak Bölüm 5.3.3.3 içerisinde ayrıntıları sunulan geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılmak üzere mühendislik jeolojisi birimlerinin hazırlanan yazılım içerisinde ifade edilmesini sağlayacak değişkenlere ulaşılması mümkün olmuştur.

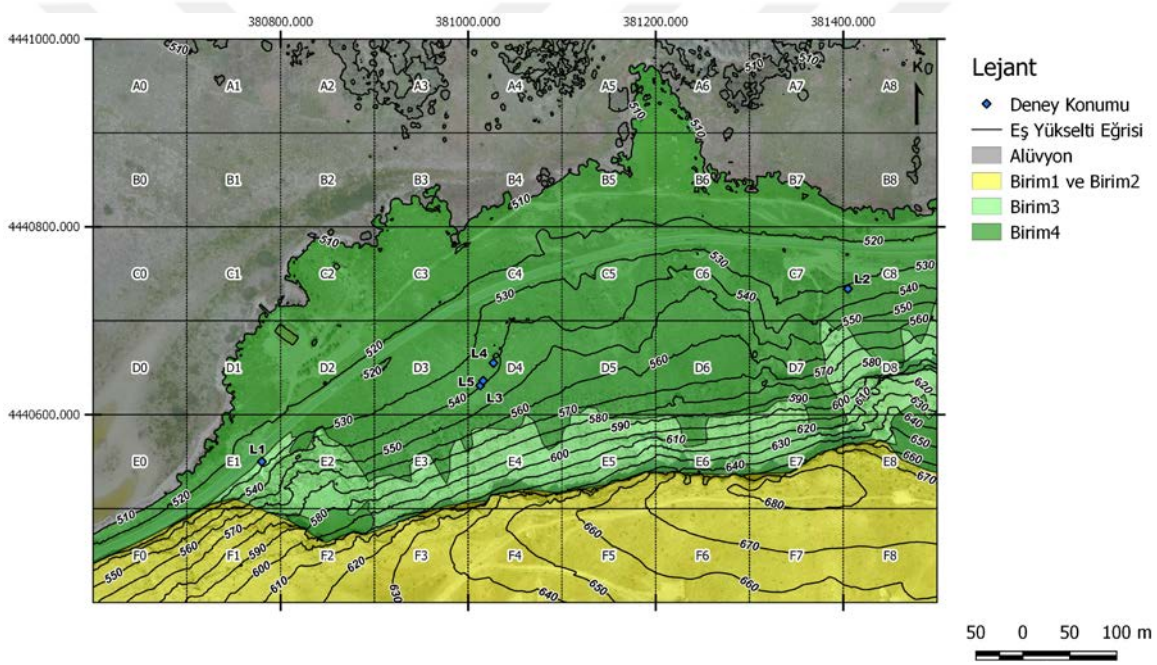
Şekil 5.18'de görüldüğü gibi alüvyon birimi hariç diğer tüm mühendislik jeolojisi birimleri üzerinde deney yapılmıştır. L3 konumunda Birim1 ve Birim2'yi temsil eden değişkenlere ulaşmak için yürütülen deneysel çalışmada ölçülebilecek bir deformasyon gözlemlenmemiştir. Arazide yürütülen deneylerin konumları Şekil 5.18'da sonuçları ise Çizelge 5.11'de sunulmaktadır.

Çizelge 5.10: Küresel beton numunelere ait özellikler

Blok Adı	Kütle [kg]	Çap [mm]
K1	11,360	210,007
K2	11,574	217,420
K3	11,238	216,870
K4	11,222	215,130



Şekil 5.17: Deformasyon vektörlerinin belirlenmesi



Şekil 5.18: Deformasyon vektörlerinin tespiti amacıyla yürütülen deneysel çalışmaların çalışma sahası içerisindeki konumları

Çizelge 5.11: Deformasyon vektörlerinin tespiti amacıyla yürütülen deneysel çalışmaların sonuçları

Deney Konumu			Kullanılan Beton Küre	Yüzey Eğimi [^{0}]	Ölçüm [mm]	Kalas Kalınlığı [mm]	Net Yer Değiştirme [mm]	Net Yatay Yer Değiştirme [mm]	Net Düşey Yer Değiştirme [mm]
No	Sağa	Yukarı							
L1	380780	4440550	K4	42	95,03	39,71	55,32	37,02	41,11
L1	380780	4440550	K4	41	90,51	39,74	50,77	33,31	38,32
L1	380780	4440550	K4	28	98,67	39,62	59,05	27,72	52,14
L1	380780	4440550	K4	42	90,40	39,66	50,74	33,95	37,71
L2	381405	4440734	K1	29	75,49	39,74	35,75	17,33	31,27
L2	381405	4440734	K1	20	70,97	39,67	31,30	10,71	29,41
L2	381405	4440734	K1	22	69,99	39,62	30,37	11,38	28,16
L3	381013	4440631	K2	14	63,30	39,63	23,67	5,73	22,97
L4	381027	4440655	K3	40	-	-	-	-	-
L5	381016	4440636	K3	23	64,73	39,80	24,93	9,74	22,95
L5	381016	4440636	K2	22	64,58	39,59	24,99	9,36	23,17

5.3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Blokları oluşturan kayaçların birim hacim ağırlıkları ve sahip oldukları temel sürtünme açısı değeri ISRM [22] tarafından önerilen yönteme uygun olarak çalışma sahalarından alınan örnekler üzerinde yürütülen laboratuvar çalışmaları sonucu belirlenmiştir.

5.3.2.1. Yoğunluk ve Birim Hacim Ağırlık Tayini (Kumpas Yöntemiyle)

Yoğunluk ve birim hacim ağırlık tespitinde kullanılan numunelerin görünümleri Şekil 5.19'de tamamlanmış deneylere ait sonuçlar Çizelge 5.12'de sunulmaktadır.



Şekil 5.19: Kumpas yöntemi ile yoğunluk-birim hacim ağırlık tayininde kullanılan örnekler

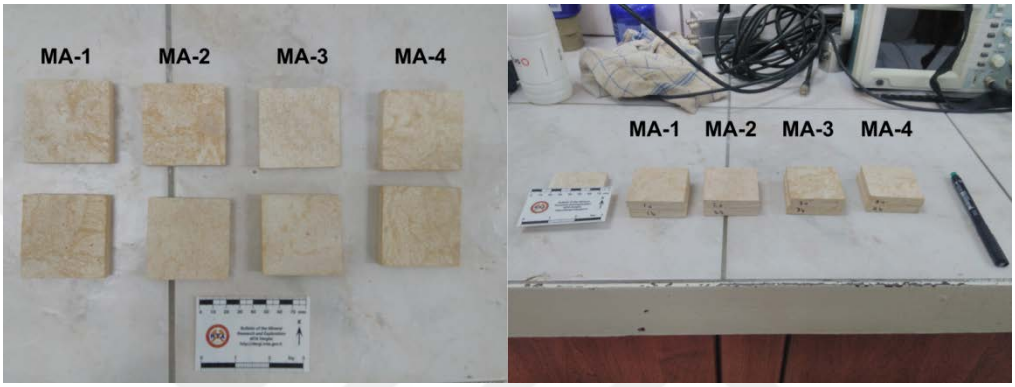
Çizelge 5.12: Çalışma sahaları içerisinde önceden hareketlenmiş blokları oluşturan kayaçlara ait birim hacim ağırlık değerleri

Örnek No	En (mm)	Boy (mm)	Yükseklik (mm)	Hacim (cm^3)	Örnek Ağırlığı (g)	Yoğunluk (g/cm^3)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	Kayaç Tanımı
M-1	52,960	33,480	23,840	42,271	87,550	2,071	20,318	Kireçtaşı
M-2	54,230	36,380	67,450	133,071	294,240	2,211	21,691	Kireçtaşı
M-3	44,410	42,480	26,430	49,861	105,460	2,115	20,749	Kireçtaşı
M-4	42,855	38,120	39,005	63,720	141,280	2,217	21,751	Kireçtaşı

Çizelge 5.12'de sunulan yoğunluk değerlerinin aritmetik ortalaması 2.15 g/cm^3, birim hacim ağırlık değerlerinin aritmetik ortalaması ise 21.13 $kN/m^{3,}$ tür.

5.3.2.2. Deformasyon Kontollü Doğrudan Makaslama Cihazıyla Makaslama Deneyi

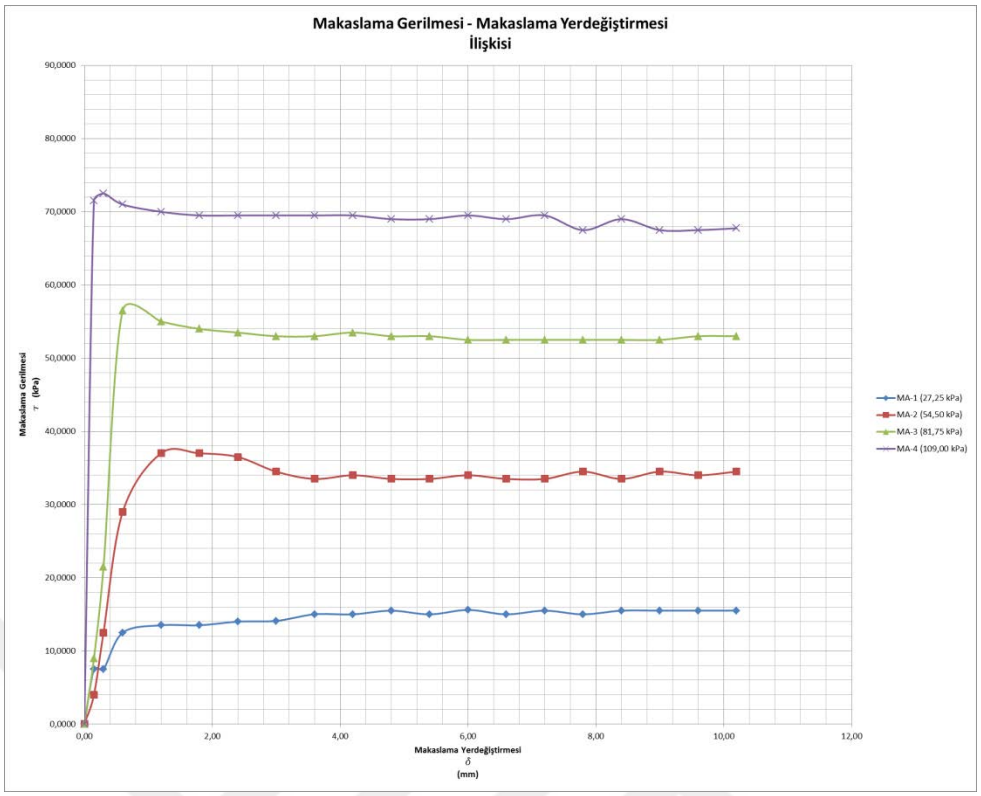
Bölüm 5.3.3.2. içerisinde tanımlanan kinematik analizlerde kullanılan ana girdi değişkenlerinden biri olan süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısının tespiti amacıyla ISRM [22] ve Ulusay vd. [159] tarafından önerilen yönteme uygun olarak Şekil 5.20'da sunulan şekilde hazırlanmış 4 adet numune üzerinde deformasyon kontrollü doğrudan makaslama cihazı kullanılarak makaslama deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Ek 8 içerisinde sunulmaktadır.



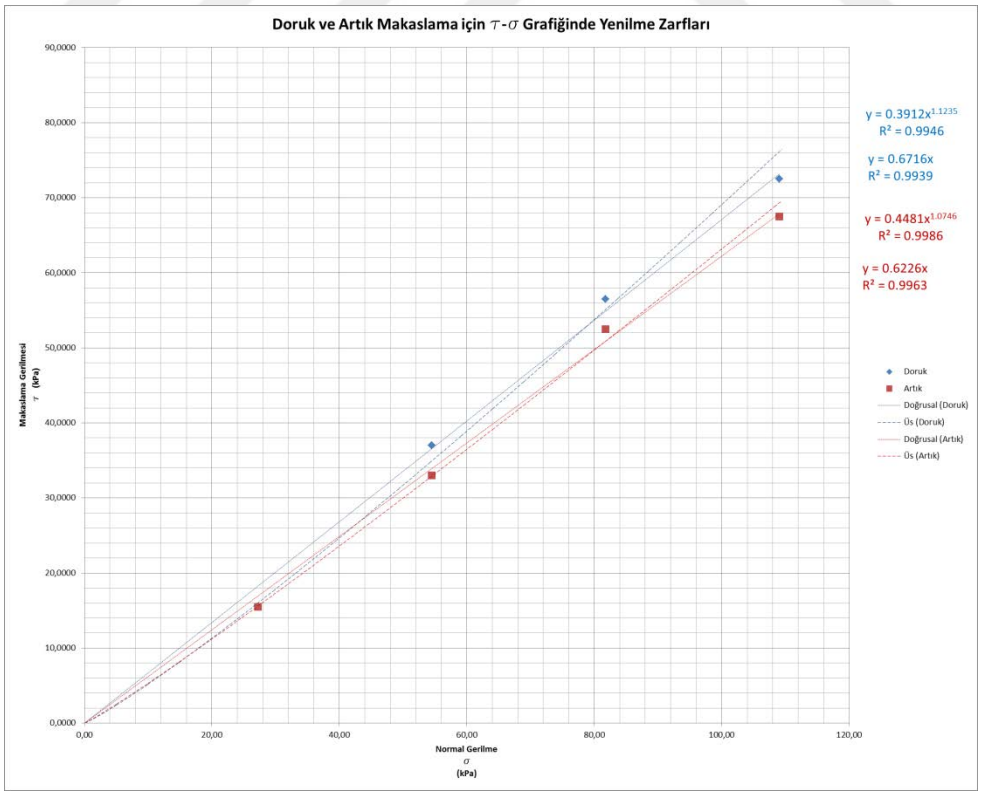
Şekil 5.20: Deformasyon kontrollü doğrudan makaslama cihazıyla yürütülen makaslama deneylerinde kullanılan numuneler

Çizelge 5.13: Numunelere ait normal gerilme ve makaslama gerilmesi değerleri

	Normal Gerilme (kPa)	Makaslama Gerilmesi (kPa)	
		Doruk	Artık
MA-1	27,25	15,5000	15,5000
MA-2	54,50	37,0000	33,0000
MA-3	81,75	56,5000	52,5000
MA-4	109,00	72,5000	67,5000



Şekil 5.21: Numunelere ait makaslama gerilmesi-makaslama yer değiştirmesi ilişkisi



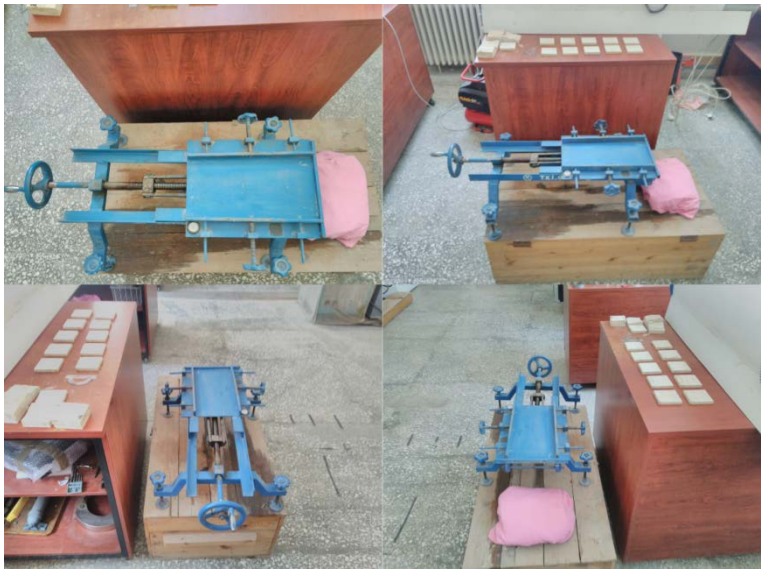
Şekil 5.22: Doruk ve artık makaslama için τ-σ grafiğinde yenilme zarfları

Şekil 5.21 kullanılarak Çizelge 5.13'te sunulan doruk ve artık makaslama gerilmesi değerleri tespit edilmiştir. Çizelge 5.13'te sunulan değerler kullanılarak Şekil 5.22'de sunulan yenilme zarfları oluşturulmuştur. Doğrusal doruk yenilme zarfına ait sürtünme açısı 33.89°, artık yenilme zarfına ait sürtünme açısı ise 31.91°'dir.

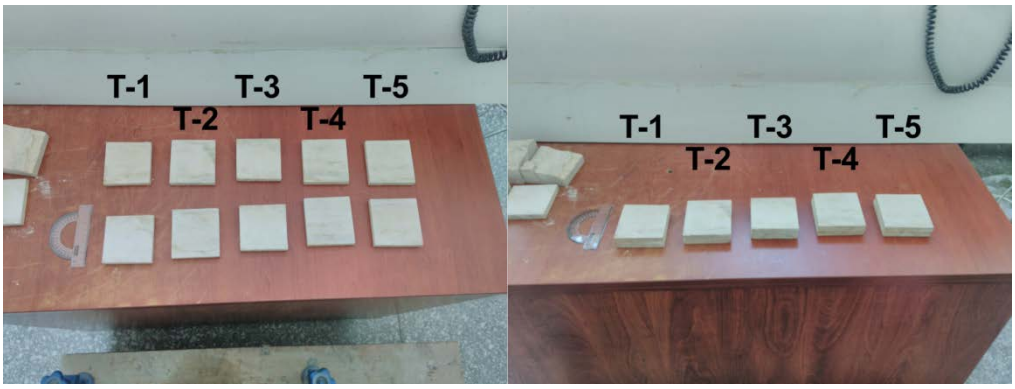
5.3.2.3. Tilt Deneyi

Süreksizlik yüzeyine ait temel sürtünme açısının belirlenmesi için kullanılan tilt deneyi Şekil 5.23'de sunulan cihaz kullanılarak yürütülmüştür. Cihaz numunenin üzerinde durduğu, üzerindeki düzey yardımıyla yataylığının kontrol edilebildiği ve ucunda bir kol bulunan sonsuz dişli yardımıyla eğimi ayarlanabilen yatay, metal bir yüzeyden oluşmaktadır. Numunenin alt yarısının metal yüzey üzerinde kaymasını engelleyen ayarlanabilir bir metal bar bulunmaktadır. Deney düzeç ile yataylığı kontrol edilen cihaz üzerine numunenin konulması, numunenin alt yarısının metal yüzey üzerinde kaymasını engelleyecek şekilde bahsi geçen metal barın numunenin üst yarısı ile temas etmeyecek şekilde yükseltilmesi, sonsuz dişliye bağlı kolun sabit bir hızla saat yönünde çevrilerek (0.5 devir / saniye) platformun eğiminin arttırılması ve numunenin üst yarısının numunenin alt yarısı üzerinde hareket etmeye başladığı anda kol çevriminin durdurularak platform eğiminin yatay ile yaptığı dar açının ölçülmesini kapsamaktadır.

Deney numunelerinin her bir yarısı yükseklikleri 1 cm'den, en ve boyları ise yüksekliklerinin 4 katından büyük olacak şekilde 1.00 cm X 8.00 cm X 8.00 cm boyutlarında Şekil 5.24'te sunulan şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 5.23: Tilt deneyi aleti



Şekil 5.24: Tilt deneyinde kullanılan numuneler

Deney sonuçları Çizelge 5.14'te sunulmaktadır. Sonuçlar değerlendirilirken T-3'e ait sonuçların uç değer olması nedeniyle dikkate alınmamıştır. Sürtünme yüzeyine ait temel sürtünme açısı Çizelge 5.14'teki sonuçların aritmetik ortalaması alındığında 26.20^0 olarak tespit edilmektedir.

Çizelge 5.14: Tilt deneyi sonuçları

Örnek No	Tilt Açısı	
	Elektronik Inklinometre [^{0}]	Açı Ölçer [^{0}]
T-1	26,1	26
T-2	25,3	25
T-3	40,4	40
T-4	24,2	24,5
T-5	29,2	30

5.3.2.4. Süreksizlik Yüzeyine ait Sürtünme Açısının Tespiti Amacıyla Laboratuvarda Yürütülen Schmidt Çekici Deneyleri

İlgilenilen süreksizliğin içerisinde bulunduğu kayaca ait numunenin kesilmiş yüzeyine ait düzeltilmiş Schmidt geri sıçrama değerleri (R) ISRM [22] ve ISRM [23] tarafından önerilen yöntemlere uygun olarak Hacettepe Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı içerisinde, tilt ve makaslama kutusu deneylerinde kullanılacak numuneler hazırlanırken artan kayaç parçaları kullanılarak yürütülmüştür. Taze kayaç yüzeylerini temsil eden ölçümler boyutları ve görünümleri Ek 12 içerisinde sunulan 3 farklı numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.15'te sunulmaktadır.

Çizelge 5.15: Laboratuvarda kesilmiş taze kayaç yüzeyleri üzerinde yürütülmüş Scmidt Çekici Deneylerine ait sonuçlar (R)

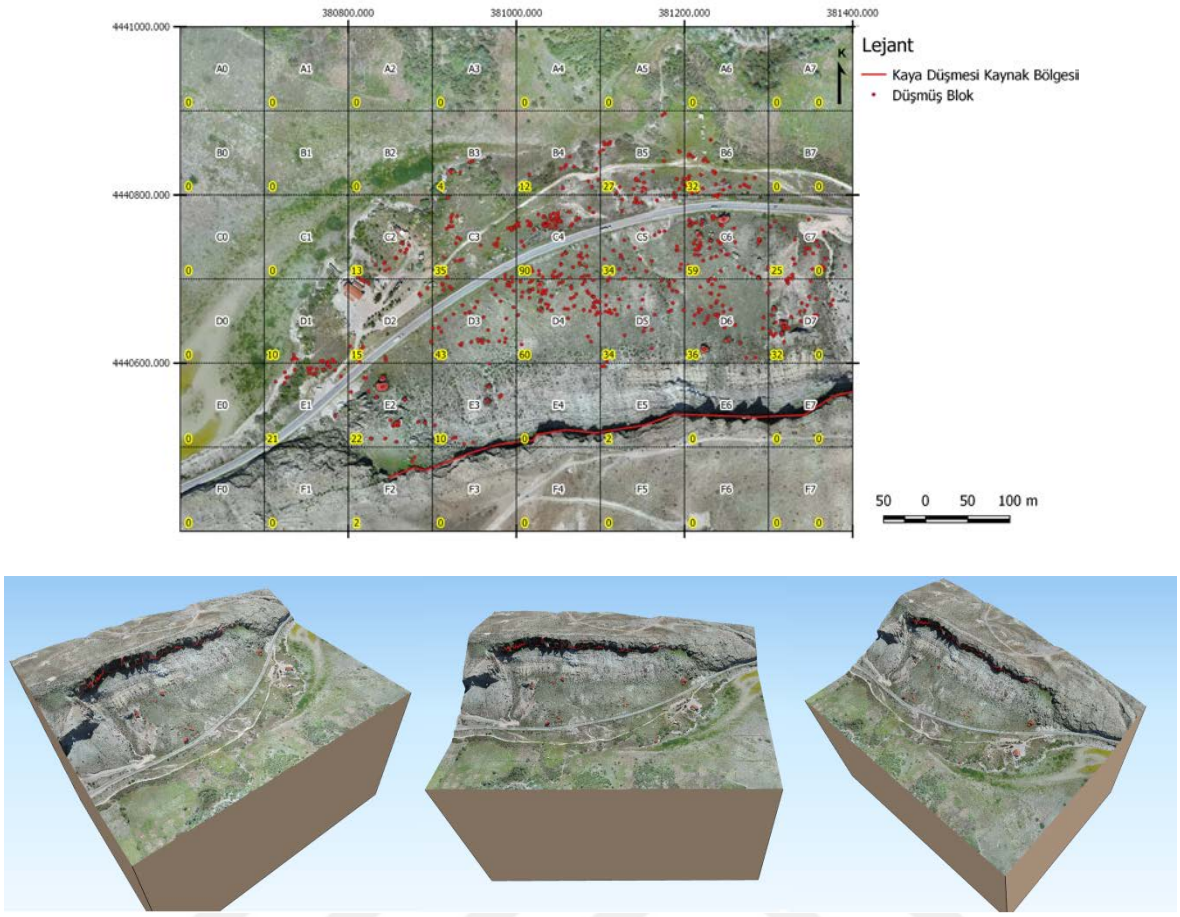
Örnek Adı	Örnekleme Tipi	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri				
		En Düşük	En Yüksek	Ortalama	Ortanca	Tepe Değeri
Örnek 1	Laboratuvar - El Örneği	34	49	40,60	41,00	41
Örnek 2	Laboratuvar - El Örneği	23	50	39,45	39,00	35 - 39
Örnek 3	Laboratuvar - El Örneği	30	49	41,70	42,50	41

5.3.3. Ofis çalışmaları

Ofis çalışmaları Bölüm 5.3.1 ve 5.3.2 içerisinde tanımlanan çalışmalar sonucu elde edilen verilerin çalışma alanı içerisinde gözlemlenen kaya düşmelerinde blok hareketini başlatan olayın tespiti için yürütülmüş kinematik analiz çalışmalarını; hareketin başladığı ve etkili olduğu alanın tespiti için yürütülmüş kaynak bölge tespiti ve düşmüş blok hacim-konum tespiti çalışmalarını ve ileride yaşanabilecek kaya düşmesi olaylarının gerçeğe ne kadar yakın bir şekilde canlandırılabilceğinin nicel olarak belirlenmesi için yürütülmüş geriye dönük analiz çalışmalarını kapsamaktadır.

5.3.3.1. Kaya Düşmesi Kaynak Bölgeleri ile Düşmüş Blokların Hacim, Konumlarının Belirlenmesi

Bölüm 5.3.1.1 içerisinde özellikleri sunulan uzaktan algılama aracı kullanılarak elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde algılaması yapılmış hava fotoğraflarının blok indirgeme yöntemiyle rektifikasyonları ve mozaiklenmesi tamamlanmış, konum duyarlılığı Çizelge 5.2'de sunulmuş, coğrafi bilgi sistemi içerisinde kullanılabilecek hücresel veri elde edilmiştir. Oluşturulan ortomozaiğin sayısal arazi modeli üzerine oturtulmasıyla Şekil 5.25'te sunulan çalışmanın blok modeli oluşturulmuştur. Blok model ve sayısal arazi modelini oluşturmak için kullanılan nokta bulutunun eş zamanlı olarak değerlendirilmesiyle Şekil 5.25'te sunulan düşmüş blokların konumlarının yüksek duyarlılıkla belirlenmesi mümkün olmuştur.

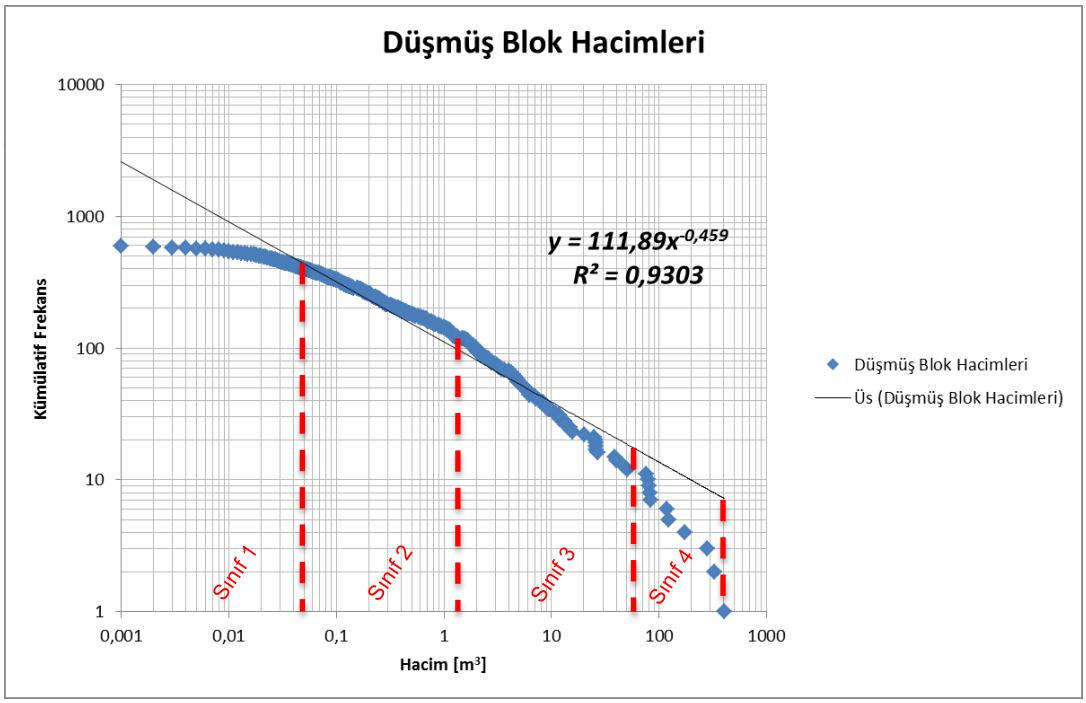


Şekil 5.25: Çalışma sahasına ait ortomozaik ve düşmüş bloklar

Düşmüş blokların hacimleri CloudCompare 2.6.1 adlı açık kaynak kodlu yazılım kullanılarak belirlenmiştir ve elde edilen hacim değerleri Ek 9 içerisinde sunulmaktadır. Yazılım içerisinde hacim ilgilenilen cisme ait noktaların içerisinde bulunduğu ve bulunmadığı iki farklı veri kümesinin karşılaştırılması sonucu elde edilmektedir. Cisme ait noktaların içerisinde bulunmadığı veri kümesi içerisindeki yüzey veri içerisindeki boşluğu sınırlayan noktaların üçgenlemesi yapılarak oluşturulmakta ve ilgili yüzey yazılım tarafından yapılan hacim hesaplamalarında kullanılan temel yüzey olarak kabul edilmektedir. Ek 9 içerisinde (+) işareti ile sunulan hacim değerleri temel yüzeyinin üzerinde kalan “dolgu” hacimlerini, (-) işareti ile sunulan hacim değerleri ise temel yüzeyinin altında kalan “yarma” hacimlerini belirtmektedir. Yürütülen çalışmada “dolgu” hacimleri olarak tanımlanan değerler yeryüzüne gömülü blokların yeryüzeyinin üzerinde kalan kısmının hacmini, “yarma” hacimleri ise temel yüzeyinin altında kalan çukurluk bölgeleri belirtmektedir. Bloğun yeryüzüne gömülme miktarı arttıkça yukarıda sunulan yöntem ile belirlenen blok hacmi ile gerçek blok hacmi arasındaki fark

artmaktadır. Bilindiği gibi mevcut uzaktan algılama teknikleri arasında çalışmamızda kullanılan verinin yersel çözünürlüğüne sahip, elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde aktif veya pasif algılamanın yapılabildiği sivil kullanıma açık bir yöntem bulunmamaktadır. Bu nedenle hacim ölçümlerinde bloğun gömülmesi nedeniyle oluşan farklar gözardı edilebilir olarak nitelendirilmiştir.

Ek 9 içerisinde sunulan net hacim değerlerinin kümülatif frekansı Şekil 5.26'te sunulmaktadır.



Şekil 5.26: Düşmüş bloklara ait hacim değerlerinin kümülatif frekansları

Düşmüş bloklara ait hacim değerlerinin kümülatif frekansları incelendiğinde blok hacimlerinin 0.05m^3 ile 15m^3 olduğu aralıkta Şekil 5.26'te sunulan üstel fonksiyon ile örtüştüğü, 15m^3'ten daha yüksek ve 0.05m^3'ten düşük olduğu aralıklarda ilgili üstel fonksiyondan saptığı belirlenmiştir. Yapılan gözlem ışığında belirlenen düşmüş blok hacimleri Çizelge 5.16'da sunulan sınıflara bölünerek ilgili sınıfları oluşturan bloklara ait net hacim değerlerinin aritmetik ortalaması geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılacak örnek blok hacimleri olarak seçilmiştir. Sınıf 1 ve Sınıf 4 blok hacimlerinin üstel fonksiyondan saptığı kısımları, Sınıf 2 ile Sınıf 3 ise blok hacimlerinin üstel fonksiyon ile örtüştüğü iki farklı doğrusal kısmı ifade etmektedir.

Çizelge 5.16: Düşmüş bloklara ait hacim değerlerinin sınıflanması

Düşmüş Blok Hacimlerinin Sınıflanması				
Sınıf		Hacim [m^3]		
No	Blok Sayısı	En Küçük Değer	En Yüksek Değer	Ortalama
1	197	0,000	0,050	0,021
2	280	0,051	1,500	0,341
3	94	1,510	15,000	4,594
4	24	15,010	500,000	92,365

Şekil 5.26'te sunulan üstel fonksiyona ait ölçeklendirme katsayısı Corominas vd. [160] tarafından yürütülmüş çalışmada bahsedildiği gibi -0.4 ile -0.9 değerleri arasındadır ve sınırlı bir aralıkta (0.05-15.00m^3) gözlemlenen değerler sunulan üstel fonksiyon ile uyumluluk göstermektedir. Çizelge 5.6'da sunulan ana eklem takımlarına ait ortalama süreksizlik aralığı değerleri kullanılarak ISRM [22] tarafından önerilen yönteme uygun olarak hacimsel eklem sayıları Çizelge 5.17'de sunulan şekilde elde edilmektedir. Elde edilen hacimsel eklem sayısı değerlerine karşılık gelen blok hacimleri Çizelge 5.16'da sunulan düşmüş blok hacimleri sınıflaması ile uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 5.17: Ana süreksizlik takımlarına ait hacimsel eklem sayıları

Ana Süreksizlik Takımı				Hacimsel Eklem Sayısı (J_v) [adet/m^3]
Tür	Aralık [mm]	Ortalama Aralık [mm]	Blok Hacmi [m^3]	
Eklem 1	600-2000	1300	6.760	1.788
Eklem 2	600-2000	1300		
Tabaka Düzlemi	2000-6000	4000		
Eklem 1	600-2000	1300	0.220	9.231
Eklem 2	600-2000	1300		
Tabaka Düzlemi	60-200	130		

5.3.3.2. Kinematik Analizler

Kinematik analizlerde kullanılan şevlerin eğim yönleri Çizelge 5.22'de sunulan şekilde ilgili istasyonların konumlarını birleştiren doğru parçasına dik çizilen doğru parçasının kuzey ile saat yönünde yaptığı açı ölçülerek tespit edilmiştir. Sayısal arazi modelinin oluşturulmasında kullanılan nokta bulutu incelendiğinde şev eğimlerinin 70° ile 86° arasında değiştiği tespit edilmiştir. Süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısı değeri ise ISRM [22] ve ISRM [23]'te önerilen yöntemlere uygun olarak Bölüm 5.3.1. ve 5.3.2. içerisinde ayrıntıları sunulan çalışmalar yapılarak

elde edilmiştir. Süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısı değeri($\emptyset_i$) "τ" süreksizlik yüzeyine ait doruk makaslama dayanımı, "σ_n" süreksizlik yüzeyine etkiyen efektif normal gerilme, "JRC" süreksizlik yüzeyinin pürüzlülük katsayısı, "JCS" süreksizlik yüzeyinin dayanımı, "$\emptyset_b$" temel sürtünme açısı (pürüzsüz-düz ve taze kayaç yüzeyleri üzerinde yürütülen deformasyon kontrollü makaslama kutusu deneylerine ait artık dayanım değişkenleri) [161] olmak üzere Eşitlik 5.1 kullanılarak tespit edilmektedir [156]:

$$\phi_i = \tan^{-1}\left(\frac{\partial\tau}{\partial\sigma_n}\right) = \tan^{-1}\left\{\tan\left(JRC\ \log_{10}\frac{JCS}{\sigma_n} + \phi_b\right) - \frac{\pi\, JRC}{180 \ln 10}\left[\left(\tan\left(JRC\ \log_{10}\frac{JCS}{\sigma_n} + \phi_b\right)\right)^2 + 1\right]\right\} \quad (5.1)$$

Ayrıca Barton ve Choubey [161] tarafından Eşitlik 5.1'de temel sürtünme açısına ulaşılamadığı durumlarda; "$\emptyset_b$" tilt deneyleri sonucu elde edilen kesilmiş kayaç yüzeylerine ait temel sürtünme açısı değeri; "R" kuru ve kesilmiş taze kayaç yüzeyine ait Schmidt geri sıçrama değeri, "r" nemli süreksizlik yüzeyine ait Scmidt geri sıçrama değeri olmak üzere Eşitlik 5.2 kullanılarak ulaşılan süreksizlik yüzeyine ait artık sürtünme açısının($\emptyset_r$) Eşitlik 5.1 için tanımlanan temel sürtünme açısı değeri yerine kullanılması gerektiği belirtilmektedir ve Barton [162] tarafından yapılan bu değişikliğin önemi vurgulanmaktadır.

$$\phi_r = (\phi_b - 20) + 20\frac{r}{R} \quad (5.2)$$

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi Eklem1'e ait en düşük JRC değeri 9'dur. Bölüm 5.3.1.5 ve 5.3.2.4'te ayrıntıları sunulan Scmidt Çekici Deneylerine ait sonuçlar kullanılarak ISRM [23]'e uygun olarak düzeltmesi yapılmış geri sıçrama değerlerine karşılık gelen JCS değerleri Çizelge 5.18'de özetlenmektedir.

Çizelge 5.18: Eklem1'e ait JCS değerleri

Örnek Adı	Örnekleme Tipi	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri		Birim Hacim Ağırlık [kN/m³]	Kayaç Yüzeyinin Sıkışma Dayanımındaki Dağılım σ_c [MPa]	En Küçük Kayaç Yüzeyinin Sıkışma Dayanımı σ_c [MPa]	Kayaç Yüzeyinin Sıkışma Dayanımı σ_c [MPa]	En Büyük Kayaç Yüzeyinin Sıkışma Dayanımı σ_c [MPa]
Blok No:25	Yerinde (In-situ)	r	33,95	21,13	25,00	16,50	41,50	66,50
Blok No:26	Yerinde (In-situ)		34,25	21,13	26,00	16,00	42,00	68,00
Blok No:91	Yerinde (In-situ)		44,50	21,13	31,00	34,00	65,00	96,00
Blok No:107	Yerinde (In-situ)		43,10	21,13	30,00	30,00	60,00	90,00
Blok No:118	Yerinde (In-situ)		41,35	21,13	28,00	28,00	56,00	84,00
Blok No:139	Yerinde (In-situ)		47,10	21,13	32,00	40,00	72,00	104,00
Blok No:190	Yerinde (In-situ)		41,15	21,13	27,00	28,50	55,50	82,50
Blok No:198	Yerinde (In-situ)		46,55	21,13	31,00	40,00	71,00	102,00
Blok No:198	Yerinde (In-situ)		62,35	21,13	50,00	80,00	130,00	180,00
Örnek 1	Laboratuvar - El Örneği	R	40,60	21,13	26,00	29,20	55,20	81,20
Örnek 2	Laboratuvar - El Örneği		39,45	21,13	27,00	25,00	52,00	79,00
Örnek 3	Laboratuvar - El Örneği		41,70	21,13	28,00	30,00	58,00	86,00

Süreksizlik yüzeyine etkiyen normal gerilme değerleri sırasıyla Şekil 5.13(a) ve Şekil 5.13(f)'de görülen şev1 ile şev7'deki bloklara ait boyutların uzaktan algılama verileri kullanılarak belirlenmesiyle Çizelge 5.19'da sunulan şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.19: Süreksizlik yüzeyine etkiyen efektif normal gerilmeler

	Haritada Blok			Blok	Blok Şekli	Birim Hacim Ağırlık	Süreksizliğin Eğimi	Blok Hacmi	Yatay Düzleme Etkiyen Kuvvet F	Süreksizlik Yüzeyine Etkiyen Kuvvet F_N	Süreksizlik Yüzeyinin Alanı	Süreksizlik Yüzeyindeki Normal Gerilme	
	Eni [m]	Boyu [m]	Yüksekliği [m]	Taban Genişliği [m]		[kN/m^3]	[^{0}]	[m^3]	[kN]	[kN]	[m^2]	[kPa]	[MPa]
Şev1	11,60	5,30	12,00	-	Dörtgen Prizma	21,13	71,00	737,76	15588,87	5075,24	147,22	34,47	0,03
Şev6	32,00	2,88	4,00	1,50	Dik Yamuk Prizma	21,13	71,00	280,32	5923,16	1928,39	135,38	14,24	0,01

Tilt deneyi sonuçları kullanılarak hesaplanan süreksizlik yüzeyine ait artık sürtünme açısı değerleri Çizelge 5.20'de sunulmaktadır. Artık dayanım değişkenlerinin doruk dayanım değişkenlerine göre daha düşük değer alması gerektiğinden Çizelge 5.20'de sunulan tek anlamlı değer 22.48°'dir.

Çizelge 5.20: Tilt Deneyi sonuçları kullanılarak hesaplanan artık sürtünme açısı değerleri

r			$\emptyset_r = (\emptyset_b - 20) + 20\frac{r}{R}$		
en küçük	ortalama	en büyük	$\emptyset_b$	r/R	$\emptyset_r$
33,95	43,81	62,35			
R			26,2	0,814	22,48
en küçük	ortalama	en büyük			
39,45	40,58	41,7	26,2	1,080	27,79
r/R					
en küçük	ortalama	en büyük	26,2	1,580	37,81
0,814	1,152	1,580			

Çizelge 5.19'da sunulan süreksizlik yüzeyine etkiyen en büyük ve en küçük normal gerilme değerleri, deformasyon kontrollü makaslama kutusu deneyleri kullanılarak tespit edilen süreksizlik yüzeyine ait artık sürtünme açısı değeri ve tilt deneyi sonuçlarının arazide ve laboratuvarda yürütülen Scmidt deneyleri sonuçları kullanılarak düzeltilerek ulaşılan süreksizlik yüzeyine ait artık sürtünme açısı değeri, arazi gözlemleriyle belirlenen süreksizliğe ait pürüzlülük katsayısı ile arazide yürütülen Scmidt çekici deneyleri sonucu ulaşılan süreksizlik yüzeyinin en yüksek ve en düşük değerleri için hesaplanan anlık süreksizlik yüzeyi sürtünme açısı değerleri Çizelge 5.21'de sunulmaktadır. Süreksizlik yüzeyine etkiyen normal gerilmenin en büyük, süreksizlik yüzeyine ait temel sürtünme açısının en az,

JRC'nin en az ve JCS'nin en az olduğu durum süreksizlik yüzeyine ait en kritik sürtünme açısının hesaplanmasını sağlamaktadır. Çizelge 5.21'de görüldüğü gibi Eklem1 için bu değer 46,49°'dir.

Çizelge 5.21: Süreksizlik yüzeyine ait sürtünme açısı hesaplamalarına ait sonuçlar

σ_n [MPa]	$\emptyset_b$ [^{0}]	JRC	JCS [MPa]	$\emptyset_i$ [^{0}]
0,01	31,91	9	41,50	59,92
0,01	31,91	9	130,00	64,20
0,03	31,91	9	41,50	55,75
0,03	31,91	9	130,00	60,09
0,01	22,48	9	41,50	50,72
0,01	22,48	9	130,00	55,09
0,03	22,48	9	41,50	46,49
0,03	22,48	9	130,00	50,89

Ek10 içerisinde sunulan Çizelge 5.22'de tanımlanmış şevlere ait kinematik analiz sonuçlarını gösterir stereonetler incelendiğinde eğim yönü 340° ile 351° arasında değişen şevlerde şev eğimlerinin 69°'yi geçtiği ve sürtünme yüzeyine ait temel sürtünme açısının 50^0'den küçük olduğu durumlarda Eklem1 nedeniyle devrilme beklenmesi gerektiği görülmektedir.

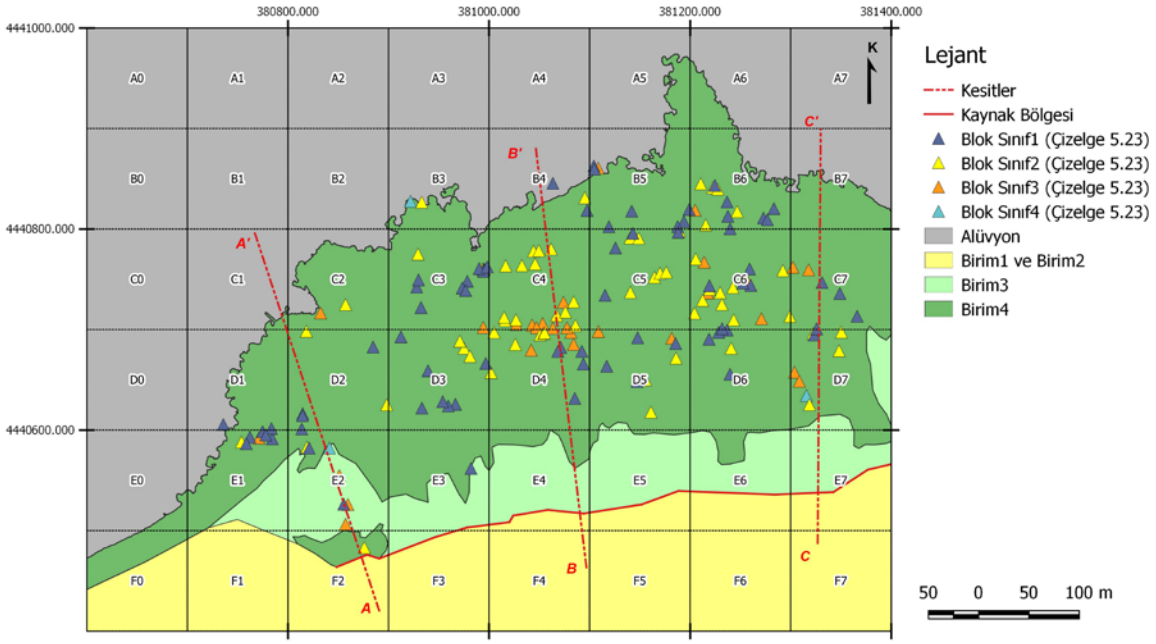
Çizelge 5.22: Kaynak alanındaki şevlere ait kinematik analiz sonuçları

Şev				Süreksizlik Yüzeyine Ait Sürtünme Açısı	Kinematik Analiz Sonuçları		
Adı	Sınırları	Eğim [^{0}]	Eğim Yönü [^{0}]	Eklem 1 ($71^0/158^0$)	Düzlemsel Yenilme	Kama Tipi Yenilme	Devrilme
Şev1	İstasyon-2 / İstasyon-3	70	340	49	-	-	Eklem1
Şev2	İstasyon-3 / İstasyon-4	70	346	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev3	İstasyon-4 / İstasyon-5	70	345	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev4	İstasyon-5 / İstasyon-6	70	350	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev5	İstasyon-6/ İstasyon-7	70	351	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev6	İstasyon-7 / İstasyon-8	70	342	49	-	-	Eklem1
Şev1	İstasyon-2 / İstasyon-3	86	340	49	-	-	Eklem1
Şev2	İstasyon-3 / İstasyon-4	86	346	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev3	İstasyon-4 / İstasyon-5	86	345	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev4	İstasyon-5 / İstasyon-6	86	350	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev5	İstasyon-6/ İstasyon-7	86	351	49	-	-	Eklem1, Eklem2
Şev6	İstasyon-7 / İstasyon-8	86	342	49	-	-	Eklem1

Çizelge 5.22'de sunulan sonuçlar ışığında çalışma alanında gözlemlenen düşmüş blokların harekete başlangıç nedeni şevin taç kısmı boyunca çalışma içerisinde Birim 1 ve Birim 2 olarak tanımlanmış birimler içerisinde yaşanan devrilme olayları olduğu çıkarımı yapılmaktadır.

5.3.3.3. Geriye Dönük Analiz Çalışmaları

Çalışma sahalarına ait sayısal arazi modelleri üzerinden alınan kesitler üzerinde yürütülen geriye dönük analiz çalışmaları sırasında Bölüm 3 içerisinde sunulan hareket eşitliklerini kullanan Bölüm 4 içerisinde tanımlanan özelliklere sahip olarak hazırlanmış yazılım ve Rocscience firması tarafından hazırlanmış olan RocFall yazılımı kullanılmıştır. Çalışma sahalarına ait sayısal arazi modelleri kullanılarak alınan kesitlerin yönelimleri Şekil 5.27 içerisinde sunulmaktadır.



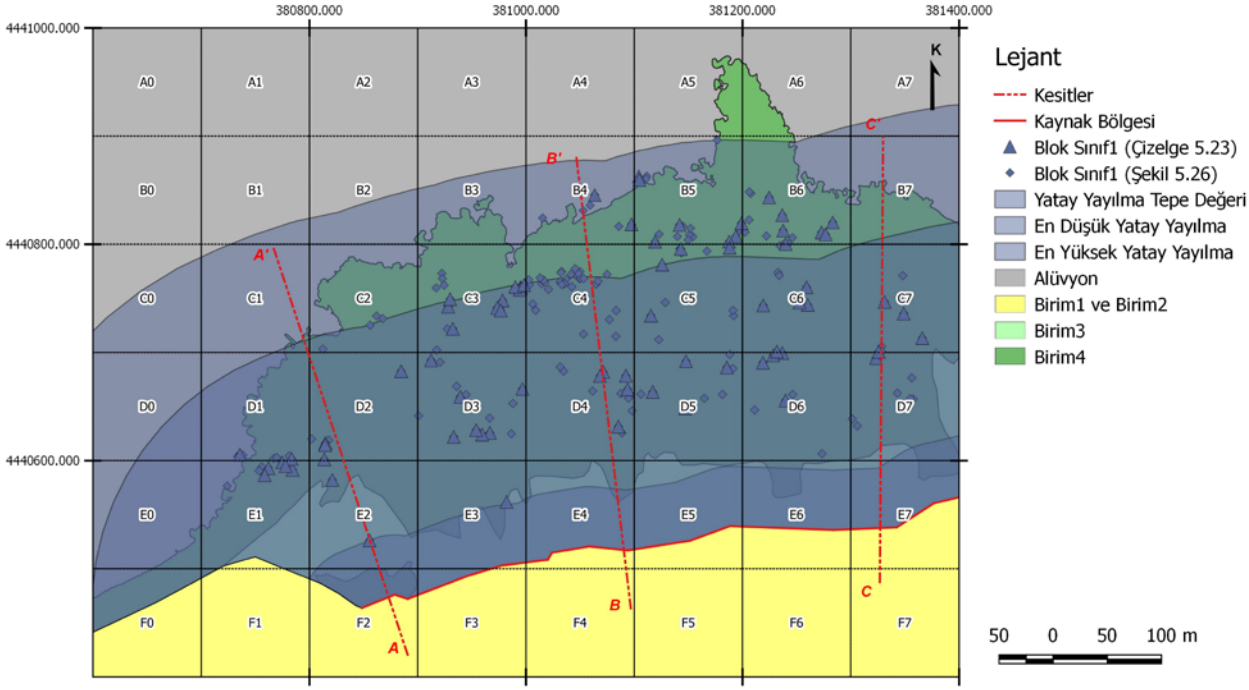
Şekil 5.27: Geriye dönük analizlerde kullanılan kritik kesitlerin yönelimleri

RocFall yazılımı kullanılarak yapılmış geriye dönük analizlerde net hacmi Çizelge 5.23'te sunulan değerler arasında kalan ve ilgili kesitin sağında ve solunda 10m genişliğindeki alan içerisinde konumlanmış bloklara ait konumlar ilgili analizde kullanılan bloğun durma noktası olarak kabul edilmiştir.

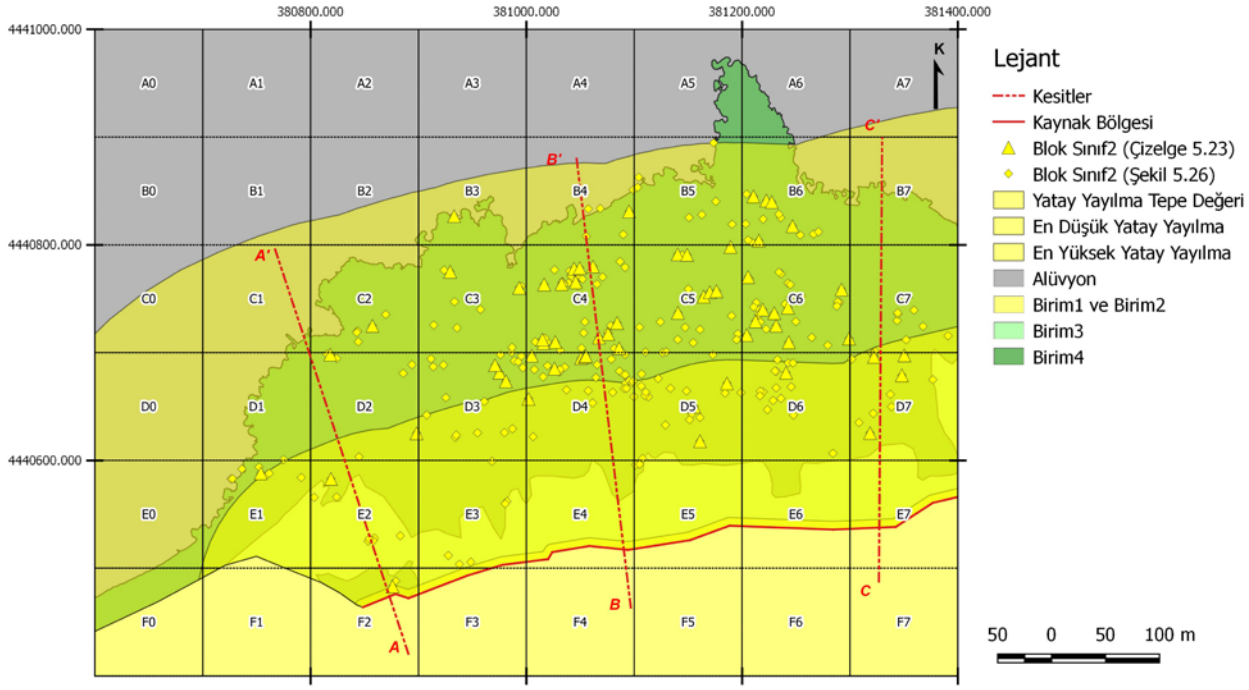
Çizelge 5.23: Olası Durma Noktaları için net blok hacimlerinin sınıflanması

Olası Durma Noktaları için Blok Hacimlerinin Sınıflanması		
Sınıf	**Hacim [m^3]**	
No	**En Küçük Değer**	**En Yüksek Değer**
1	0,010	0,030
2	0,200	0,400
3	3,000	5,000
4	80,000	84,000

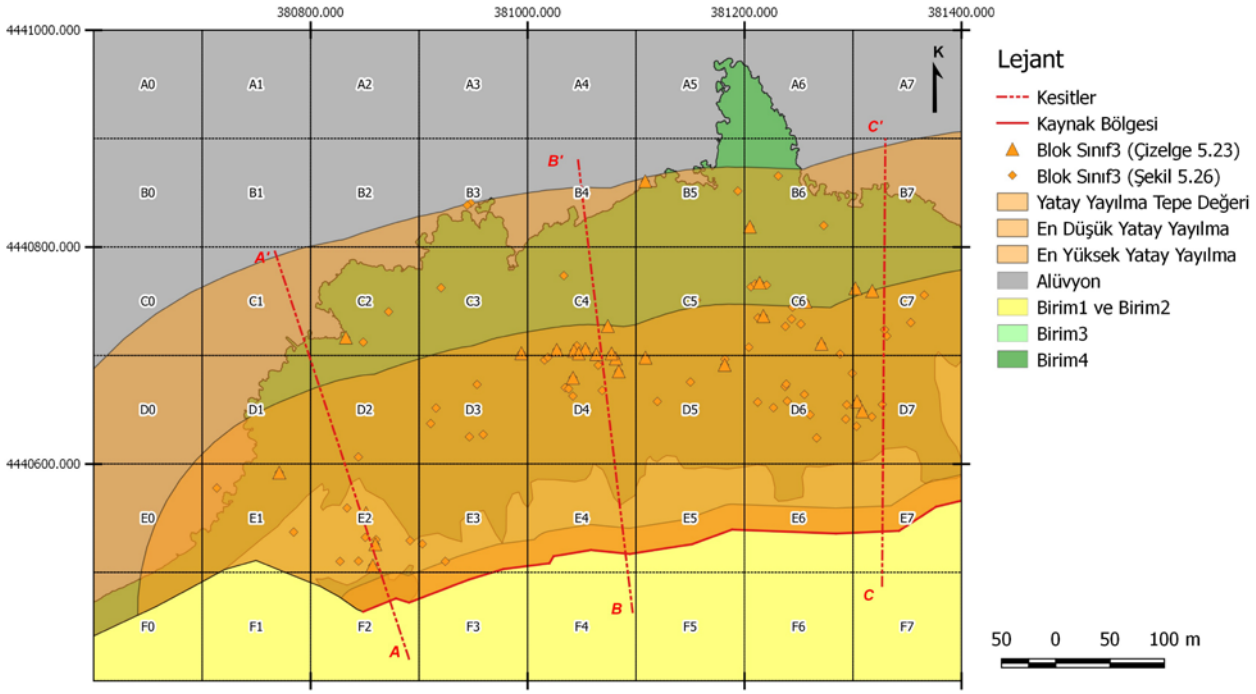
Çalışma sahasın içerisindeki hacimlerine göre sınıflanmış blokların sahada ulaşabildikleri yatay yayılma mesafelerinin en küçük, en büyük ve tepe değerleri Şekil 5.28 ile Şekil 5.31 arasında sunulmaktadır.



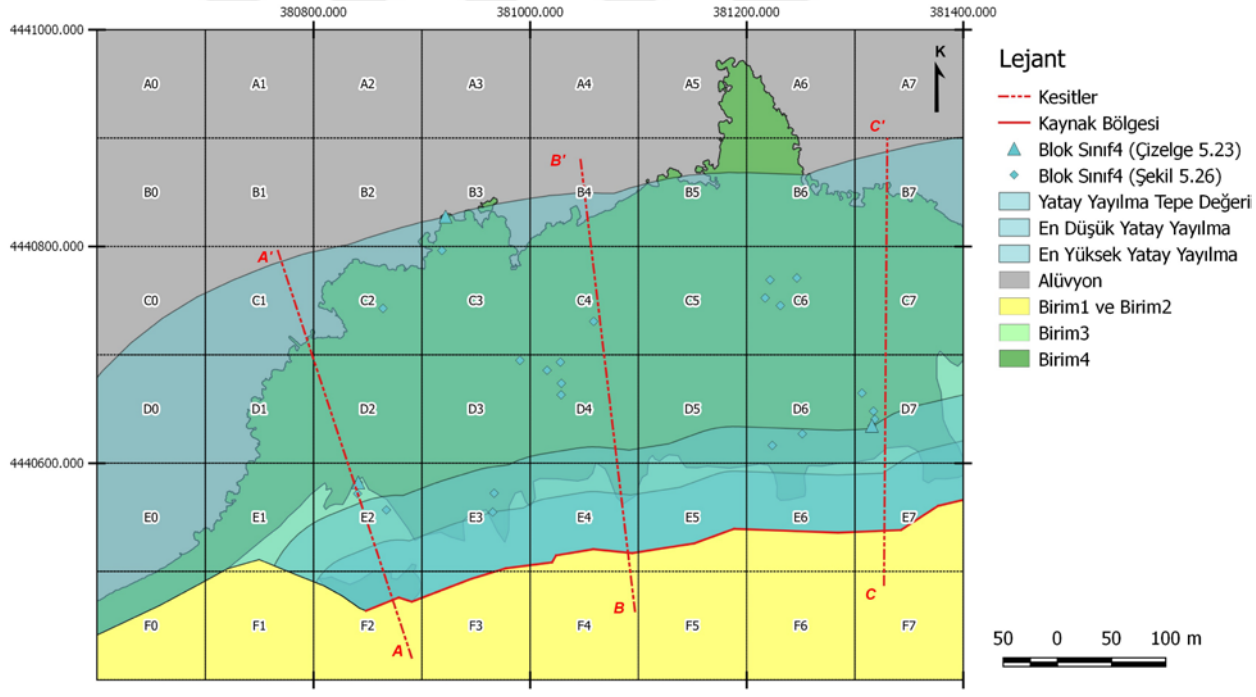
Şekil 5.28: Sınıf1'e ait yatay yayılma mesafeleri



Şekil 5.29: Sınıf2'ye ait yatay yayılma mesafeleri



Şekil 5.30: Sınıf3'e ait yatay yayılma mesafeleri



Şekil 5.31: Sınıf4'e ait yatay yayılma mesafeleri

RocFall yazılımı kullanılarak yürütülmüş geriye dönük analiz çalışmalarında Çizelge 5.24'te sunulan ve Ek1 içersinde sunulan uç ve ortalama geri sıçrama katsayıları başlangıç değerleri olarak kullanılmıştır.

Çizelge 5.24: Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılan literatürde tanımlı R_N ve R_T değerleri

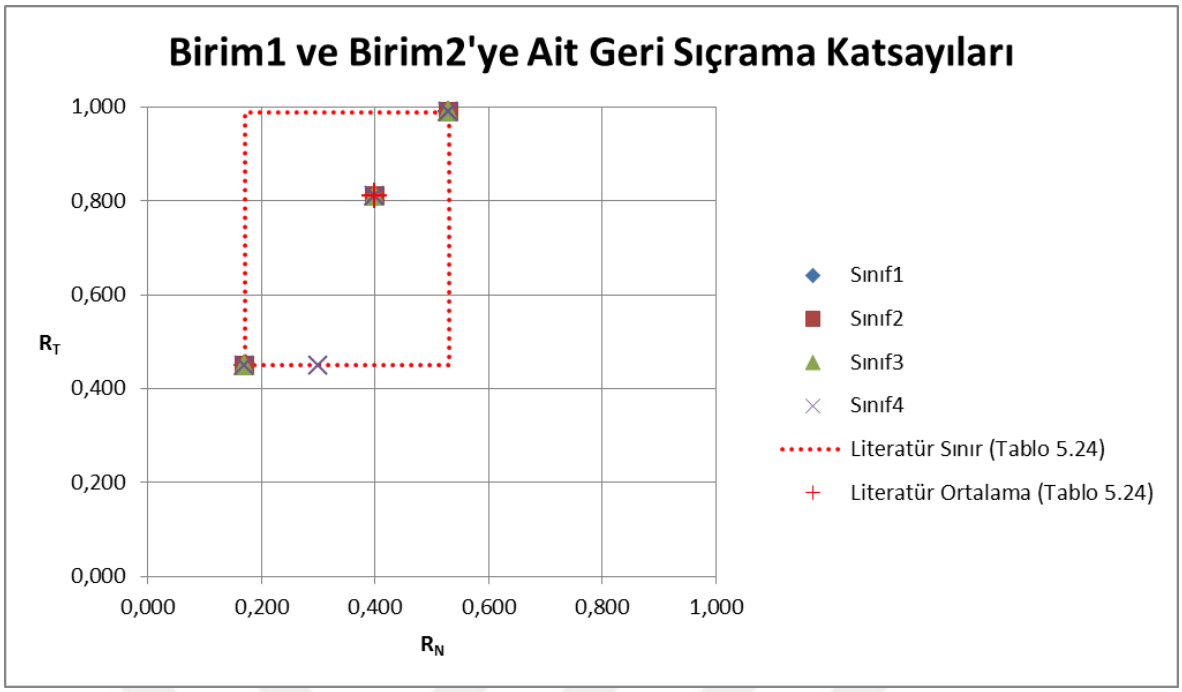
Birim	R_N			R_T		
	En Düşük	Ortalama	En Yüksek	En Düşük	Ortalama	En Yüksek
1-2	0,170	0,399	0,530	0,450	0,810	0,990
3	0,300	0,327	0,370	0,800	0,830	0,872
4	0,250	0,300	0,320	0,550	0,740	0,800

İlgili sınıfa ait her bir durma noktası için Çizelge 5.24'te sunulan R_n ve R_t değerlerini başlangıç değerleri olarak alan modeller hazırlanarak durma noktası başına en az 3 model oluşturularak geriye dönük analiz çalışmaları yürütülmüştür. İlgili her bir blok hacim sınıfının ortalama hacim değeri (bkz. Çizelge 5.16) için ilgili kesit üzerindeki incelenen sınıf ile aynı sınıfta bulunan durma noktalarında yazılım tarafından yapılan hesaplamaların hatasız olarak sonlanmasını sağlayan R_n ve R_t değerleri tespit edilmiştir. RocFall yazılımı kullanılarak çalışma alanı içerisindeki mühendislik jeolojisi birimleri için tespit edilmiş R_n ve R_t değerleri Çizelge 5.25'te sunulmaktadır.

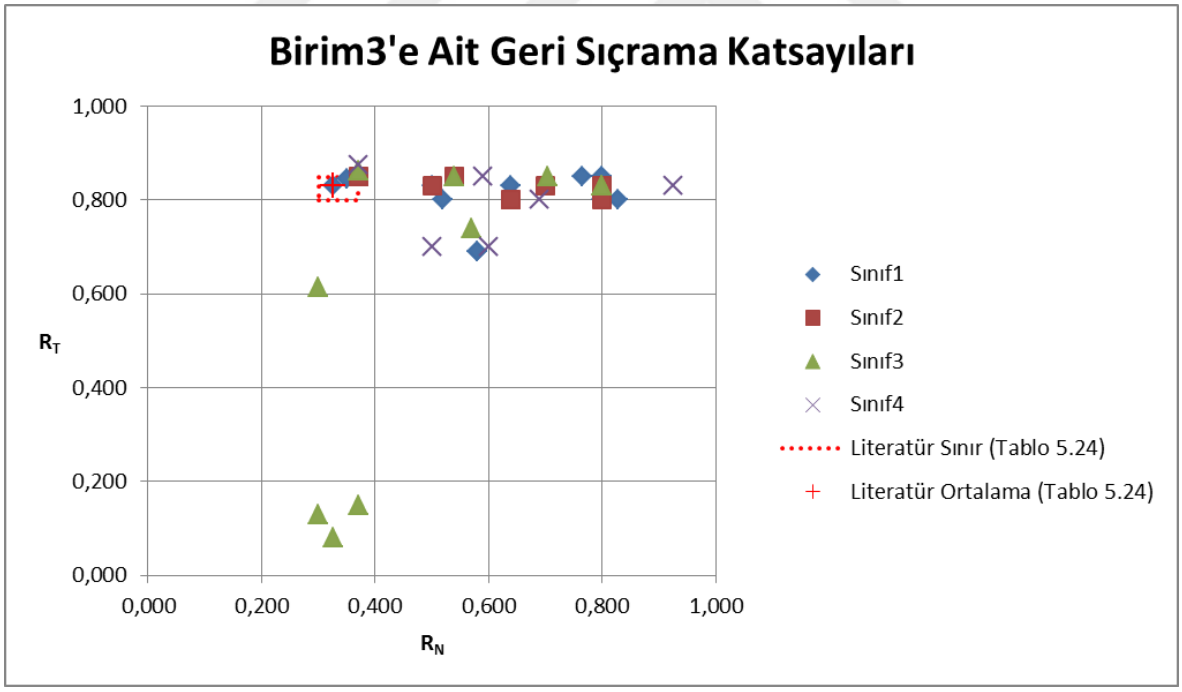
Çizelge 5.25: RocFall yazılımı kullanılarak tespit edilmiş Rn ve Rt değerleri

Kesit	Sınıf	Durma Noktası	Başlangıç Değerleri R_n ve R_t için	Blok					Birimler									
					Konum		Başlangıç Hızı		Birim1_Birim2			Birim3			Birim4			
				Kütle [kg]	Yatay [m]	Düşey [m]	Yatay [m/s]	Düşey [m/s]	R_N	R_T	Sürtünme Açısı [°]	R_N	R_T	Sürtünme Açısı [°]	R_N	R_T	Sürtünme Açısı [°]	
AA'	1	Blok11	En Büyük	45,232	56,384	599,060	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,765	0,850	0,000	0,500	0,800	0,000	
	1		En Küçük	45,232	56,384	599,060	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,828	0,800	0,000	0,803	0,793	0,000	
	1		Ortalama	45,232	56,384	599,060	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,639	0,830	0,000	0,857	0,740	0,000	
	2	Blok32	En Büyük	734,488	56,643	599,101	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	*	*	*	0,621	0,800	0,000	
	2		En Küçük	734,488	56,643	599,101	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2		Ortalama	734,488	56,643	599,101	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	Blok4	En Büyük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,150	0,000	0,692	0,800	0,000	
	3		En Küçük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,300	0,130	0,000	0,740	0,550	0,000	
	3		Ortalama	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,327	0,080	0,000	0,708	0,740	0,000	
	3	Blok6	En Büyük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,863	0,000	0,692	0,800	0,000	
	3		En Küçük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,300	0,615	0,000	0,740	0,800	0,000	
	3		Ortalama	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,570	0,740	0,000	0,708	0,740	0,000	
	3	Blok14	En Büyük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3		En Küçük	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3		Ortalama	9895,129	57,501	599,234	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	4	Blok17	En Büyük	198947,243	58,986	599,465	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,590	0,850	0,000	0,692	0,800	0,000	
	4		En Küçük	198947,243	58,986	599,465	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,690	0,800	0,000	0,692	0,800	0,000	
	4		Ortalama	198947,243	58,986	599,465	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,926	0,830	0,000	0,300	0,740	0,000	
BB'	1	Blok121	En Büyük	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,850	0,000	0,320	0,161	0,000	
	1		Ortalama	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,327	0,830	0,000	0,300	0,740	0,000	
	1		En Küçük	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,520	0,800	0,000	*	*	*	
	1	Blok120	En Büyük	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,800	0,850	0,000	0,650	0,333	0,000	
	1		Ortalama	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	1		En Küçük	45,232	52,550	644,347	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2	Blok175	En Büyük	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,539	0,850	0,000	0,345	0,800	0,000	
	2		Ortalama	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,800	0,830	0,000	0,723	0,740	0,000	
	2		En Küçük	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,800	0,800	0,000	0,502	0,680	0,000	
	2	Blok510	En Büyük	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,539	0,850	0,000	0,400	0,900	0,000	
	2		Ortalama	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2		En Küçük	734,488	52,812	644,339	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	Blok160	En Büyük	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,539	0,850	0,000	0,500	0,900	0,000	
	3		Ortalama	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,800	0,830	0,000	0,700	0,686	0,000	
	3		En Küçük	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3	Blok185	En Büyük	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,705	0,850	0,000	0,545	0,860	0,000	
	3		Ortalama	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,800	0,830	0,000	0,700	0,820	0,000	
	3		En Küçük	9895,129	53,410	644,321	0,000	0,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CC'	1	Blok292	En Büyük	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,850	0,000	0,320	0,702	0,000	
	1		Ortalama	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,350	0,846	0,000	0,370	0,750	0,000	
	1		En Küçük	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,580	0,690	0,000	0,550	0,600	0,000	
	1	Blok324	En Büyük	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,800	0,800	0,000	0,700	0,610	0,000	
	1		Ortalama	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,500	0,830	0,000	0,450	0,875	0,000	
	1		En Küçük	45,232	45,238	677,255	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,580	0,690	0,000	0,550	0,770	0,000	
	2	Blok265	En Büyük	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,850	0,000	0,320	0,387	0,000	
	2		Ortalama	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,500	0,830	0,000	0,470	0,675	0,000	
	2		En Küçük	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,640	0,800	0,000	0,230	0,655	0,000	
	2	Blok291	En Büyük	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,850	0,000	0,320	0,770	0,000	
	2		Ortalama	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,700	0,830	0,000	0,500	0,510	0,000	
	2		En Küçük	734,488	45,494	677,311	0,000	0,000	0,170	0,450	0,000	0,640	0,800	0,000	0,280	0,740	0,000	
	3	-	-	9895,129	46,078	677,439	0,000	0,000	Sınıf'3e ait durma noktası bulunmamaktadır.									
	4	Blok266	Max	198947,243	47,811	677,817	0,000	0,000	0,530	0,990	0,000	0,370	0,874	0,000	0,300	0,100	0,000	
	4		Ort	198947,243	47,811	677,817	0,000	0,000	0,399	0,810	0,000	0,500	0,700	0,000	0,400	0,650	0,000	
	4		Min	198947,243	47,811	677,817	0,000	0,000	0,300	0,450	0,000	0,600	0,700	0,000	0,250	0,550	0,000	

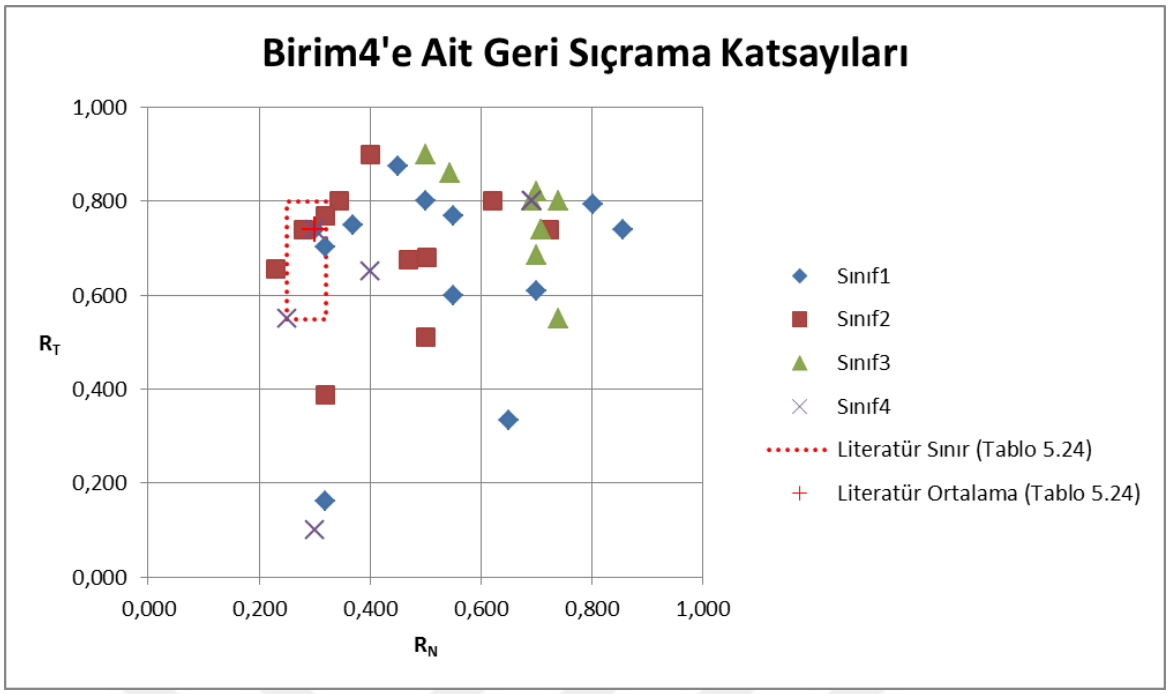
* İncelenen bloğun ilgili birim ile temas etmemesi nedeniyle genel değerlendirmede dikkate alınmayacaktır



Şekil 5.32: Birim1 ve Birim2'ye ait R_n ve R_t değerleri



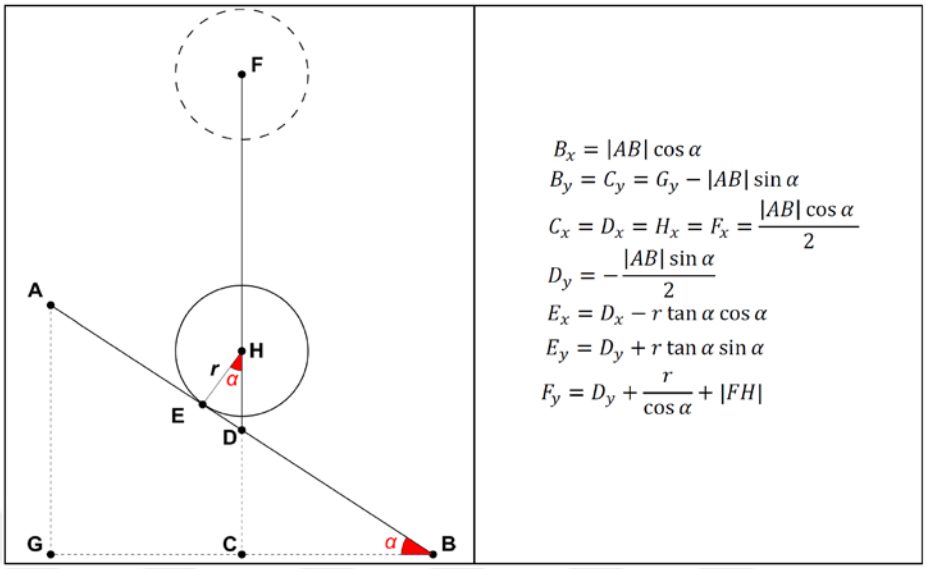
Şekil 5.33: Birim3'e ait R_n ve R_t değerleri



Şekil 5.34: Birim4'e ait R_n ve R_t değerleri

Bölüm 4 içerisinde tanımlanan yazılım kullanılarak yürütülmüş geriye dönük analiz çalışmalarında Bölüm 5.3.1.6. içerisinde ayrıntıları sunulan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen net yer değiştirme (bkz. Çizelge 5.11) ve ilgili beton küresel bloğa ait tanımlayıcı değerler (kütle[kg], çap[cm], bkz. Çizelge 5.9) kullanılarak deneyde beton blok ile temas eden mühendislik jeolojisi birimine ait yay(k_x, k_y) ve sönümleme(c_x, c_y) sabitleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 5.23'te sunulan tüm blok sınıflarına ait en az bir örneğin ilgili kesitin sağında ve solunda kalan 10 metre genişliğindeki alan içerisinde bulunması nedeniyle sadece A-A' kesiti(bkz. Şekil 5.27) için hazırlanan yazılımın kullanıldığı geriye dönük analiz çalışmaları yürütülmüştür. İlgili geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılmak üzere bloğun harekete başlangıç konumu (F noktası) Şekil 5.35'te sunulan eşitlikler kullanılarak Çizelge 5.26'da sunulan değerler olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.35: Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılan blok başlangıç konumu (F noktası) hesaplamaları



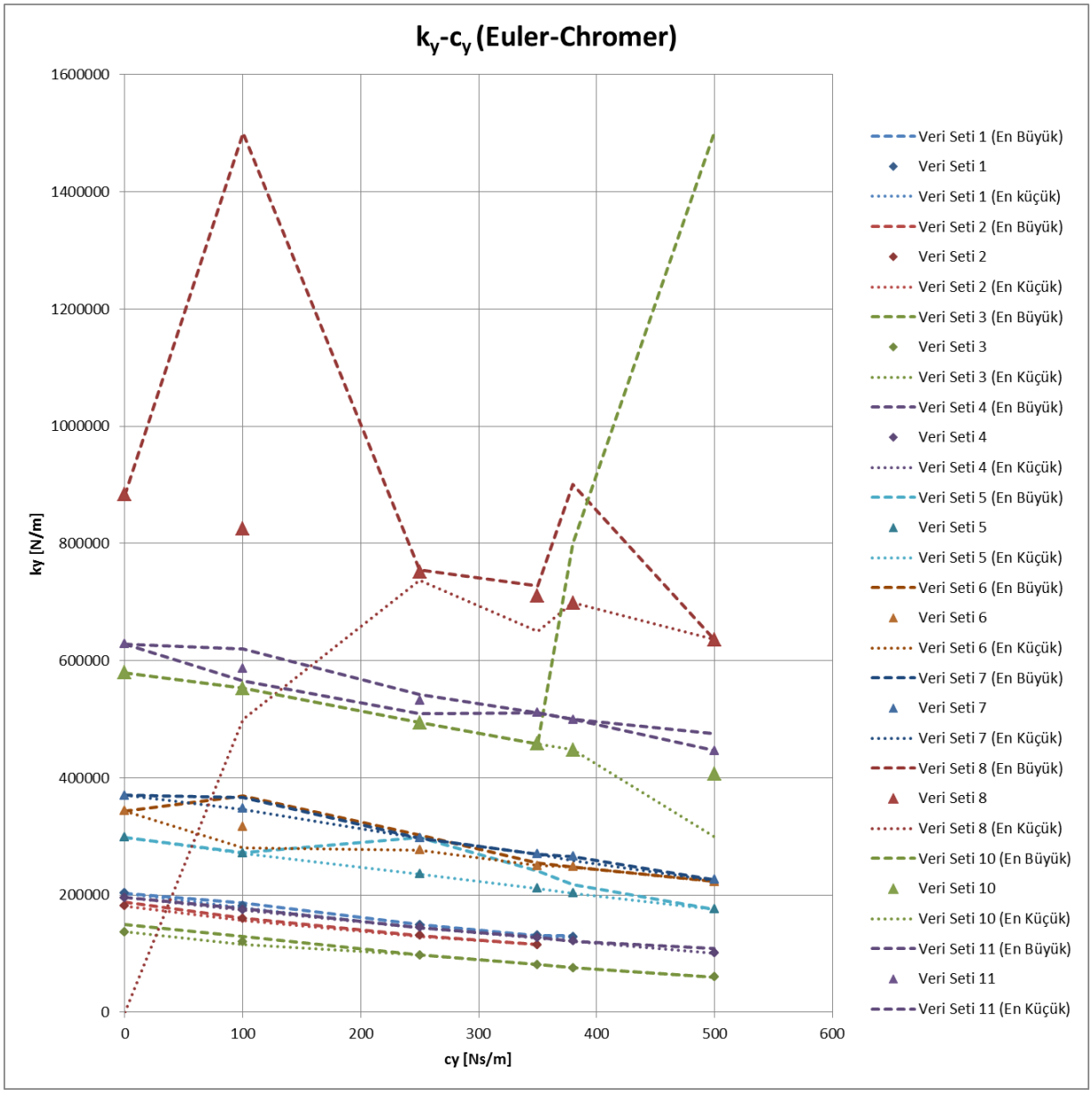
$$B_x = |AB| \cos\alpha$$
$$B_y = C_y = G_y - |AB| \sin\alpha$$
$$C_x = D_x = H_x = F_x = \frac{|AB| \cos\alpha}{2}$$
$$D_y = -\frac{|AB| \sin\alpha}{2}$$
$$E_x = D_x - r \tan\alpha \cos\alpha$$
$$E_y = D_y + r \tan\alpha \sin\alpha$$
$$F_y = D_y + \frac{r}{\cos\alpha} + |FH|$$

Çizelge 5.26: Hazırlanan yazılım içerisinde kullanılan harekete başlangıç konumları

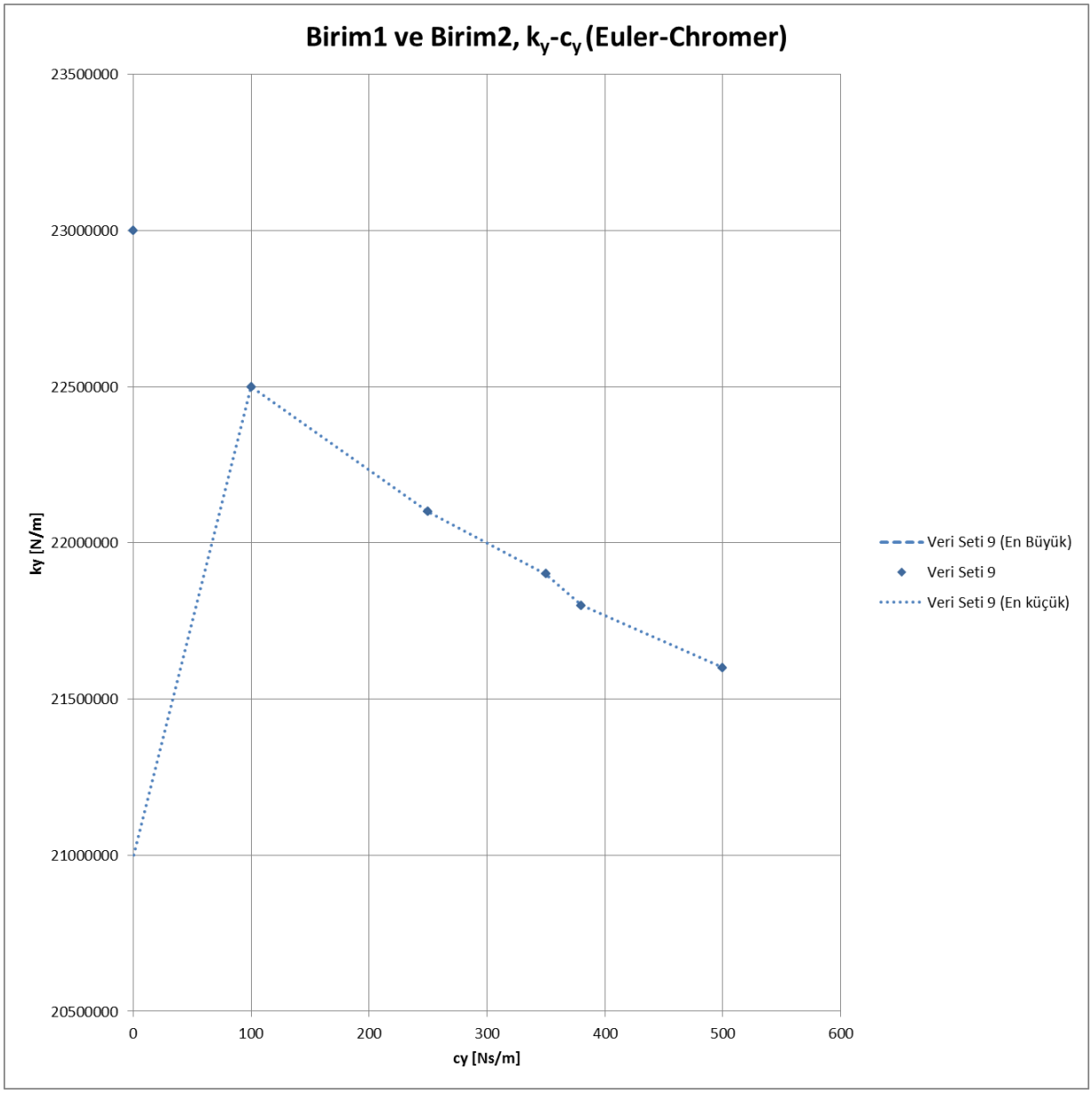
Deney				Kullanılan Beton Küre			GİRDİ						ÇIKTI													
Veri Seti	Mühendislik Jeolojisi Birimi	No	Konumu		Adı	Kütle	Çap	|AB|	|FH|	r	α	A		B		C		D		E		F		G		H	
			Sağa	Yukarı		[kg]	[mm]			[m]	[°]	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y	x	y
1	Birim3	L1	380780	4440550	K4	11,222	215,130	15	1,520	0,1076	42	0	0	11,147	-10,037	5,574	-10,037	5,574	-5,018	5,502	-4,954	5,574	-3,354	0,000	-10,037	5,574	-4,874
2		L1	380780	4440550	K4	11,222	215,130	15	1,171	0,1076	41	0	0	11,321	-9,841	5,660	-9,841	5,660	-4,920	5,590	-4,859	5,660	-3,607	0,000	-9,841	5,660	-4,778
3		L1	380780	4440550	K4	11,222	215,130	15	1,643	0,1076	28	0	0	13,244	-7,042	6,622	-7,042	6,622	-3,521	6,572	-3,494	6,622	-1,756	0,000	-7,042	6,622	-3,399
4		L1	380780	4440550	K4	11,222	215,130	15	1,232	0,1076	42	0	0	11,147	-10,037	5,574	-10,037	5,574	-5,018	5,502	-4,954	5,574	-3,642	0,000	-10,037	5,574	-4,874
5	Birim4	L2	381405	4440734	K1	11,360	210,007	15	1,283	0,1050	29	0	0	13,119	-7,272	6,560	-7,272	6,560	-3,636	6,509	-3,608	6,560	-2,233	0,000	-7,272	6,560	-3,516
6		L2	381405	4440734	K1	11,360	210,007	15	1,312	0,1050	20	0	0	14,095	-5,130	7,048	-5,130	7,048	-2,565	7,012	-2,552	7,048	-1,141	0,000	-5,130	7,048	-2,453
7		L2	381405	4440734	K1	11,360	210,007	15	1,319	0,1050	22	0	0	13,908	-5,619	6,954	-5,619	6,954	-2,810	6,915	-2,794	6,954	-1,377	0,000	-5,619	6,954	-2,696
8	Birim4	L3	381013	4440631	K2	11,574	217,420	15	1,386	0,1087	14	0	0	14,554	-3,629	7,277	-3,629	7,277	-1,814	7,251	-1,808	7,277	-0,316	0,000	-3,629	7,277	-1,702
9	Birim1 ve Birim2	L4	381027	4440655	K3	11,238	216,870	15	1,525	0,1084	40	0	0	11,491	-9,642	5,745	-9,642	5,745	-4,821	5,676	-4,762	5,745	-3,154	0,000	-9,642	5,745	-4,679
10	Birim4	L5	381016	4440636	K3	11,238	216,870	15	1,379	0,1084	23	0	0	13,808	-5,861	6,904	-5,861	6,904	-2,930	6,861	-2,912	6,904	-1,434	0,000	-5,861	6,904	-2,813
11		L5	381016	4440636	K2	11,574	217,420	15	1,466	0,1087	22	0	0	13,908	-5,619	6,954	-5,619	6,954	-2,810	6,913	-2,793	6,954	-1,226	0,000	-5,619	6,954	-2,692

Yapılan literatür çalışması sonucunda jeoloji mühendisliği içerisinde tanımlanan mühendislik malzemelerine (kayaç, zemin) ait yay ile sönümleme sabitlerinin sunulduğu herhangi bir çalışmaya ulaşılamamıştır. Bölüm 5.3.1.6. içerisinde ayrıntıları sunulan deneysel çalışmaların doğası gereği öncelikle ilgili mühendislik birimlerine ait düşey yay ve sönümleme sabitleri tespit edilmeye çalışılmıştır. Beton bloğun yatayda rijit özellik gösterdiği (k_x=0N/m, c_x=0Ns/m), ve ilk temas sonrası hazırlanan yazılım tarafından hesaplanan düşey yer değiştirmenin Bölüm 5.3.1.6 içerisinde sunulan deneysel veriler ile örtüştüğü düşey yay (k_y) ile sönümleme (c_y) sabiti değerlerinin ilgili mühendislik jeolojisi birimleri için dağılımları Çizelge 5.27 ve Şekil 5.36 ile Şekil 5.38 arasında sunulmaktadır.

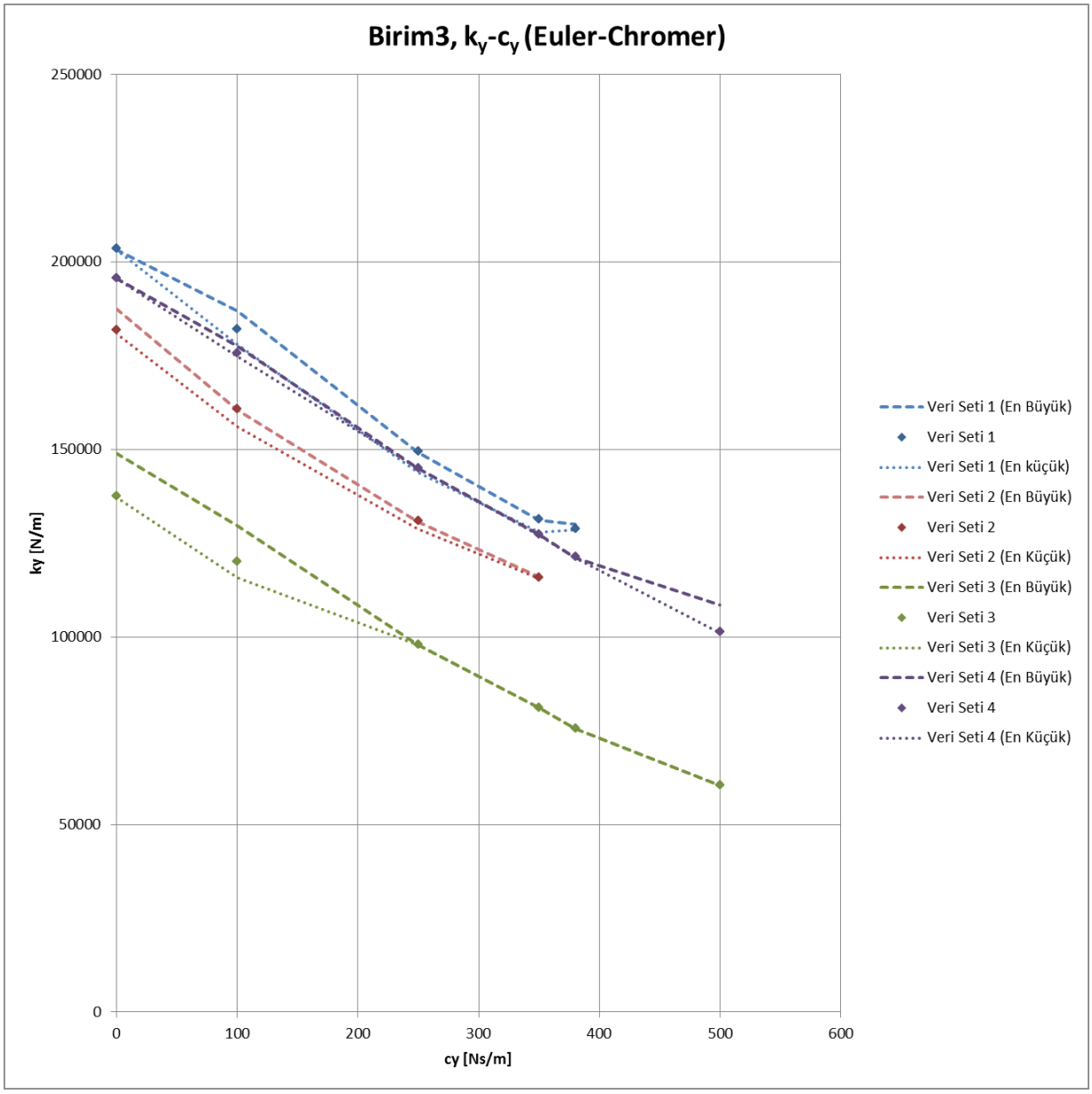
Şekil 5.36: Tüm mühendislik jeolojisi birimlerine ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı



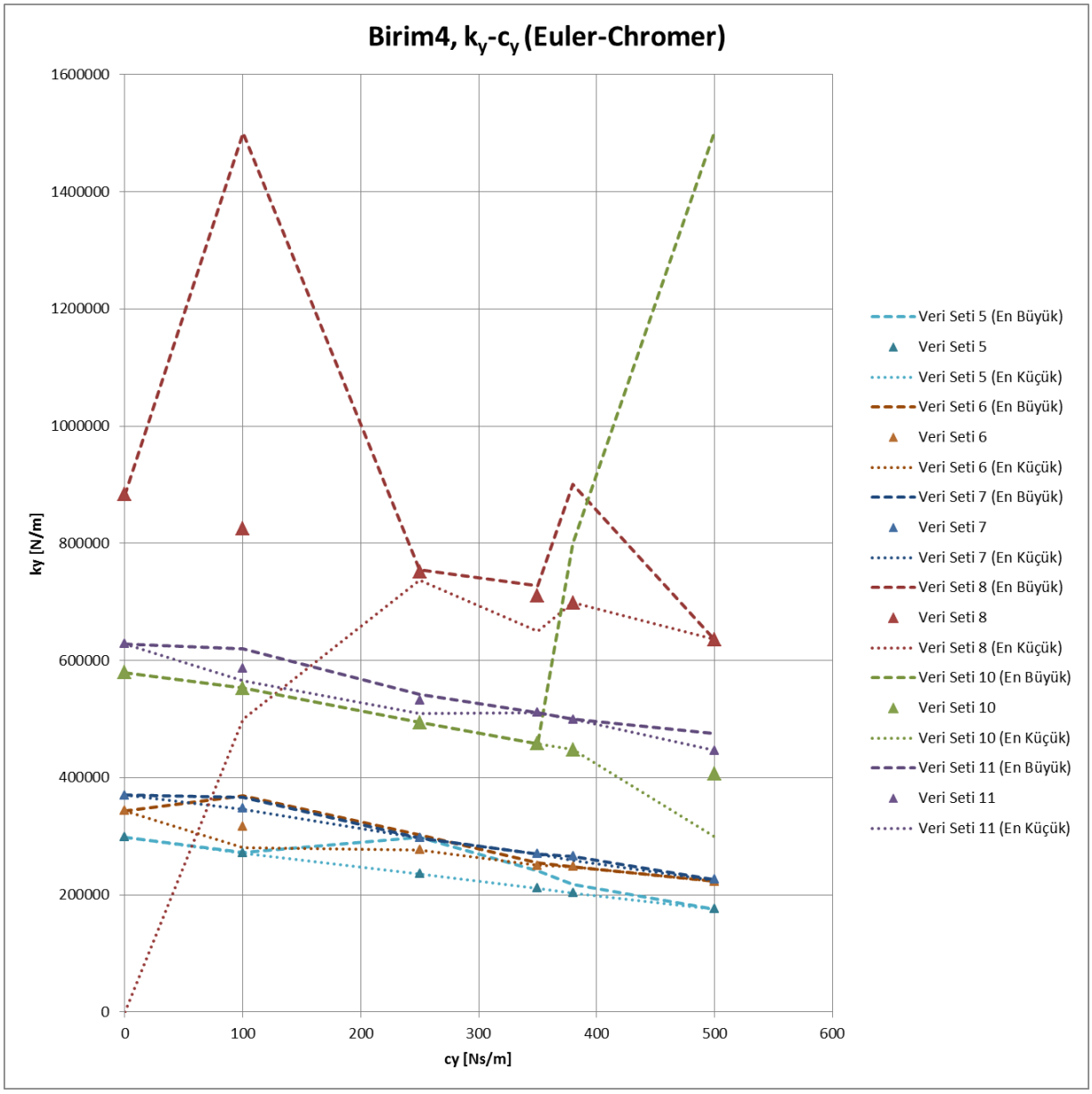
Şekil 5.37: Birim1 ve Birim2'ye ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı



Şekil 5.38: Birim3'e ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı



Şekil 5.39: Birim4'e ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı



Çizelge 5.27: Tüm mühendislik jeolojisi birimlerine ait düşey yay (k_y) ve sönümleme sabitlerinin (c_y) dağılımı

Birim1 ve Birim2					
Veri Seti No	ky [N/m]	cy [Ns/m]	Yer Değiştirme [m]	En küçük ky	En Büyük ky
9	23000000	0	0,002737	21000000	-
9	22500000	100	0,002737	22500000	-
9	22100000	250	0,002737	22100000	-
9	21900000	350	0,002737	21900000	-
9	21800000	380	0,002737	21800000	-
9	21600000	500	0,002737	21600000	-

Birim3					
Veri Seti No	ky [N/m]	cy [Ns/m]	Yer Değiştirme [m]	En küçük ky	En Büyük ky
1	203400	0	0,04111	203400	203400
1	181850	100	0,04111	178000	187000
1	149300	250	0,04138	144000	149300
1	131200	350	0,04132	128000	131200
1	128600	380	0,04094	128600	130000
1	-	500	-	-	-
2	181650	0	0,03832	181000	187500
2	160600	100	0,03838	156000	160600
2	130771	250	0,03861	128700	130771
2	115650	350	0,03827	115650	116000
2	-	380	-	-	-
2	-	500	-	-	-
3	137350	0	0,05214	137350	149100
3	119850	100	0,05214	115700	129580
3	97809	250	0,05167	97809	97809
3	81086	350	0,05207	81086	81086
3	75500	380	0,05238	75500	75500
3	60400	500	0,05204	60400	60400
4	195600	0	0,03771	195600	195600
4	175500	100	0,03771	174705	177500
4	144871	250	0,03778	144871	144871
4	127200	350	0,03771	127127	127399
4	121207	380	0,03777	121207	121207
4	101170	500	0,03771	101170	108656

Birim4					
Veri Seti No	ky [N/m]	cy [Ns/m]	Yer Değiştirme [m]	En küçük ky	En Büyük ky
5	298500	0	0,03127	298500	298760
5	271450	100	0,03127	271450	271899
5	235722	250	0,03126	235722	298500
5	211500	350	0,03127	211159	241500
5	204250	380	0,03127	203400	217750
5	176045	500	0,03139	-	176045
6	343550	0	0,02941	343550	343550
6	316900	100	0,02941	281030	369250
6	276500	250	0,02941	276500	303000
6	249974	350	0,02939	249974	254850
6	248340	380	0,02946	-	248340
6	222909	500	0,02888	222909	-
7	370000	0	0,02849	-	370000
7	348300	100	0,02816	345748	365857
7	297250	250	0,02856	297250	297250
7	269772	350	0,0286	-	269772
7	265966	380	0,02841	259000	265966
7	226542	500	0,02879	224900	226542
8	883210	0	0,02286	883210	-
8	825000	100	0,02297	500000	1500000
8	751000	250	0,02297	737700	755000
8	710000	350	0,02297	650000	727050
8	698500	380	0,02297	698500	900000
8	635560	500	0,02324	635560	635560
10	579500	0	0,02297	579500	579500
10	552900	100	0,02272	552900	-
10	494150	250	0,02291	494150	-
10	458000	350	0,02295	458000	458000
10	448000	380	0,02295	448000	-
10	406500	500	0,02295	300000	1500000
11	628500	0	0,02317	628500	628500
11	587000	100	0,02317	566000	620000
11	531300	250	0,02317	510000	542000
11	511000	350	0,02285	511000	511000
11	499500	380	0,02289	499500	499500
11	446700	500	0,02316	446700	475000

Şekil 5.37 ve Şekil 5.39 arasında görüldüğü gibi ilgili mühendislik jeolojisi birimi için deneysel olarak elde edilen tekil yer değiştirme değerlerine karşılık gelen birden fazla k_y-c_y değer çifti bulunmaktadır. Bununla birlikte Şekil 5.36'te görüldüğü gibi hazırlanan yazılımın düzgün olarak çalışmasını sağlayan k_y ve c_y değerlerinin dağılımları sürekli ve düzenli değildir.

İlgili mühendislik jeolojisi birimleri için yatay yay ve sönümleme sabitlerinin tespitinde Çizelge 5.11'de sunulan yatay yer değiştirme değerlerinin yeterli olamayacağı Çizelge 3.4'te sunulan eşitlikler incelendiğinde görülmektedir. Bloğun ilk yatay hızının 0m/s durum için Newton'un 1.Hareket Kanun'una uygun olarak bloğun t saniye sonraki konumu ve hızı bloğun başlangıç konumuna ve hızına eşit olarak hesaplanmaktadır yani blok yatayda hareketsizdir. Bölüm 5.3.1.6'da ayrıntıları sunulan arazi deneylerinde beton kürelerin sadece serbest düşme hareketini yapacak şekilde (yatay hız = 0m/s) sabit yükseklikten bırakılmaları nedeniyle ilgili deneysel sonuca hazırlanan yazılım kullanılarak incelenmesine olanarak verecek veri mevcut değildir. Beton kürenin yatayda neden olduğu yer değiştirmenin hesaplanabilmesi için analitik veya sayısal yöntemler kullanılarak çözülmesi gereken ve Çizelge 3.4'te sunulan ilgili başlangıç değer probleminin Newton'un 1.Hareket Kanun'una göre yatayda hareketi tanımlayan bir başlangıç değerine (0m/s'den farklı yatay hız) sahip olmaması nedeniyle ilgili mühendislik jeolojisi birimlerine ait yatay yay ve sönümleme sabitlerinin tespiti mümkün değildir.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

6.1. Sonuçlar

Çalışmada literatürde bulunan kaya düşmesi ile ilgili tanımlamalar tek bir başlık altında özetlenerek ilgili tanımlamalar arasındaki benzerlik ve farklılıklar ile kaya düşmesi olaylarının toplum için önemi ortaya konmuştur. Bununla birlikte kaya düşmelerinin sınıflandırılmasında kullanılan değişkenler, kaya düşmelerinin incelenmesinde kullanılan yöntemler, kaya düşmesi olayının beklendiği bölgelerin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler ve literatürde tanımlı konu ile ilgili ulusal ve uluslararası standartlar hakkında bilgiler sunularak ileride kaya düşmesi konusu hakkında çalışacak araştırmacıların kolaylıkla kullanabileceği kapsamlı bir başvuru kaynağı oluşturulmuştur.

Çalışmanın konusunun esasında doğası gereği disiplinlerarası çalışılması gereken bir konu olması nedeniyle fizik ve mekanik biliminin ilgilenilmekte olan sorunu nasıl tanımladığı, hangi esasları ve yöntemleri kullanarak çözüm aradığı hakkında bilgiler verilerek kaya düşmelerinin mühendislik jeolojisi ile birlikte ileri derecede matematik ve mekanik bilgisi gerektirdiği ortaya konmuştur.

Hazırlanan N-TEK yazılımının kullandığı kabuller, yaklaşımlar ve genel hesaplama algoritması ileride kaya düşmeleri ile ilgili yapılacak çalışmalarda kullanılmak üzere çalışma içerisinde sunulmuştur.

Çalışma sahasının coğrafi konumu, saha içerisindeki jeolojik birimler ve birimlerin birbirleri ile olan stratigrafik ilişkileri, saha içerisindeki yapısal unsurların, sahanın depremselliğinin çalışma alanının genel özelliklerinin anlaşılması için sunulmasının ardından tamamlanmış arazi, laboratuvar ve ofis çalışmaları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Uzaktan algılama verileri kullanılarak oluşturulmuş sayısal arazi modeline ait özellikler ve çalışmanın amacına uygun olarak saha içerisinde gözlemlenen mühendislik jeolojisi birimleri, sahada yürütülen hat etüdü çalışmaları sayesinde başarıyla tanımlanmıştır. Ayrıca tamamlanan hat etüdü çalışmaları sonucu tespit edilen sahadaki kaya kütlesi içerisindeki ana süreksizlik takımlarının yönelimleri ve özellikleri ile sahada yürütülen Schmidt Çekici Deneylerine ait sonuçlar kullanılarak yapılan kinematik analizler sonucu gözlemlenen kaya düşmesi olaylarının başlangıç nedeninin devrilme olduğu tespit edilmiştir. Geriye dönük analiz çalışmalarında kullanılacak ticari yazılıma(RocFall) ait girdi

değişkenlerinin belirlenmesi için çalışma sahası içerisinde kütleleri belirli küresel beton blokların sabit yüksekliklerden serbest düşme hareket yapacakları şekilde bırakılarak yüksek hızlı kamera ile ilgili blok hareketleri değerlendirilmek üzere kayıt altına alınmıştır. Yüksek hızlı kamera kayıtları kullanılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesinin oldukça uzun zaman alması, blok temas ve ayrılma anlarının görüntülerde tespitinin oldukça güç olması nedeniyle ticari yazılım içerisinde her bir mühendislik jeolojisi birimi için tanımlanması gereken geri sıçrama katsayılarının ilgili yöntem kullanılarak tespitlerinin mümkün olmadığı belirlenmiştir. Literatürde tanımlı geri sıçrama katsayısı değerleri kullanılarak yürütülen geriye dönük analiz çalışmaları sonucu ticari yazılım içerisinde kullanılmak üzere çalışma sahası içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerine ait normal ve teğet geri sıçrama katsayıları tespit edilmiştir fakat ilgili değerlerin literatürdeki değerler ile örtüşmediği (bkz. Şekil 5.32-Şekil 5.34) görülmüştür. Ayrıca hazırlanan yazılıma ait yay (k_x, k_y) ve sönümleme (c_x, c_y) sabitlerinin Bölüm 5.3.1.6 içerisinde önerilen deneyler kullanılarak belirlenmesinin hareket denklemleri kullanılarak oluşturulan başlangıç değer problemine ait başlangıç değerlerinin bulunamaması nedeniyle imkansız olduğu tespit edilmiştir. Çalışma sahası içerisindeki mühendislik jeolojisi birimlerinin ilgili hareket modellerini kullanan yazılımlar için tanımlanmasını sağlayan değişkenlerden ticarı yazılım (RocFall) içerisinde kullanılması gereken normal ve teğet geri sıçrama katsayıları tespit edilebilmiş fakat hazırlanan N-TEK yazılım için kullanılması gereken yatay ile düşey yay ve sönümlenme sabitleri tespit edilememiştir.

6.2. Tartışma

İlgili mühendislik jeolojisi birimine ait malzeme değişkenlerinin tespit edilememesinin nedeni yatay ve düşey yay ile sönümleme sabitlerinin birbirleri ile ilişkili olmaları ve çalışma sahası içerisinde yürütülen deneylerde düşey hareket denkleminin çözülmesini sağlayacak başlangıç değerlerine ulaşımın mümkün olmasına rağmen yatay hareket denklemi için herhangi bir başlangıç değerinin tespitinin imkansız olmasıdır. Bir başka deyişle sahada yürütülen deneysel çalışmalar, ilgili mühendislik jeolojisi birimlerine ait malzeme değişkenlerinin (k_x, k_y, c_x, c_y) belirlenmesi için yetersizdir. Çalışma içerisinde önerilen öbek kütle yaklaşımı kullanarak hareketli bloğa ait ivme, hız ve konum hesaplamalarını yapan yazılımın gerçek hayatta karşılaşılan durumu canlandırmada eksikliklere sahip olduğu açıktır. Önerilen hareket modeli içerisinde 0 m/s'den farklı bir başlangıç değeri tanımlanmadan bloğun yatayda hareketi, Newton'un 2. Hareket Yasası'na uygun olarak mümkün değildir. Böylesi bir sınırlama ilgili hareket modelinin sadece doğada sıkça rastlanılan, şev yüzeyinde altı boş bir çıkıntı olarak konumlanmış ve hareketlerine serbest düşerek başlayan blokların hareketlerinin hesaplanması için kullanılabilmesine olanak veriyor gibi görünmektedir. Çarpışma anındaki hız ve konumu zamana bağlı olarak hesaplanabilmesi için sunulan ve yüzey ile blok arasındaki sürtünme kuvvetini dikkate almayan öbek-kütle yaklaşımına ait eşitlikler dikkate alındığında, yatayda ve düşeyde 0 m/s hız ile serbest düşme hareketi yaparak ilerleyen bloğun çarpışma süresince herhangi bir yatay yer değiştirme yapamayacağı açıktır. Bu nedenle ilk bakışta sadece serbest düşme hareketi ile harekete başlayan bloğun sistem içerisindeki yataydaki hareketine 0 m/s yatay başlangıç hızıyla izin vermemesi nedeniyle esasında serbest düşme hareketi ile başlayan parçacıklı kaya düşmelerinin canlandırılması için önerilen hareket modelinin uygun olmadığı sonucuna varılmaktadır. Yer çekimi kuvveti etkisi altında ilk hareketine serbest düşerek veya serbest düşmeden farklı bir hareket (düzlemsel yenilme, kama tipi yenilme, devrilme) ile başlayan bloklara ait hesaplamaların yapılabilmesi, tanımı gereği açısal hızları ve sürtünme kuvvetlerini dikkate alan rijit-cisim yaklaşımı kullanan hareket modelleri ile mümkün olabilmektedir. İleride yürütülecek çalışmalar mutlaka rijit-cisim yaklaşımı kullanan hareket modellerinin bloklara ait yörünge ve enerji hesaplamalarında kullanılması önerilmektedir.

İlgili yay ve sönümlenme sabitlerinin tespit edilememesi nedeniyle hazırlanan yazılım ile herhangi bir modelleme çalışması yapılamamış ve hazırlanan N-TEK yazılımı ile ticari RocFall yazılımı tarafından yapılan yörünge ve hız hesaplamalarındaki benzerlikler ve farkların nicel olarak tespiti mümkün olamamıştır. İlgili çalışma içerdiği bilgiler ve yorumlar nedeniyle ileride kaya düşmeleri ile ilgili yürütülecek araştırmalara temel oluşturacak bir kaynak niteliğindedir.

7. KAYNAKLAR

[1] Schweigl, J., Ferretti, C., Nössing, L., Geotechnical Characterization and Rockfall Simulation of A Slope: A Practical Case Study from South Tyrol (Italy), *Engineering Geology*, 67, 281-296, **2003.**

[2] Chiessi, V., D'Orefice, M. Mugnozza, G. S. Vitale, V., Cannese, C., Geological, Geomechanical and Geostatistical Assessment of Rockfall Hazard in San Quirico Village (Abruzzo, Italy), *Geomorphology*, 119, 147-161, **2010.**

[3] Blasio, F. V. D., Mazzanti, P. Subaerial and Subaqueous Dynamics of Coastal Rockfalls. *Geomorphology*, 115, 188-193, **2010.**

[4] Spang, R., Sönser, T., Optimized rockfall protection by Rockfall, *8th International Congress of Rock Mechanics*, 3, 1233–1242, Tokyo,**1995.**

[5] Dorren, L. K. A., Seijmonsbergen, A. C. Comparison of Three GIS-Based Models for Predicting Rockfall Runout Zones at a Regional Scale, *Geomorphology*, 56, 49-64, **2003.**

[6] Dorren, L. K. A., Maier, B., Putters, U. S., Seijmonsbergen, A. C. Combining Field and Modelling Techniques to Assess Rockfall Dynamics on A Protection Forest Hillslope in the European Alps. *Geomorphology*, 57, 151-167, **2004.**

[7] Dorren, L. K. A., Berger, F., Hir, C. L., Mermin, E., Tardif, P. Mechanisms, Effects and Management Implications of Rockfall in Forests, *Forest Ecology an Management*, 215, 183-195, **2005.**

[8] Perret, S., Dolf, F., Kienholz, H., Rockfalls into Forests: Analysis and Simulation of Rockfall Trajectories – Considerations with Respect to Mountainous Forests in Switzerland, *Landslides*, 1, 123-130, **2004.**

[9] Stoffel, M., Wehrli, A., Kühne, R., Dorren, L. K. A., Perret, S., Kienholz, H., Assessing the Protective Effect of Mountain Forests Against Rockfall Using a 3D Simulation Model, *Forest Ecology and Management*, Vol. 225, pp. 113-122, **2006.**

[10] Antoniou, A. A., Lekkas, E., Rockfall Susceptibility Map for Athinios Port, Santorini Island, Greece, *Geomorphology*, 118, 152-166, **2010.**

[11] Youssef, A. M., Pradhan, B., Al-Kathery, M., Bathrellos, G. D., Skilodimou, H. D., Assessment of Rockfall Hazard at Al-Noor Mountain, Makkah City (Saudi Arabia) Using Spatio-Temporal Remote Sensing Data and Field *Invesitgation. Journal of African Earth Sciences*, 101, 309-321, **2015.**

[12] Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Gerber, W., Jaboyedoff, M., Rockfall Characterization and Structural Protection. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11., 2617-2651, **2011.**

[13] Wyllie, D. C., Calibration of Rock Fall Modelling Parameters, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 67, 170-180, **2014.**

[14] Scioldo, G., 2006, User guide: ISOMAP & ROTOMAP—3D surface modelling and rockfall analysis, http://www.geoandsoft.com/english/download.htm, (Ocak, **2016**)

[15] Ashayer, P., *Application of Rigid Body Impact Mechanics and Discrete Element Modeling To Rockfall Simulation*, Doktora Tezi, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Toronto, **2007.**

[16] Dorren, L. K. A., Rockyfor3D (v5.2) Revealed – Transparent Description of the complete 3D Rockfall Model, Technical Report, http://www.ecorisq.org (Ocak, **2016**)

[17] Mitchell, A. D., *Computer Modeling of Rock Fall: Improvement and Calibration of The Pierre 2 Stochastic Rock Fall Simulation Program*, Yüksek Lisans Tezi, University of British Columbia, Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies, , Vancouver, **2015.**

[18] Louge, M. Y., Adams, M. E., Anomalous Behaviour of Normal Kinetic Restitution in the Oblique Impacts of a Hard Sphere on an Elasto-Plastic Plate, Physical Review E, 65(2), 1-9, DOI:10.1103/PhysRevE.65.021303, **2001.**

[19] Giacomini, A., Thoeni, K., Lambert, C., Booth, S., Sloan, S. W., Experimental Study on Rockfall Drapery Systems for Open Pit Highwalls, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 56, 171-181, **2012.**

[20] Spadari, M., Kardani, M., Carteret, R. D., Giacomini, A., Buzzi, O., Fityus,, S., Sloan, S. W., Statistical Evaluation of Rockfall Energy Ranges for Different Geological Settings of New South Wales, Australia, *Engineering Geology*, 158, 57-65, **2013.**

[21] Li, L., Lan, H., Probabilistic Modeling of Rockfall Trajectories: A Review, *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 74, 1163-1176, **2015.**

[22] ISRM, *The complete ISRM suggested methods for Rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006.* (eds. Ulusay, R., Hudson, J.A.,), Ankara, Türkiye, **2007.**

[23] ISRM, *The ISRM Suggested Methods for Rock Characterization, Testing and Monitoring: 2007-2014,* Ulusay, R., Springer, London, **2014.**

[24] Lambert, S., Nicot, F., *Rockfall Engineering*, John Wiley & Sons, New York, ISTE ltd., **2011.**

[25] Zimmer, V. L., *Seismic and Acoustic Investigations of Rock Fall Initiation, Processes, and Mechanics*, Doktora Tezi, University of California, Amerika Birleşik Devletleri, **2011.**

[26] Nejati, H., *On Investigation of Contact Models In DEM Simulation of Rockfalls*, Yüksek Lisans Tezi, Concordia University, Kanada, **2008.**

[27] Pierson, L. A., Gullixson, C. F., Chassie, R. G., Rockfall Catchment Area Design Guide Final Report SPR-3(032) Metric Edition, Technical Report, Oregon Department of Transportation – Federal Highway Administration, **2001.**

[28] Hungr, O. and Evans, S., Engineering evaluation of fragmental rockfall hazards, *5th International Symposium on Landslides*,10-15 Temmuz, 1, 685–690, Balkema, Rotterdamm, Lausanne, Switzerland, **1988.**

[29] Abellân, A, Vilaplana, J. M., Martinez, J., Application of A Long-Range Terrestrial Laser Scanner to a Detailed Rockfall Study at Vall de Nuria (Eastern Pyrenees, Spain), *Journal of African Earth Sciences*, 88, 136-148, **2006.**

[30] Ansari, M. K.,s Ahmad, M., Singh, R., Singh T. N., Rockfall Assessment Near Saptashrungi Gad Temple, Nashik, Maharashtra, India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2, 77-83, **2012.**

[31] Singh, B., Goel, R.K., *Engineering Rock Mass Classification Tunneling, Foundations, and Landslides*, Butterworth-Heinemann, Oxford, İngiltere, **2011.**
[32] Keskin, İ., Evaluation of Rock Falls in an Urban Area: The Case of Boğaziçi (Erzincan/Turkey), *Environmental Earth Sciences*, 70, 1619-1628, **2013.**
[33] Day, R. W., *Geotechnical Engineer's Portable Handbook,* Second Edition, McGraw Hill, Amerika Birleşik Devletleri, **2012.**
[34] Kliche, C. A., *Rock Slope Stability*, Amerika: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME), **1999.**
[35] Glover, J., *Rock-shape and its role in rockfall dynamics*, Doktora Tezi University of Durham, İngiltere, **2015.**
[36] Frattini, P., Crosta, G., Carrara, A., Agliardi, F., Assessment of Rockfall Susceptibility by Integrating Statistical and Physically-Based Approaches. *Geomorphology*, 94, 419-437, **2008.**
[37] Agliardi, F., Crosta, G. B., High resolution Three-Dimensional Numerical Modelling of Rockfalls, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 40, 455-471, **2003.**
[38] Lambert, S., Bourrier, F., Toe, D., Improving Three-Dimensional Rockfall Trajectory Simulation Codes for Assessing The Efficiency of Protective Embankments, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 60, 26-36, **2013.**
[39] Ruiz-Carulla, R., Corominas, J., Mavrouli, O., A Methodology to Obtaion The Block Size Distribution of Fragmental Rockfall Deposits, *Landslides*, 12, 815-825, **2015.**
[40] Abellân, A., Oppikofer, T., Jaboyedoff, M, Rosser, N. J., Lim, M., Lato, M. J., Terrestrial Laser Scanning of Rock Slope Instabilites, *Earth Surface Proccesses and Landforms*, 39, 80-97, **2014.**
[41] Bourrier, F., Dorren, L., Hungr, O., The Use of ballistic Trajectory and Granular flow Models in Predicting Rockfall Propagation. *Earth Surface Proccesses and Landforms*, 38., 435-440, **2013.**
[42] Clague, J. J., Stead, D., *LandslidesTypes, Mechanisms and Modeling*, Cambridge University Press, İngiltere, **2012.**
[43] Pine, J. C., *Hazard Analysis Reducing The Impact of Disasters Second Edition*, CRC Press, Boca Raton, **2015.**
[44] Coppola, D. P., Introduction to International Disaster Management – Third Edition, Elsevier, İngiltere, **2015.**
[45] Rose, B. T., *Tenessee Rockfall Management System*, Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Amerika Birleşik Devletleri, **2005.**
[46] Fell, R., Landslide Risk Assessment and Acceptable Risk, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, No. 2, 261–272, **1994.**
[47] Finlay PJ, Fell R.,: Landslides: risk perception and acceptance. *Canadian Geotechnical Journal*, 34, 169–188, **1997.**
[48] IUGS (International Union of Geological Sciences) Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment. Quantitative risk assessment for slopes and landslides –The state of the art. (Eds: Cruden, D.R. & Fell, R.) Landslide Risk Assessment. *Proceeding of the International Workshop on Landslide Risk Assessment*; Şubat 1997, Honolulu, Hawaii. A.A. Balkema, Rotterdam, 3 – 12, **1997.**
[49] Morgenstern, N., Managing Risk in Geotechnical Engineering. *Proceedings of 10th Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation*

Engineering, Mexican Society of Soil Mechanics, Mexico City, 4, 102 – 126, **1995.**

[50] Fell, R., and Hartford, D., Landslide risk management. *International workshop on Landslide risk assessment*, (eds. D. M. Cruden and R. Fell), A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands (NLD), Honolulu, Hawaii, 51–110, **1997.**

[51] Alexander, D., *Principles of emergency planning and management*, Oxford University Press, Oxford; New York, **2002.**

[52] National Research Council (U.S.). Committee on the Review of National Landslide Hazards Mitigation Strategy. Partnerships for reducing landslide risk: assessment of the National Landslide Hazards Mitigation Strategy, National Academies Press, Washington,D.C., **2004.**

[53] Crozier, M. J., and Glade, T., Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts, and Approach. *Landslide Hazard and Risk*, (eds. Glade, T., Anderson, M., and Crozier, M. J.), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 1-40, **2005.**

[54] Whitman, R.V., Organizing and Evaluating Uncertainty in Geotechnical *Engineering. Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 126, No. 7, 583 –593, **2000.**

[55] Chung, C.-J. F., and Fabbri, A. G., Systematic procedures for landslide hazard mapping for risk assessment using spatial predition models. *Landslide Hazard and Risk*, (eds. Glade, T., Anderson, M., and Crozier, M. J.), John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 139-174, **2005.**

[56] Sorriso-Valvo, M., Landslide risk assessment in Italy. *Landslide Hazard and Risk*, (eds. Glade, T., Anderson, M. and Crozier, M. J.), John Wiley & Sons, 699-732, **2005.**

[57] Vick, S. G.: *Degrees of belief: subjective probability and engineering judgment*, ASCE Press, Reston, Va, **2002.**

[58] Baecher, G. B., and Christian, J. T., *Reliability and statistics in geotechnical engineering*, Wiley, Chichester, England; Hoboken, NJ, **2003.**

[59] Li, Z. H., Huang, H. W., Xue, Y. D., Yin, J., Risk Assessment of Rockfall Hazards on Highways. Georisk: Assessment and Management of Risk for *Engineered Systems and Geohazards*, 3, no. 3, 147-154, **2009.**

[60] Lato, M. J., *Geotechnical Applications of LIDAR Pertaining to Geomechanical Evaluation and Hazard Identification*, Doktora Tezi, Queen's University, Kanada, **2010.**

[61] Pantelidis, L., A critical review of highway slope instability risk assessment systems. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 70, Issue 3, 395-400, **2011.**

[62] Jaboyedoff, M. and Labiouse, V., Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 819-828, **2011.**

[63] Onofri, R. and Candian, C., Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976, *Reg. Aut. Friuli–Venezia Giulia*, Cluet, 42,**1979.**

[64] Toppe, R., Terrain models: a tool for natural hazard mapping. *Avalanche formation, movement and effects*, (eds: Salm, B. and Gubler, H.), International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, İngiltere, 162, 629–638,**1987.**

[65] Lied, K.,. Rockfall Problems in Norway. In: Rockfall Dynamics and Protective Work Effectiveness, Bergamo, *ISMES Publ. n.90*, 51-53, **1977.**

[66] Evans, S.G., Hungr, O., The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes, *Canadian Geotechnical Journal,* 30, 620–636, **1993.**

[67] Wieczorek, G.F., Morrissey, M. M. , Iovine, G., and Godt, J. :*Rockfall Potential in the Yosemite Valley, California.*, USGS Open-file Report, Amerike Birleşik Devletleri, 99–578,**1999.**

[68] Heron, D., Lukovic, B., Massey, C., Ries W., McSaveney, M., GIS Modelling in Support of Eartquake-Infuced Rockfall and Cliff Collapse Risk Assessment in The Port Hills, Christchurch, *Journal of Spatial Science*, 59, no. 2, 313-332, **2014.**

[69] Jaboyedoff, M. and Labiouse, V., Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. *10th International Congress on Rock Mechanics ISRM 2003 – Technology roadmap for rock mechanics*, 8-12 Eylül, 575–578, Johannesburgh, South Africa, **2003.**

[70] Aksoy, H. and Ercanoglu, M., Determination of the rockfall source in an urban settlement area by using a rule-based fuzzy evaluation, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 6, 941–954, **2006,** doi:10.5194/nhess-6-941-2006

[71] Ghazipour, N., Uromeihy, A., Entezam, I., Ansari, F., and Pirouz, M., The use of Cone-Fall theory for evaluation of rock-fall hazard along the Chaloos-Road (Pol-e-Zanguleh – Marzan-Abad), *Geosciences*, 17, 160–169,. **2008.**

[72] Pierson, L.A., *Rockfall Hazard Rating System*, Transportation Research Record: Rockfall Prediction and Control and Landslide Case Histories, No. 1343, 6–13., Amerika Birleşik Devletleri **1992.**

[73] Çiçek, C., *Implementation Of A Hazard Rating System to The Cutslopes Along Kızılcahamam-Gerede Segment of D750 Highway*, Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, **2009.**

[74] Pierson, L.A., Van Vickle, R., *Rockfall Hazard Rating System*, Participant's Manual, National Highway Institute, Course No. 130220, Federal HighwayAdministration, No. FHWA SA-93-057: Springfield, VA, 105 pp, **1993.**

[75] AASHTO, *A policy on geometric design of highways and streets, American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington D.C., **1984.**

[76] Pack, R.T., and Boie, K., *Utah Rockfall Hazards Inventory: Phase I*, Utah Department of Transportation Research Division, Salt Lake City, Utah, Report No. UT-03.01, **2002.**

[77] Pack, R.T., Boie, K., Mather, S., Farrell, J., UDOT *Rockfall Hazard Rating System: Final Report and User's Manual*, Utah Department of Transportation Research Division, Salt Lake City, Utah, Report No. UT-06.07, **2006.**

[78] Fish, M., Lane, R., *GIS and the New Hampshire Rock Cut Management System*, New Hampshire Department of Transportation Bureau of Materials and Research, Stickney Avenue Concord, New Hampshire, Report No: FHWA-NH-RD-12323V, **2002.**

[79] Ho, C.L., Norton, S.S., *Development of an Unstable Slope Management System, Washington State Department of Transportation*, Report WA-RD 270.2, **1991.**

[80] Budetta, P., Assessment of rockfall risk along roads, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 4, 71–81, **2004.**

[81] NYSDOT, *Geotechnical Eng ineering Manual: Rock Slope Rating Procedure,* GEM-15, Revision 2,EB 15-025, **2015.**
[82] Maerz, N.H., Youssef, A., Fritz, M.A., A risk-consequence hazard rating system for Missouri highways, *54th Highway Geology Symposium*, 24-26 Eylül, Burlington, Vermont, 175-195, **2003.**
[83] NYSDOT, *Highway Design Manual Appendix 5B Vertical Highway Alignment Sight Distance Charts*, **2015b.**
[84] Franklin, J. A.,Wood, D. F., Senior S. A., Blair, J. A. ,Wright, J., *RHRON: Ontario Rockfall Hazard Rating System: Field Procedures Manual*, MERO-043, Ontario, pp.88, **2013.**
[85] Mignelli, C., Russo, S. L., Daniele, P., Rockfall Risk Management Assessment: RO.M.A. Approach. *Natural Hazards*, 62, 1109-1123, **2012.**
[86] Mignelli, C., Peila, D., Russo, S. L., Ratto, S. M., Broccolato, M., Analysis of Rockfall Risk on Mountainside Roads: Evaluation of the Effect of Protection Devices. *Natural Hazards*, Vol. 73, pp. 23-35, **2014.**
[87] Alejano, L. R., Stockhausen, H. W., Alonso, E., Bastante, F. G., Oyanguren, P. R., ROFRAQ: A Statistics-Based Empirical Method for Assessing Accident Risk From Rockfalls in Quarries. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 45, 1252-1272, **2008.**
[88] Leine, R. I., Schweizer, A., Christen, M., Glover, J., Bartelt, P., Gerber, W., Simulation of Rockfall Trajectories with Consideration of Rock Shape, *Multibody System Dynamics*, 32, 241-271, **2014.**
[89] Meissl, G., *Modellierung der Reichweite von Felsstürzen: Fallbeispielezur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung*, Doktora Tezi, University of Innsbruck, Institut für Geographie, Almanya, **1998.**
[90] Gregory, R. D., *Classical Mechanics An Undergraduate Text*. Cambridge University Press, New York, **2006.**
[91] Rocscience - Rockfall 5.0 Manual
[92] Ritchie, A.M., *Evaluation of Rockfall and its Control*, Vol. 17. Highway Research Board, Highway Research Record, National Academy of Sciences-National Research Council. Washington, DC, pp. 13–28, **1963.**
[93] Azimi, C., Desvarreux, P., Giraud, A., and Martin-Cocher, J., Methode de calcu de la dynamique des chutes de blocs – Application a l'étude du versant de la montagne de La Pale (Vercors), *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chauss´ees*, 122, 93-102, **1982.**
[94] Falcetta, J., Un nouveau modéle de calcul de trajectoires de blocs Rocheux, *Revue Francaise de G´eotechnique*, 30, 11–17, **1985.**
[95] Kobayashi, Y., Harp, E., and Kagawa, T., Simulation of Rockfalls triggered by earthquakes, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 23, 1–20, **1990.**
[96] Azzoni, A., La Barbera, G., Zaninetti, A., Analysis and Prediction of Rockfalls Using a Mathematical Model, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics*, 32, no. 7, 709-724, **1995.**
[97] Andrew, R., Hume, H., Bartingale, R., Rock, A., Zhang, R., CRSP-3D User's Manual Colorado Rockfall Simulation Program. FHWA Publication No: FHWA-CFL/TD-12-007, **2012.**
[98] Descoeudres, F., Zimmermann, T. 1987: Three-dimensional dynamic calculation of rockfalls, *Sixth International Congress on Rock Mechanics*, International Society for Rock Mechanics, Montreal, Canada, 337–342, **1987.**

[99] Ashfield, J. R., *The Computer Simulation and Prediction of Rock Fall*, University of Durham, Doktora Tezi, **2001.**
[100] GEOROCK2D User Manual – Geostru Software
[101] GEOROCK3D User Manual – Geostru Software
[102] Crosta, G. B., Agliardi, F., Parametric Evaluation of 3D dispersion of Rockfall Trajectories, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 583-598, DOI: 10.5194/nhess-4-583-2004, **2004.**
[103] Agliardi, F., Crosta, G. B., Frattini, P., Integrating rockfallrisk assessment and countermeasure design by 3D modelling techniques, Natural Hazards Earth System Sciences, 9, 1059–1073, **2009,** doi:10.5194/nhess-9-1059-2009
[104] Paronuzzi P, Artini E, Un nuovo programma in ambiente Windows per la modellazione della caduta massi (A new Windows code for modelling the block propagation). *Geologia Tecnica e Ambientale*. Roma, 1/99,13–24, **1999.**
[105] Paronuzzi, P., Rockfall Induced Block Propagation on a Soil Slope, Northern Italy. Environmetal Geology, 58, 1451-1466, **2009.**
[106] Paronuzzi P. Field evidence and kinematical back-analysis of block rebounds: the Lavorne Rockfall, Northern Italy, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 42, 783–813, **2009.**
[107] Woltjer, M., Rammer, W., Brauner, M., Seidl, R., Mohren, G. M. J., Lexer, M. J., Coupling a 3D Patch Model and A Rockfall Module to Assess Rockfall Protection in Mountain Forests. *International Journal of Environmental Management*, 87, 373-388, **2008.**
[108] Rammer, W., Brauner, M., Dorren, L., Berger, F., and Lexer, M.,:Validation of an integrated 3D forest – rockfall model, Geophysical Research Abstracts., Vol. 9, 04634, Vienna, **2007.**
[109] Rammer, W., Brauner, M., Dorren, L. K. A., Berger, F., Lexer, M., J., Evaluation of a 3-D Rockfall Module Within a Forest Patch Model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 699-711, **2010.**
[110] Gischig, V. S.,Hungr, O., Mitchell, A., Bourrier, F., Pierre3D: a 3D stochastic rockfall simulator based on random ground roughness and hyperbolic restitution factors, *Canadian Geotechnical Journal*, 52, 1360–1373, **2015.**
[111] Cottaz, Y., Barnichon, J. D., Badertscher, N., Gainon, F., PiR3D®, an effective and user-friendly 3D rockfall simulation software: formulation and case-study application, 24-25 Kasım *Rock Slope Stability Symposium*, Paris, 1-16, **2010.**
[112] Rochet, L., Application des modèles numériques de propagation à l'étude des éboulements rocheux, *Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées*, 150–151, 84–95, **1987.**
[113] Stevens, W., *RocFall: a tool for probabilistic analysis, design of remedial measures and prediction of rock falls*, Yüksek Lisans Tezi, Department of Civil Engineering, University of Toronto. Ontario, Canada, **1998.**
[114] Lan, H., Martin, C. D., Lim, C. H., RockFall Analyst: A GIS Extension for Three Dimensonal and Spatially Distributed Rockfall Hazard Modelling. *Computers & Geosciences*, 33, 262-279, **2007.**
[115] RocPro3D Manual
[116] Wu, S, *Rockfall Evaluation by Computer Simulation*, Transportation Research Report, 1031, 1-85, **1985.**

[117] Dorren, L. K. A., Berger, F., Putters, U. S., Real-Size Experiments and 3-D Simulation of Rockfall on Forrested and Non-Forested Slopes. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 145-153, **2006.**
[118] Bourrier, F., Dorren, L., Nicot, F., Berger, F., Darve, F., Toward Objective Rockfall Trajectory simulation Using Stochastic Impact Model. *Geomorphology*, 110, 68-79, **2009.**
[119] Dorren, L. K. A., Rockyfor3D (v5.2) Revealed – Transparent Description of the complete 3D Rockfall Model, Technical Report, http://www.ecorisq.org (Ocak, **2016**)
[120] Bozzolo, D. and Pamini, R., Simulation of rock falls down a valleyside, *Acta Mechanica*, Vol 63., pp. 113–130, **1986.**
[121] Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R., Agliardi, F., STONE: A Computer Program for The Three-Dimensional Simulation of Rock-Falls, *Computers & Geosciences*, 28, 1079-1093, **2002.**
[122] Wyllie, D.,C., and Mah, C. W., *Rock Slope Engineering Civil and Mining 4th Edition*, Spon Press – Taylor & Francis Group, New York, USA, **2004.**
[123] Wyllie, D. C., Rockfall Engineering. CRC Press Taylor & Francis Group, Amerika Birleşik Devletleri, **2014.**
[124] Karayolları Genel Müdürlüğü Karayolu Teknik Şartnamesi (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), **2013.**
[125] Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları İşletmesi Genel Müdürlüğü Etüt Proje ve Yatırım Dairesi Başkanlığı Demiryolu Güzergah Jeolojik-Jeoteknik-Geoteknik Etütlerinin Yağılmasına ait Mühendislik Hizmetleri Teknik Şartnamesi (?)
[126] Anonim, Mühendislere kaya düşmesi eğitimi, https://www.afad.gov.tr/tr/1716/AFADdan-Muhendislere-Kaya-Dusmesi-Egitimi (Eylül, **2017**)
[127] Anonim, Türkiye Afete Uğramış Yerleşim Birimleri Haritası, https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3504/xfiles/94-201406021514-afetler_tum_dagilim_renkli_2.pdf (Eylül, **2017**)
[128] Malthe-Sørenssen, A., *Undergraduate Lecture Notes in Physics - Elementary Mechanics Using Matlab – A Modern Course Combining Analytical and Numerical Techniques*, Springer, Switzerland, **2015.**
[129] James, G., *Modern Engineering Mathematics*, Fifth Edition, Pearson Education Limited, United Kingdom, **2015.**
[130] Anonim, Significant figures, https://en.wikipedia.org/wiki/Significant_figures, (Eylül, **2016**)
[131] Meriam, J. L., Kraige, L. G., *Engineering Mechanics Volume 2 - Dynamics*, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Amerika Birleşik Devletleri, **2012b.**
[132] Meriam, J. L., Kraige, L. G.,. *Engineering Mechanics Volume 1 - Statics*, Seventh Edition, John Wiley & Sons, Amerika Birleşik Devletleri, **2012a.**
[133] Stewart, J., Redlin, L., Watson, S., *Precalculus Mathematics for Calculus* Seventh Edition, Cengage Learning, Amerika Birleşik Devletleri, **2015.**
[134] Stewart, J., *Calculus*, Eighth Edition, Cengage Learning, Boston, Amerika Birleşik Devletleri, **2015.**
[135] Goldsmith, W., *Impact The Theory and Physical Behaviour of Colliding Solids*, Dover Publications, Amerika Birleşik Devletleri, **2001.**
[136] Stronge, W. J., *Impact Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, **2000.**

[137] Labiouse, V., and Heidenreich, B., Half-scale experimental study of rockfall impacts on sandy slopes, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1981-1993, **2009.**

[138] Ansari, M., Ahmad, M., Singh, R., Singh, T. N., Correlation Between Shcmidt Hardness and Coefficient of Restitution of Rocks. *Journal of African Earth Sciences*, 104, 1-5, **2015.**

[139] Richards, L. R., Peng, B., Bell, D.H., *Laboratory and field evaluation of the normal coefficient of restitution for rocks*. Proceedings of Eurock 2001. 149–56, **2001.**

[140] Rayudu, D.P., *Computer simulation of rockfalls: application to rockfalls at Fox Glacier, West Coast, New Zealand*, Yüksek Lisans Tezi, Lincoln University, New Zealand, **1997.**

[141] Asteriou, P., Saroglou, H., Tsiambaos, G., Geotechnical and Kinematic Parameters Affecting The Coefficients of Restitution for Rock Fall Analysis, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 54, 103-113, **2012.**

[142] Azzoni, A., Rossi, P.P., Drigo, E., Giani, G.P., Zaninetti, A., In situ observations of rockfalls analysis parameters. *Proceedings of the VI International Symposium on Landslides*, 10-14 Şubat, Christchurch, Balkema, Rotterdam, The Netherlands, 307–314, **1992.**

[143] Azzoni, A., Freitas, M. H. D., Experimentally Gained Parameters, Decisive for Rock Fall Analysis, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 28, no. 2, 111-124, **1995.**

[144] Ushiro, T.,Kusumoto M., Shinohara S., Kinoshita K., An experimental study related to rockfall movement mechanism, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 62(2), 377–86, **2006.**

[145] Kuninaka, H., Hayakawa, H., Anomalous Behaviour of the Coefficient of Norma Restitution in Oblique Impact. Physical Review Letters, 93, 15, DOI: 10.1103/PhysRevLett.93.154301, **2004.**

[146] Mathon C, Kobayashi H, Dewez T, Sedan O, Nachbaur A, Berger F, Desgarets E, Nowak E, *Calibration of restitution coefficients, based on real size experiment in the weathered volcanic context of Tahiti, French Polynesia*. Proceedings of the rock slope stability, **2010.**

[147] Buzzi O, Giacomini A, Spadari M., Laboratory investigation on high values of restitution coefficients, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(1),35–43, **2012.**

[148] Li, L., Sun, S., Li, S., Zhang, Q., Hu, C., Shi, S., Coefficient of Restitution and Kinetic Energy Loss of Rockfall Impacts, *KSCE Journal of Civil Engineering*, DOI 10.1007/s12205-015-0221-7, 1-11, **2012.**

[149] Spadari, M., Giacomini, A., Buzzi, O., Fityus, S., Giani, G. P., In Situ Rockfall Testing in New South Wales Australia, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 49, 84-93, **2012.**

[150] Asteriou, P., Tsiambaos, G., Empirical Model for Predicting Rockfall Trajectory Direction, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, DOI 10.1007/s00603-015-0798-7, 1-15, **2015.**

[151] Akbaş, B., Sevin, M., ve Aksay, A., Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü 1:100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, No:40, Bolu-H-27 Paftası, Ankara, Jeoloji Etütleri Dairesi, **2002.**

[152] Anonim, Nallıhan iklim, http://www.nallihan.gov.tr/cografya, (Haziran, **2018**)

[153] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi , Deprem tarihçesi http://m.koeri.boun.edu.tr/dbs/deprem-tarihcesi.asp, (Haziran, **2018**)
[154] A.F.A.D., Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, https://deprem.afad.gov.tr/deprem-bolgeleri-haritası , (Haziran, **2018**)
[155] SenseFly, Drone bilgileri, https://www.sensefly.com/drone/ebee-plus-survey-drone/, (Haziran, **2018**)
[156] Ulusay, R., *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler – Güncelleştirilmiş, Genişletilmiş 5.Baskı*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Ankara, **2010.**
[157] Munsell Color (Şirket), *Geological Rock Color Chart with genuine Munsell Color Chips*, **2009.**
[158] Levy, S. M., *Construction Databook – Construction Materials and Equipment*, Second Edition, McGraw-Hill, Amerika Birleşik Devleri, **2010.**
[159] Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal, A., *Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri*, Yenilenmiş 2.Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58, Ankara, **2005.**
[160] Corominas, J., Mavrouli, O., Ruiz-Carulla, R., Magnitude and Frequency Relations: Are There Geological Constraints to the Rockfall Size?, *Landslides*, 15, 829-845, **2018.**
[161] Barton, N., and Choubey, V., The Shear Strength of Rock Joints In Theory and Practice, *Rock Mechanics*, 10, 1-54, **1977.**
[162] Barton, N., Shear Strength Criteria for Rock, Rock Joints, Rockfill and Rock Masses: Problems and Some Solutions, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 5, 249-261, **2013.**
[163] An, B., Tannant, D. D., Discrete Ellement Method Contact Model For Dynamic Simulation of Inelastic Rock Impact, *Computers & Geosciences*, 33, 513-521, **2007.**
[164] Russell, J. A., Process Analysis of Rockfalls with Stationary Terrestrial LiDAR and Rockfall Analyst, Yüksek Lisans Tezi, Faculty of Graduate Studies and Research at University of Alberta, **2011.**
[165] Şaraldı, M. H., *Tatlarin (Nevşehir) Yeraltı Şehrini ve Çevresini Etkileyen Kaya Düşmelerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Türkiye, **2015.**
[166] Wang, Y., *Three Dimensional Rock-Fall Analysis With Impact Fragmentation And Fly-Rock Modeling*, Doktora Tezi, Faculty of Graduate School at the University of Texas at Austin, Amerika Birleşik Devletleri, **2009.**
[167] Cybulski, P. G., *Rock Fall Mitigation For An Open Pit Mine Experiencing Substantial Rock Fall From Overblasting*, Yüksek Lisans Tezi, Colorado School of Mines, Amerika Birleşik Devletleri, **2014.**
[168] Durda, D. D., Movshovitz, N., Richardson, D. C., Asphaug, E., Morgan, A., Rawlings, A. R., Vest, C., Experimental Determination of The Coefficient of Restitution for Meter-Scale Granite Spheres, *Icarus*, 211, 849-855, **2011.**
[169] Preh, A., Mitchell, A., Hungr, O., Kolenprat, B., Stochastic Analysis of Rock Fall Dynamics on Quarry Slopes, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 80, 57-66, **2015.**
[170] Chau, K. T., Wong, R. H. C., Wu, J. J., Coefficient of Restitution and Rotational Motions of Rockfall Impacts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 39, 69-77, **2002.**

[171] Giacomini, A., Buzzi, O., Renard, B., Giani, G. P., Experimental Studies of Fragmentation of Rock Falls on Impact with Rock Surfaces. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, 708-715, **2009.**

[172] Topal, T., Akin, M., Özden, U. A., Assessment of Rockfall Hazard Around Afyon Castle, Turkey, *Environmetal Geology*, 53, 191-200, **2007.**

[173] Giani, G. P., Giacomini, A., Migliazza, M., Segalini, A., Experimental and Theoretical Studies to Impronve Rock Fall Analysis and Protection Work Design, *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 37, no. 5, 369-389, **2004.**

[174] Kim, D. H., Gratchev, I., Berends, J., Balasubramaniam, A., Calibration of Restitution Coefficients Using Rockfall Simulations Based on 3D Photogrammetry Model: A Case Study. Natural Hazards, 78, 1931-1946, **2015.**

[175] Arpaz, E., Determination of Restitution Coefficients for Various Granite Samples, *Arabian Journal of Geosciences*, 8, 5285-5294, **2015.**

[176] Arndt, B., Arpin, B., Higgins, J. D., Thompson, P., Guidelines for Certification and Management of Rockfall Fence Systems Final Report, prepared for National Cooperative Highway Research Program, Project 24-35 Transportation Research Boards of The National Academics of Sciences, Engineering and Medicine, **2015.**

[177] **Hutchinson, J. N. 1988.** General Report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology. *Proceedings, Fifth International Symposium on Landslides* (Ed: Bonnard, C.), 1, 3-35. Rotterdam: Balkema

8. EKLER

EK 1

GERİ SIÇRAMA KATSAYISI DEĞERLERİ

Normal Geri Sıçrama Katsayısı R_N				Teğet Geri Sıçrama Katsayısı R_T				Enerji Geri Sıçrama Katsayısı R_E				Teğet Enerji Geri Sıçrama Katsayısı R_{TE}				Kinetik Geri Sıçrama Katsayısı R_{KIN}				Tip	Doğrulama	Konum	Kaynak	
En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Standart Sapma					
0,00	0,00	0,00																		Nehir, veya bataklık, veya kayanın tamamen içerisine gömülebileceği malzeme			Rockyfor3D Manual (Dorren, 2016) [16]	
0,21	0,23	0,25																		İnce taneli zemin (kalınlık > ~100 cm)				
0,25	0,28	0,31																		İnce taneli zemin(depth < ~100 cm), veya vadi içerisindeki kum/çakıl karışımı				
0,30	0,33	0,36																		Yamaç molozu(0 < ~10 cm), or orta derecede sıkıştırılmış küçük kaya parçacıkları içeren zemin, veya orman yolu				
0,34	0,38	0,42																		Moloz şevi (0 > ~10 cm), veya büyük kaya parçaları içeren sıkıştırılmış zemin				
0,39	0,43	0,47																		İnce ayrışmış malzeme veya zemin ile kaplı anakaya				
0,48	0,53	0,58																		Anakaya				
0,32	0,35	0,39																		Asfalt Yol				
0,65	0,75			0,80	0,90															Som Kaya				
0,45	0,65			0,50	0,80															Büyük kaya blokları ile karışık detritik malzeme			Piteau and Clayton (from Pasquero (1987))	
0,35	0,45			0,40	0,50															Büyük kaya blokları ile karışık sıkıştırılmış detritik malzeme				
0,20	0,30			0,20	0,40															Ot kaplı şevler				
0,53				0,90																Temiz, sert anakaya			Hoek (1987) (based on unpublished information from Departments of Transportation in USA)	
0,40				0,90																Asfalt karayolu				
0,35				0,85																Sert yüzeylere sahip anakaya mostraları, büyük bloklar				
0,32				0,82																Moloz örtüsü				
0,32				0,80																Bitki örtüsü içeren moloz örtüsü				
0,30				0,80																Yumuşak zemin, biraz bitki örtüsü				
0,37	0,42			0,87	0,92															Sert yüzey kaplaması			Pfeiffer, T.J., Bowen, T.D. (1989)	
0,33	0,37			0,83	0,87															Az zemin veya bitki örtüsü içeren anakaya veya bloklar				
0,30	0,33			0,83	0,87															Az bitki örtülü moloz				
0,30	0,33			0,80	0,83															Biraz bitki örtülü moloz				
0,28	0,32			0,80	0,83															Az bitki örtülü yumuşak zemin şevi.				
0,28	0,32			0,78	0,82															Bitki örtüsü kaplı zemin şevi				
0,32				0,71																Kireçtaşı yüzey			Robotham, M.E., Wang,	
0,303				0,615																Yer yer bitki örtüsü içeren kireçtaşı molozu			H., Walton, G. (1995)	
0,315				0,712																Örtülmemiş kireçtaşı patlatma yığını				
0,251				0,489																Bitki örtüsü kaplu kireçtaşı yığını				
0,276				0,835																Tebeşir taşı yığını				
0,271				0,596																Bitki örtüsü içeren tebeşir taşı molozu				
0,20				0,53																Moloz çökelleri ve kayalık yüzeyler üzerindeki dolomitik kireçtaşı blokları			Budetta, P., Santo, A.	
0,10				0,20																Yar tabanında konumlanmış teraslardaki piroklastikler				
0,00				0,24																Yar topuğundaki detritik fanlar üzerinde gerçekleşen çarpmalar.				
0,393																				Zemin			Chau, K.T., Wong, R.H. C., Lee, C.F. (1996)	
0,453																				Püskürtme beton				
0,487																				Kaya şevi				
0,50																				Anakaya			Giani, G.P. (1992)	
0,35																				Büyük bloklarla kaplı anakaya				
0,30																				Homojen dağılmış malzemeden oluşan çökel				
0,25																				Bitki örtüsü kapli zemin				

Rotomap User Guide (Scioldo, 2006) [14]

0,37	0,42																			Pürüzsüz, sert yüzeyler ve kaplamalar			
0,33	0,37																			Birçok anakaya ve blok alanları			
0,30	0,33																			Moloz ve sıkı zemin şevleri			
0,28	0,30			0,87	0,92															Yumuşak zemin şevleri, kaplamalar gibi pürüzsüz sert yüzeyler veya pürüzsüz anakaya yüzeyleri			
				0,83	0,87															Birçok anakaya yüzeyi ve bitki örtüsüz moloz			Pfeiffer, T.J., Higgens, J.D. (1990)	
																				Bitki örtüsü				Rotomap User Guide (Beloldo, 2006) [14]
				0,82	0,85															Bodur bitki örtüsü ile kaplı birçok moloz şevi				
				0,80	0,83															Bitki örtüsü ile kaplı moloz şevleri ve seyrek bitki örtüsü ile kaplı zemin şevleri				
				0,78	0,82															Çalı kaplı zemin şevi				
0,50				0,80																Seyrek bitki örtüsü ve çok ince taneli, üzerlenen şistoz birimlerden türemiş malzeme ile kaplı kireçtaşı			Hungr. O. Evans, S.G. (1988)	
0,50				0,80																Modal tane boyu 5cm olan ve bazalt				
0,70				0,90																Çıplak kaya üzerindeki metamorfik tüften oluşan				
0,80	0,90			0,65	0,75															Pürüzsüz sert kaya / kaplama			Pitteau & Clayton, 1977	(An & Tannant, 2007) [163]
0,95				0,90																			Heierli, 1985	
0,40	0,53			0,90	0,99																		Hoek, 1987	
0,05	0,35			0,50	1,00																		Uroiuoli, 1988	
0,37	0,42			0,87	0,92																		Pfeiffer & Bowen, 1989	
0,50				0,95																			Giani, 1992, Barbirerei et al, 1988	
0,90				0,90																			Evans & Hungr, 1993	
0,17	0,43			0,45	0,88																		Gerber, 1995	
0,10	0,35																						Kamijo, 2000	
0,60	1,00			0,90	1,00																		Jones et al., 2000	
0,20				0,53																			Budetta & Santo, 1994	
0,50	0,80			0,45	0,65															Bloklar / Anakayayı örten bloklar			Pitteau & Clayton, 1977	
0,35				0,85																			Hoek, 1985	
0,33	0,37			0,83	0,87																		Pfeiffer & Bowen, 1989	
0,35				0,85																			Giani, 1992, Barbirerei et al, 1988	
0,15	0,30			0,75	0,95																		Jones et al., 2000	
0,40	0,50			0,35	0,45															Moloz			Pitteau & Clayton, 1977	
0,45				0,20																			Heierli, 1985	
0,32				0,80	0,82																		Hoek, 1985	
~ 0				0,24																			Uroiuoli, 1988	
0,30	0,33			0,80	0,87																		Pfeiffer & Bowen, 1989	
0,30				0,70																			Giani, 1992, Barbirerei et al, 1988	
0,70																							Evans & Hungr, 1993	
0,12	0,20			0,65	0,95																		Jones et al., 2000	
0,20	0,40			0,2-	0,30															Bitki örtülü / Yumuşak zemin			Pitteau & Clayton, 1977	
0,30				0,80																			Hoek, 1987	
0,28	0,32			0,78	0,83																		Pfeiffer & Bowen, 1989	
0,25				0,55																			Giani, 1992, Barbirerei et al, 1988	
0,10	0,20			0,50	0,80																		Jones et al., 2000	
0,37	0,42			0,87	0,92															Sert yüzey kaplaması				
0,33	0,37			0,83	0,87															Anakaya ve az zemin veya bitki örtüsü içeren bloklar				
0,30	0,33			0,83	0,87															Az bitki örtüsü içeren moloz				
0,30	0,33			0,80	0,83															Biraz bitki örtüsü içeren moloz				
0,28	0,32			0,80	0,83															Az bitki örtüsü içeren yumuşak zemin şevi				
0,28	0,32			0,78	0,82															Bitki örtüsü ile kaplı zemin şevi				
		0,32	0,06			0,71	0,12													Kireçtaşı yüzeyi			(Russell, 2011) [164]	
		0,30	0,08			0,62	0,17													Yer yer bitki örtüsü kaplı kireçtaşı				
																				Yamaç molozu				
		0,32	0,06			0,71	0,12													Örtülmemiş kireçtaşı patlatma yığını				
		0,25	0,03			0,49	0,14													Bitki örtüsü kaplu kireçtaşı yığını				
		0,28	0,08			0,84	0,09													Tebeşir taşı yüzey				
		0,27	0,02			0,60	0,09													Bitki örtülü tabeşir taşı molozu				

		0,3837	0,1326			0,6865	0,1303												45° eğime sahip ahşap şev kontrol amaçlı olarak arazi deneylerinde kullanılmıştır.		
		0,20				0,53													Moloz çökelleri ve kayalık yüzeyler üzerindeki dolomitik kireçtaşı blokları.		
		0,10				0,20													Yar tabanında konumlanmış teraslardaki piroklastikler		
		0,00				0,24													Yar topuğundaki detritik fanlar üzerinde gerçekleşen çarpmalar.		
		0,393				0,567													Zemin		
		0,453				0,737													Püskürtme beton		
		0,487				0,91													Kaya şevi		
		0,50				0,95													Anakaya		
		0,35				0,85													Büyük bloklarla kaplı anakaya		
		0,30				0,7													Homojen dağılmış malzemeden oluşan çökel		
		0,25				0,55													Bitki örtüsü ile kaplı zemin		
		0,53				0,99													Temiz sert anakaya		
		0,40				0,90													Asfalt karayolu		
		0,35				0,85													Sert yüzeylere sahip anakaya mostraları, büyük bloklar		
		0,32				0,82													Moloz örtüsü		
		0,32				0,8													Bitki örtüsü içeren moloz örtüsü		
		0,30				0,8													Yumuşak zemin, biraz bitki örtüsü		
0,37	0,42																		Pürüzsüz sert yüzeyler ve kaplamalar		
0,33	0,37																		Birçok anakaya ve blok alanları		
0,30	0,33																		Moloz ve sıkı zemin şevleri		
0,28	0,30																		Yumuşak zemin şevleri		
				0,87	0,92														Kaplama gibi pürüzsüz sert yüzeyler veya pürüzsüz anakaya yüzeyleri	(Russell, 2011)	
				0,83	0,87														Birçok anakaya yüzeyi ve bitki örtüsüz moloz	[164]	
				0,82	0,85														Bodur bitki örtüsü ile kaplı birçok moloz şevi		
				0,80	0,83														Bitki örtüsü ile kaplı moloz şevleri ve seyrek bitki örtüsü ile kaplı zemin şevleri		
				0,78	0,82														Çalı kaplı zemin şevi		
		0,53	0,04			0,99	0,04												Temiz sert anakaya		
		0,35	0,04			0,85	0,04												Anakaya mostrası		
		0,32	0,04			0,82	0,04												Moloz örtüsü		
		0,32	0,04			0,80	0,04												Bitki örtüsü içeren moloz		
		0,40	0,04			0,90	0,04												Asfalt kaplama		
		0,53	0,04			0,99	0,04												Temiz sert anakaya		
		0,35	0,04			0,85	0,04												Anakaya mostrası		
		0,48	0,19			0,53	0,17												Püskürtme beton		
		0,47	0,30			0,55	0,23												Ayrışmış kaya		
		0,48	0			0,53	0												Beton		
		0,47	0			0,55	0												Ayrışmış kaya		
		0,85	0			0,53	0												Beton		
		1	0			0,55	0												Ayrışmış kaya		
		0,53	0,04			0,99	0,04												Anakaya		
		0,50	0,06			0,70	0,06												Bloklu alan		
		0,50	0,06			0,65	0,06												Küçük ağaçları ve çalıları içeren bloklu alan		
		0,50	0,06			0,50	0,06												Blockfield with forest		
		0,30	0,06			0,80	0,06												Bitki örtülü üst-toprak tabakası		
		0,40	0,04			0,90	0,04												Asfalt kaplama		
		0,35	0,04			0,85	0,04												Çakıl yol		

		0,50				0,80														Seyrek bitki örtüsü ve çok ince taneli, üzerlenen şistoz birimlerden türemiş malzeme ile kaplı kireçtaşı			(Russell, 2011) [164]	
		0,50				0,80														Modal tane boyu 5cm olan ve bazalt parçacıklarından oluşan çıplak yamaç molozu				
		0,70				0,90														Çıplak kaya üzerindeki metamorifk tüften oluşan dörtgensel bloklar ve dik, kar kaplı yüzey				
0,77	0,80																			İtalya'daki deneyimlerine dayandırılmaktadır.			Habib 1977	(Ashayer, 2007) [15]
0,50	0,60																			Norveç'teki deneyimlerine dayandırılmaktadır.				
0,80	0,90			0,65	0,75															Som kaya			Pitsau and Claton 1977	
0,50	0,80			0,45	0,65															Büyük kaya blokları ile karışmış detritik malzeme				
0,40	0,50			0,35	0,45															Küçük kaya blokları ile karışmış sıkıştırılmış detritik malzeme				
0,20	0,40			0,20	0,30															Ot kaplı şevler				
0,20	0,80			0,50	0,75															Kaya veya ahşap platform üzerinde kaya			Wu 1985	
		0,95								0,90										Kaya			Heiarli 1985	
		0,55								0,30										Çakıl tabakası (35cm)				
		0,45								0,20										Çakıl tabakası (70 cm)				
		0,45								0,20										Moloz				
														0,70						Şev eğimi 44°'de kaya			Bozziolo & Pamini 1986	
														0,55						Şev eğimi 57° moloz				
																	0,40	0,50		Üzüm bağı şevleri			Descouedres & Zimmermann 1987	
																	0,85	0,50		Kaya şevleri				
		0,53				0,99														Temiz sert anakaya			Hoek 1987	
		0,40				0,90														Asfalt karayolu				
		0,35				0,85														Sert yüzeylere, büyük bloklarak sahip anakaya mostrası				
		0,32				0,82														Moloz örtsüsü				
		0,32				0,80														Btki örtülü moloz örtüsü				
		0,30				0,80														Yumuşak zemin, biraz bitki örtüsü				
0,05	0,35			0,50	1															Kireçtaşına çarpan kaya bloğu			Urciuoli 1988	
0						0,24														Moloz fanı				
0,17	0,43			0,45	0,88															Kaya (Kireçtaşı)			Gerber 1995	
0,10	0,40					0,71														?			Ushiro & al. 2000	
0,37	0,42			0,87	0,92															Kaplama taşı gibi pürüzsüz, sert yüzey			Pfeiffer & Bowen 1989 (older versions of program CRSP)	
0,33	0,37			0,83	0,87															Az zemin veya bitki örtüsü içeren anakaya veya bloklar				
0,30	0,33			0,83	0,87															Az bitki örtüsü içeren moloz				
0,30	0,33			0,80	0,83															Biraz bitki örtüsü içeren moloz				
0,28	0,32			0,80	0,83															Az bitki örtüsü içeren yumuşak zemin şevi				
0,28	0,32			0,78	0,82															Bitki örtülü zemin şevi				
0,50						0,95														Anakaya			Giani 1992, Barbieriei & al. 199	
0,35						0,85														Büyük bloklarla kaplı anakaya				
0,30						0,70														Homojen dağılmış malzemeden oluşan çökel				
0,25						0,55														Bitki örtüsü ile kaplı zemin				
															0,75	0,90				Kaya (Kireçtaşı)			Azzoni &al. 1995	
															0,55	0,60				İnce köşeli taneli, moloz veya zemin (sıkıştırılmış)				
															0,35	0,45				İnce köşeli moloz veya zemin (yumuşak)				
															0,45	0,50				Orta büyüklükte köşeli taneli moloz ile köşeli kaya parçacıkları				
															0,40	0,50				Orta büyüklükte köşeli moloz ve dağılmış ağaçlar				
															0,55	0,70				Kalın köşeli moloz ve köşeli kaya parçacıkları				
															0,50	0,60				Ot ve biraz bitki örtüsü içeren toprak				
																	<0.2			Çamurlu hendek				
															0,50	0,65				Düz yüzey veya sıkıştırılmış zemin				
																	0,75			Karayolu				

0,10	0,35																				220kg'lık bir kayanın sert yüzeye düşey olarak çarpması			Kamijo 2000	(Ashayer, 2007) [15]
0,10																					800kg'lık bir kayanın sert yüzeye düşey olarak çarpması				
0,60	1			0,90	1																Pürüzsüz sert yüzey ve kaplama			Jones & al. 2000 (Values gathered by program calibration for CRSP 4.0)	
0,15	0,30			0,75	0,95																Anakaya ve blok alanları				
0,12	0,20			0,65	0,95																Moloz ve sıkı zemin şevleri				
0,10	0,20			0,50	0,80																Yumuşak zemin şevleri				
0,20				0,53																	Anakaya			Budetta & Santo 1994 (evaluated by program calibration)	
																					Ağaçlarla kaplı kaya şevi			Kobayashi etal. 1990	
																					Kaya				
																					Dağınık çalılar ve otlar ile birkaç blok				
																					Kaya				
		0,50				0,80															Seyrek bitki örtüsü ve çok ince taneli, üzerlenen şistoz birimlerden türemiş malzeme ile kaplı kireçtaşı			Hungr, O. and Evans, S.G. 198	
		0,50				0,80															Modal tane boyu 5cm olan ve bazalt parçacıklarından oluşan çıplak yamaç molozu üzerindeki kireçtaşı				
		0,70				0,90															Çıplak kaya üzerindeki metamorfik tüften oluşan dörtgensel bloklar ve dik, kar kaplı yüzey				
		0,32				0,71															Kireçtaşı yüzeyi			Robotham et al.	
		0,30				0,62															Yer yer bitki örtüsü ile kaplı kireçtaşı molozu				
		0,32				0,71															Örtülmemiş kireçtaşı patlatma yığını				
		0,25				0,49															Bitki örtüsü ile kaplı kireçtaşı yığını				
		0,28				0,84															Tebeşir taşı yüzeyi				
		0,27				0,60															Bitki örtülü tebeşir taşı molozu				
0,370	0,420			0,870	0,920																Sert yüzey kaplama				Rocfall 5.0 Referance Tables [91]
0,330	0,370			0,830	0,870																Az zemin veya bitki örtüsü içeren anakaya veya bloklar	Önceki kaya düşmelerinin şekil ve boyutlarına benzer temsili kaya düşmeleri kullanılarak denenmiştir.	Glenwood Kanyonu, Colorado, USA	Pfeiffer, T.J., and Bowen, T.D., "Computer Simulation of Rockfalls." Bulletin of Association of Engineering Geologists. Vol. 26, No. 1, 1989, pp135-146	
0,300	0,330			0,830	0,870																Az bitki örtülü moloz				
0,300	0,330			0,800	0,830																Biraz bitki örtülü moloz				
0,280	0,320			0,800	0,830																Az bitki örtülü yumuşak zemin şevi.				
0,280	0,320			0,780	0,820																Bitki örtüsü kaplı zemin şevi				
		0,315	0,064			0,712	0,116														Kireçtaşı yüzeyi	Patlama sonucu oluşmuş kaya parçacıklarından, kısmen bitki örtüsü ile kaplı palyelerdeki molozlardan, çıplak patlatma yığınlarından ve bitki örtüsü kaplı taşocağı pasasından oluşan dört farklı malzemeyi içeren şevlerde denenmiştir.	İngiltere'deki kireçtaşı ocağı	Robotham, M.E., and Wang, H., and Walton, G., "Assessment of risk from rockfall from active and abandoned quarry slopes."Institution of mining and Metallurgy, Section A, 1995.104(Jan-April), pp A25-A33	
		0,303	0,080			0,615	0,170														Yer yer bitki örtüsü ile kaplı kireçtaşı yığını				
		0,315	0,064			0,712	0,116														Çıplak kireçtaşı patlatma yığını				
		0,251	0,029			0,489	0,141														Bitki örtüsü ile kaplı kireçtaşı yığını				
		0,276	0,079			0,835	0,087														Tebeşir yüzeyi		İngiltere'deki tebeşir taşı ocağı		
		0,271	0,018			0,596	0,085														Bitki örtülü tebeşer taşı molozu				
		0,384	0,133			0,687	0,130														45° eğime sahip ahşap şev kontrol amaçlı olarak arazi deneylerinde kullanılmıştır.	Kontrol değişkenleri olarak denenmişlerdir.	Interstate 40 için Batı Kuzey Carolina	Wu, Shie-Shin "Rockfall evaluation by computer simulation" Transportation Research Records. Vol. 1031 pp.1-5, 1985	
		0,200				0,530															Moloz çökelleri ve kayalık yüzeyler üzerindeki dolomitik kireçtaşı blokları	Dolomitik kireçtaşı bloklarının kayalık yüzeyler ve heyelan fanlarındaki moloz çökelleri üzerinde elle atılması veya patlayıcılar kullanılarak serbest düşürülmelerini kapsamaktadır. Ayrıca Urciuoli tarafından yapılan geri-analizler ve veriler kullanılmıştır.	Atrani, Campania, Kuzey İtalya	Budetta, P., and Santo, A. "Morphostructural evolution and related kinematics of rockfalls in Campania(southern Italy)." Engineering Geology. Vol.36 pp197-210.	
		0,100				0,200															Moloz çökelleri ve kayalık yüzeyler üzerindeki dolomitik kireçtaşı blokları				
		0,000				0,240															Yar topuğundaki detritik fanlar üzerinde gerçekleşen çarpmalar.				
		0,393				0,567															Zemin	Şevlere köşeli, kenarı 3 ile 5m arasında değişen küboid granit bloklarının düşürülmesiyle denenmiştir.	Hong Kong	Chau, K.T., and Wong, R.H.C., and Lee, C.F. "Rockfall Problems in Hong Kong and some new experimental results for coefficients of Restitution" International Journal of rock mechanics and mining sciences and geomechanics. Vol. 35, Section 4-5, 1996. pp662-663	
		0,453				0,737															Püskürtme beton				
		0,487				0,910															Kaya şevi				

		0,500				0,950															Anakaya	Barbieri vd. tarafından yürütülen deneylere dayanmaktadır.	Castellammare di Stabia'daki(Sorrentine Yarımadası'nın kuzey şevleri) Italcementi işleri ve Atrani Bölgesi	Giani, G.P. "Rock Slope Stability Analysis" Rotterdam, Balkema 1992.	Rocfall 5.0 Referance Tables [91]
		0,350				0,850															Büyük bloklarla kaplı anakaya				
		0,300				0,700															Homojen dağılmış malzemeden oluşan çökel				
		0,250				0,550															Bitki örtüsü ile kaplı zemin				
		0,530				0,990															Temiz sert kaya			Hoek, Evert, "Unpublished notes" NSERC Industrial Research Professor of Rock Engineering, Department of Civil Engineering, University of Toronto, St George Street, Toronto, Ontario, Canada M5S 1A4	
		0,400				0,900															Asfalt karayolu				
		0,350				0,850															Sert yüzeyler ve büyük bloklar içeren anakaya mostrası				
		0,320				0,820															Moloz örtüsü				
		0,320				0,800															Bitki örtülü moloz örtüsü				
		0,300				0,800															Yumuşak zemin, biraz bitki örtüsü				
0,370	0,420																				Pürüzsüz sert yüzeyler ve kaplama	Gözlemlere ve literatür araştırmalarına dayanmaktadır.	Colorado, USA	Pfeiffer, T.J., and Higgens, J.D., "Rockfall Hazard Analysis Using the Colorado Rockfall Simulation." Transportation Research Record 1288, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1990, pp117-126. [15]	
0,330	0,370																				Birçok anakaya ve blok alanı				
0,300	0,330																				Moloz ve sıkı zemin şevleri				
0,280	0,300																				Yumuşak zemin şevleri				
				0,870	0,920																Kaplama gibi pürüzsüz sert yüzeyler veya prüzsüz anakaya yüzeyleri				
				0,830	0,870																Bitki örtüsüz moloz içeren birçok anakaya yüzeyi				

EK 2

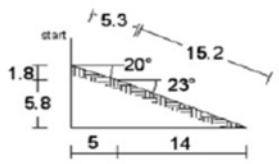
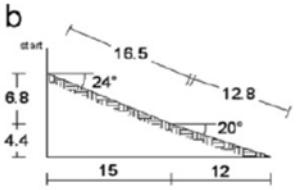
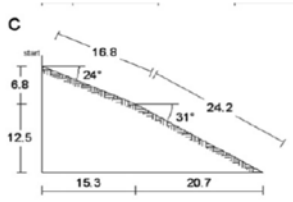
LİTERATÜRDE TANIMLI, YAPILMIŞ DENEYSEL ÇALIŞMALAR

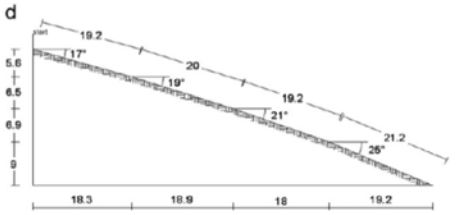
Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	
(Şaraldı, 2015) [165]	3	Arazi Deneyleri			15		50							Ağırlıkları 15, 18, 20kg olan ...blokları sırasıyla 50m, 18m ve 20m yükseklikten bırakılarak çalışma alanındaki sıçrama yüzeylerine ait geri sıçrama katsayıları geri analiz yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir.
					18		38							
					20		77							
(Ashayer, 2007) [15]	11250	Arazi Deneyleri	0.3 (yarıçap) x 100 adet, 0.6 (yarıçap) x 75 adet, 0.9 (yarıçap) x 75 adet Her şev ve yakalama bölgesi birleşimi için				12.2		90				0	Pierson vd. (2001)'de sunulan Oregon Department of Transport için yapılan deneylerdir. CRSP'nin geliştirilmesi için kullanılmıştır. Yarıçapları 0.3m , 0.6m ve 0.9m arasında değişen bloklar yükseklikleri 12.2m, 18.3m ve 24.4m arasında değişen ve şev oranları her şev yüksekliği için sırasıyla 0.25D/1Y, 0.50D/1Y, 0.75D/1Y ve 1Y:1D değerlerini alan geometrideki şevlerden yakalama bölgesi geometrisi yatay, 6Y:1D ve 4Y:1D şev oranlarına sahip olacak şev içine eğimli yüzeylere sahip deney bölgelerinde toplam 11250 adet deney yapılarak blokların yayılma mesafeleri ve çarpışma mesafeleri kayıt altına alınarak incelenmiştir.
												6:1		
												04:01		
								0.25:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.50:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.75:1					0	
												6:1		
												04:01		
								1:1					0	
												6:1		
												04:01		
							18.3		90				0	
												6:1		
												04:01		
								0.25:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.50:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.75:1					0	
												6:1		
												04:01		
								1:1					0	
												6:1		
												04:01		
							24.4		90				0	
												6:1		
												04:01		
								0.25:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.50:1					0	
												6:1		
												04:01		
								0.75:1					0	
												6:1		
												04:01		
								1:1					0	
												6:1		
												04:01		

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar	
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi			
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})		
(Wang, Y., 2009) [166]	63	Arazi Deneyleri					150		52	1	7			Deney Adı: California Rockfall Test (Guadalupe Valley Quarry) Kesit F-F'	Şev yüzeyi, taze kumtaşı, ayrışmış kumtaşı, yamaç molozundan oluşan; toplam şev eğimleri 52 derece olan iki adet şevde birinci şevde şevin 104. ve 150. metresinden, ikinci şevde ise şevin 150.metresinden bırakılan toplam 63 adet bloğun yayılma mesafeleri ve parçalanma miktarları incelenmiştir.
							104		52	1	3				
							155		52	1	2			Deney Adı: California Rockfall Test - Kesit G-G'	
	60	Arazi Deneyleri	0.2-0.3			Mermer, Kuvarsit, Skarn								Deney Adı: Rossing Drop Test	Normal geri sıçrama katsayılarının belirlenmesi için boyutları 0.20m ile 0.30m arasında değişen mermer, kuvarsit ve skarndan oluşan 60 adet blok 9.6m yükseklikten serbest düşme hareketi yapacak şekilde belirli özellikteki yüzeyler üzerine bırakılmıştır.
(Cybulski, 2014) [167]	40	Arazi Deneyleri	8*6*6 cm		848.40 g		1.4							Deney Adı: (Newmont, 2013)	Normal geri sıçrama katsayılarının çalışma sahası içerisinde belirlenen açık işletmeye ait "sert yüzey", "servis yolu", "ocak tabanı", "yakalama seddesi" adlı yüzeyleri için tespiti için yanda sunulan özelliklere sahip bloklar her yüzey üzerinde sıçrayacak şekilde 1.4m yükseklikten bırakılarak sıçrama yükseklikleri kayıt altına alınmıştır.
			7*6*6 cm		563.60 g										
			10*11*8 cm		1462.20 g										
			6*6*5 cm		349.60 g										
			7*7*7 cm		725.20 g										
			7*8*8 cm		900.90 g										
			6*7*6 cm		487.70 g										
			11*10*9 cm		2078.00 g										
			8*7*6 cm		500.40 g										
			8*6*5 cm		534.70 g										
	27	Arazi Deneyleri	22*75*30 cm		118.8 g									Deney Adı: (Newmont, 2013)	Açık işletme içerisindeki 3 farklı lokasyondan belirli geometriye sahip bloklar bırakılarak düşüs sırasında yaptıkları hareketler sıçrama yüksekliklerinin, yayılma mesafelerinin ve blok hızlarının tespit edilmesi için kayıt altına alınmıştır.
			35*35*45 cm		132.3 g										
			45*50*37 cm		199.8 g										
			47*30*12 cm		40.61 g										
			25*28*27 cm		45.36 g										
			32*27*23 cm		47.69 g										
			60*26*18 cm		67.39 g										
			35*27*30 cm		68.04 g										
			29*32*36 cm		80.18 g										

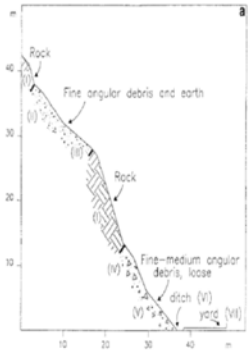
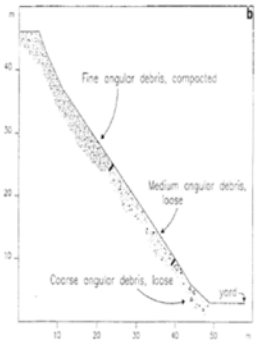
Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar	
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi			
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})		
(Bourrier vd., 2009) [118]	100	Arazi Deneyleri												Doğrulama için yapılan 100 adet deneyin yeterli olmadığı ve 10 yıllık bir sürede değerlendirildiği belirtilmektedir.	Ortalama hacmi 0.15m^3 standart sapma ile 0.8m^3 olan 100 adet blok sırayla yüksekliği 1200m ile 1400m arasında değişen, 100m genişliğindeki ve 570m uzunluğundaki doğal bir yamaçtan bırakılarak blokların yaptıkları hareketler izledikleri yörüngelerin ve ötelenme hızlarının belirlenmesi amacıyla orman içerisinde kurulmuş 5 kameradan oluşan bir görüntüleme sistemi ile kayıt altına alınmıştır.
(Ansari vd., 2015) [138]	160	Laboratuvar Deneyleri	1.5, 2.0, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0 cm çaplı numuneler	küre		Bazalt, Granit, Kumtaşı, Kireçtaşı, Mermer, Fillit, Kuvarsit, Çelik			10, 20, 40, 55					(Rayudu, 1997) ve Richards vd. (2001)'deki geri sıçrama katsayısı değerlerinin karşılaştırılması için her litolojik örneğe en az 20 deney gelecek şekilde çalışma yürütülmüştür.	Bazalt, granit, kumtaşı, kireçtaşı, mermer, fillit, kuvarsit ve çelikten yapılmış 1.5, 2.0., 2.5., 3.0, 3.5, 4.0. 4.5, 5.0cm çaplı küresel numuneler aynı malzemelerden yapılmış levhalar üzerine 1.0m yükseklikten bırakılarak sıçrama yükseklikleri ölçülerek ilgili malzemelere ait normal geri sıçrama değerlerinin değişimi levhanın eğimi dikkate alınarak incelenmiştir.
(Durda vd., 2011) [168]	180		1.0m çaplı	küre		Granit								COR hesaplamaları için yapılan deneylerden 90 tanesi kafa kafaya çarpışma olduğundan bunlar değerlendirilmiştir. Vinçten sarkıtılan iki adet küre çarpıştırılmıştır.	Granitten yapılmış 1.0m yarıçaplı küreler çarpıştırılarak geri sıçrama katsayıları deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır.
(Preh vd., 2015) [169]	Avusturya 589 Kanada 34	Arazi Deneyleri			Avusturya 0.002 - 44.0 ton Kanada 0.03 - 3.04 ton		9 - 75		53 - 73					Avusturya'daki 9 adet ve Kanada'daki 1 adet çalışma sahasında bulunan yükseklikleri 9m ile 75m arasında, ortalama şev açıları 53^0 ile 73^0 arasında değişen 14 farklı taş ocağı yüzeyinde Avusturya'da ağırlıkları 2.0 ton ile 44.0 ton arasında değişen, Kanada'da ağırlıkları 0.03 ton ile 3.04 ton arasında değişen bloklar bırakılarak yapılan deneylerde blokların izledikleri yörüngeler, yayılma mesafeleri ve çarpma mesafeleri incelenmiştir.	

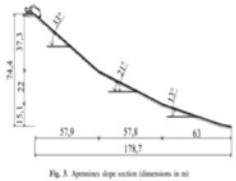
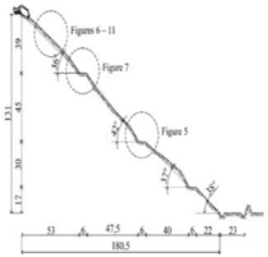
Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	
(Chau vd., 2002) [170]		Laboratuvar Deneyleri	6.0cm çap	küre	153.64 g	Dental alçı ve su ($m_{alçı}/m_{su}$=0.50)			10, 20, 30, 40, 50, 60, 70					Dental alçı ve su karışımından yapılmış sırasıyla 6cm, 6cm ve 1.8cm çaplı 204.33g, 153.64g ve 6.05g ağırlığa sahip küreler aynı malzemeden yapılmış levha üzerine sabit yükseklikten bırakılarak geri sıçrama katsayılarının levhanın eğimine bağlı olarak aldığı değerler incelenmiştir.
			6.0cm çap	küre	204.33 g	Dental alçı ve su ($m_{alçı}/m_{su}$=0.30)								
			1.8cm çap	küre	6.05 g	Dental alçı ve su ($m_{alçı}/m_{su}$=0.30)								
(Giacomini vd., 2009) [171]	20	Arazi Deneyleri			1.18 t	Ortognays	10							Belirli ağırlıklara sahip ortognays ve granitik ortognays blokları farklı yüksekliklerden bırakılarak blokların çarpma sonucu parçalanma özellikleri incelenmiştir.
					1.68 t		10							
					1.84 t		10							
					2.66 t		10							
					2.68 t		10							
					1.01 t		20							
					2.26 t		20							
					3.00 t		20							
					1.20 t		30							
					1.13 t		40							
					1.58 t	Granitik Ortognays	10							
					1.91 t		10							
					2.46 t		10							
					2.13 t		10							
					2.13 t		10							
					1.99 t		10							
					2.43 t		20							
					2.18 t		20							
					1.15 t		30							
					2.29 t		40							

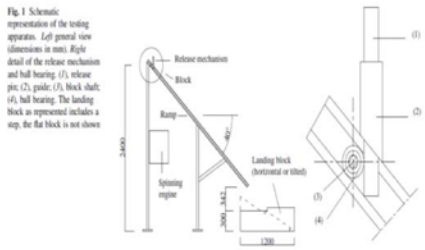
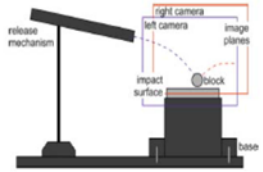
Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	
(Spadari vd., 2012) [149]	93	Arazi Deneyleri			85 85 85 85 85 113 56 56 172 27 27 27 27 60 60 82 81 81 81 81 42 42	Alkali-Bazalt	7.6		20-22.5	a 				
					131 59 47 36 36 145 43 36 36 36 24 70 70 20 21 21 37 109 24	Alkali-Bazalt	11.2		24.5-20	b 				
					72 60 76 62 66 129 29 57 57 24 116 196 160	Konglomera	19.3		24-31	c 				Avusturalya'daki farklı geometrilere sahip dört farklı doğal şev üzerinde yapılan çalışmada alkali bazalt, konglomera, litik kumtaşından oluşan farklı ağırlıklara sahip blokların şev aşağı hareketleri kayıt altına alınarak geri sıçrama katsayıları, bloğun yuvarlanmaya karşı direncini ifade eden yuvarlanma katsayısı değerleri incelenmiştir.

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	
(Spadari vd., 2012) (devam) [149]	93 (devam)	Arazi Deneyleri (devam)			84 187 101 22 39 100 44 75 19 19 12 5 73 106 85 45 50 162 18 26 97 375 58 212 22 25 47 76 26 294 140 34 31 62 97 14 47 39 30 24	Litik Kumtaşı	28		17-25	d 		

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	
(Asteriou vd., 2012) [141]	10	Laboratuvar Deneyleri	kenarı 2.06cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	19.9g	Mermer	0.85							Kumtaşı, mermer, kireçtaşı, şist ve marndan yapılmış kenar uzunluğu belirli köşeleri ile kenarları yuvarlatılmış küp şekilli numuneler aynı malzemelerden yapılmış 15cm X 15cm X 5cm boyutlarındaki levhalar üzerinde belirli yüksekliklerden serbest bırakılarak geri sıçrama katsayıları, çarpma hızları belirlenmiş ve levhanın eğiminin geri sıçrama katsayıları ile etkileşimi incelenmiştir.
	13		kenarı 2.66cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	42.5g		0.85							
	8		kenarı 3.13cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	70.3g		0.85							
	12		kenarı 2.08cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	20.6g		0.63							
	13		kenarı 2.08cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	20.6g		1.35							
	10		kenarı 2.06cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	19.9g	Mermer	0.85							
	8		kenarı 2.01cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	17.5g	Şist	0.85							
	10		kenarı 2.07cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	20.3g	Kumtaşı	0.89							
	8		kenarı 2.11cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	21.4g	Kireçtaşı	0.89							
	8		kenarı 2.05cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	16.5g	Marn	0.89							
	8		kenarı 2.06cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	19.9g	Mermer	0.44		0					
	8								15					
	5								30					
	5								45					
	10		kenarı 2.07cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	20.3g	Kumtaşı	0.44		0					
	10								15					
	12								30					
	6								45					
	6		kenarı 2.05cm	köşeleri yuvarlatılmış küp	16.5g	Marn	0.44		0					
	9								15					
	4								30					
	11								45					
	16	Arazi Deneyleri	Laboratuvar numunelerine benzer özellikte arazide şekillendirilen çalışma sahasında toplanan bloklar kullanılmıştır			Mermer		3/7	≈30					Laboratuvar deney sonuçlarını doğrulamak için Yunanistan'daki Attika Dağın'da konumlanmış bir antik taş ocağında çalışma sahası içerisinden toplanarak laboratuvar numunelerine benzer şekilde boyutlandırılıp şekillendirilen numuneler kullanılarak arazi çalışmaları yürütülmüştür.

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	
(Giacomini vd., 2012) [171]	6	Arazi Deneyleri	EOTA tarafından yayınlanan ETAG 027(2013) içerisinde belirtilen şekil ve boyutlarda		45	Beton								EOTA'nın tanımlamalarına uygun belirli ağırlığa sahip beton ve kumtaşı bloklar kullanılarak tel ağ uygulaması yapılmış ve yapılmamış iki farklı çalışma sahasında yapılan arazi çalışmalarında kaya düşmesi önleme sisteminin verimi ile blokların her iki çalışma sahasındaki hareketleri incelenmiştir. Yapılan deneylerde ötelenme hızlar, açısal hızlar ve blok konumları ölçülmüştür.
	4				45	Beton								
	3				45	Beton								
	1				194	Kumtaşı								
	1				157.5	Kumtaşı								
(Azzoni ve Freitas, 1995) [143]		Arazi Deneyleri	0.1m^3 ile 2.0m^3				≈45	≈4/3	ortalama şev eğimi = 50 (şev kısımlarının eğimleri 30 ile 60 arasında değişmektedir)					Yuvarlanma sürtünme katsayısının ve enerji geri sıçrama katsaysının belirlenmesi için belirli geometriye sahip doğal şevler üzerinden hacimleri 0.1m^3 ile 2.0m^3 arasında değişen bloklar ekskavatör yardımı ile bırakılarak arazi deneyleri yapılmıştır.
							≈40	≈3/2	ortalama şev eğimi = 40					

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	
(Topal vd., 2007) [172]	27	Arazi Deneyleri			30-100	Andesite								Ağırlıkları 30kg ile 100kg arasında değişen trakitik andezit blokları kullanılarak yapılan arazi deneyleri kullanılarak geri analizler yapılmış ve sıçrama yüzeylerine ait değişkenler yapılan geri analizler sonucu belirlenmiştir.
(Giani vd., 2004) [173]	43	Arazi Deneyleri	0.01-0.6m^3 (apennines)			ofiyolit								Belirli geometriye sahip iki farklı doğal şev üzerinde sırasıyla hacimleri 0.01m^3 ile 0.60m^3 arasında değişen 43 adet ve 0.1m^3 ile 4.5 m^3 arasında değişen 40 adet blok kullanılarak yürütülen arazi çalışmasında kinematik normal ile teğet sıçrama katsayısı ve yuvarlanma katsayısı incelenmiştir.
	40		0.1-4.5m3 (alpine)											

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (°)	
(Buzzi vd., 2012) [147]	183	Laboratuvar Deneyleri	196mm çap	Disk	42.7	Demir Donatılı Beton	 Fig. 1 Schematic representation of the testing apparatus. *Left* general view (dimensions in mm). *Right* detail of the release mechanism and ball bearing. (*1*), release pin; (*2*), guide; (*3*), block shaft; (*4*), ball bearing. The landing block as represented includes a step, the flat block is not shown							15, 40	Disk, kare, beşgen ve elips şekilli boyutları belirli demir donatılı beton kullanılarak hazırlanmış numuneler ayrıntısı sunulan deney düzeneği kullanılarak yüksek geri sıçrama katsayılarının ortaya çıkmasını sağlayan etmenler araştırılmıştır. Araştırmada şekil ve açısal hız etkisi dikkate alınmıştır.
			347mm kenarı	Kare	45.8									
			265mm kenarı	Beşgen	43.9									
			294mm uzun eksen / 196mm kısa eksen	Elips	39.1									
(Asteriou ve Tsiambaos, 2015) [150]	75	Laboratuvar Deneyleri	kenarı 3cm, yarıçapı 2cm	Küp, Küre		Çimento Harcı			0	 Fig. 4 Experimental apparatus					Çimento harcı kullanılarak hazırlanan kenarları 3cm uzunluğundaki küp ve yarıçapı 2cm uzunluğundaki küre şekilli numuneler açısı ve yüksekliği ayarlanabilir bir tüpten oluşan salma düzeneğinden rastlantısal açısal hızlarla çıkarak 5cm yüksekliğinde ve 15cm genişliğindeki levhaya çarpmaktadır. Bloğun levhanın eğim yönüne paralel ve levhanın eğim yönü ile belirli bir açı yapacak şekilde salındığı durumlarda yaptığı sıçrama hareketi incelenmiş ve kinematik geri sıçrama katsayılarına etkiyen etmenler araştırılmıştır.
	184								13.5					
	206								24					
	125								43.5					
(Kim vd., 2015) [174]	10	Arazi Deneyleri					≈20							Wang vd.(2003) tarafından tanımlanmış şekil indeksi değerlerine sahip 10 adet farklı bloğun yörünge yönelimleri, yüzey üzerinde sıçrama sayısı ve şev tabanına varış süreleri incelenmiştir.

Atıf Tarih	Yapılan Deney Deney Adedi	Deney Türü	Blok Özellikleri				Deney Sahası / Düzeneği Geometrisi							Açıklamalar
							Şev Geometrisi					Yakalama Bölgesi Geometrisi		
			Boyut (m)	Şekil	Ağırlık (kg)	Litoloji	Yükseklik (m)	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	Palye Genişliği (m)	Palye Adedi	Şev Oranı (H/V)	Şev Açısı (^{0})	
(Li, L., 2012) [148]	54	Laboratuvar Deneyleri		Levha, Şerit		%40 su muhtevasına sahip olarak hazırlanan jips harcı		0.60, 0.75, 1.00	15, 20, 30					Detayı sunulan deney düzeneği ve iki farklı şekilde hazırlanmış %40 su muhtevasına sahip jipsten hazırlanmış numuneler kullanılarak yapılan çalışmada çarpma açısı, bırakma açısı, şev eğimi, kinematik geri sıçrama katsayısı, sönümlenen kinetik enerji miktarları ve bu değişkenlerin birbirleri ile ilişkileri incelenmiştir.
(Arpaz, 2015) [175]	25	Laboratuvar Deneyleri	çap 6mm	Küre	2.5g		0.5							Detayı sunulan deney düzeneği kullanılarak 6mm çaplı ve 2.5g ağırlığındaki çelik küre 50cm yükseklikten bırakılarak 25 farklı granit tipi kullanılarak belirli boyutlarda hazırlanmış levhalar üzerinde yaptığı sıçrama sayıları ve sıçramalar arasındaki uçuş süreleri incelenerek geri sıçrama katsayıları hesaplanmıştır.

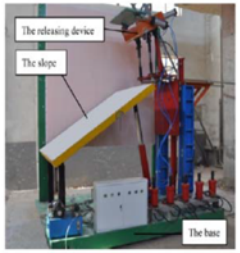
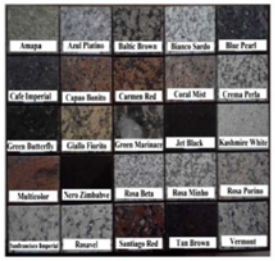
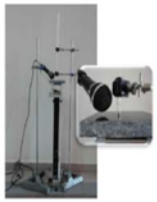
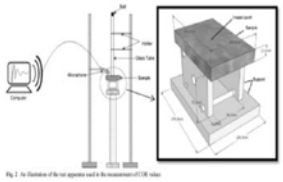


Fig. 4. A Model of the Rockfall Testing System







EK 3

SEÇİLMİŞ MATEMATİK KONULARI

1. Giriş

Bu bölümde tez konusu hakkında verilen bilgilerin anlaşılmasını kolaylaştıracak seçilmiş matematik konuları hakkında özet bilgiler sunulacaktır. .

1.1. Vektörel ve Sayıl Nicelikler

Bu bölümde vektörel ve sayıl nicelikler hakkında bilgiler verilmektedir.

1.1.1. Sayıl (Skaler) Nicelikler

Tanım: Büyüklükleri bulunan niceliklerdir

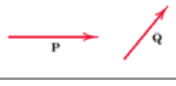
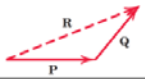
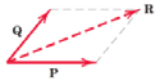
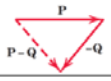
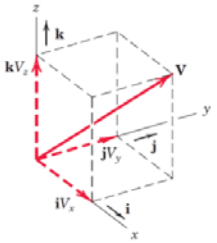
Örnek: Zaman, hacim, yoğunluk, enerji

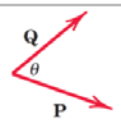
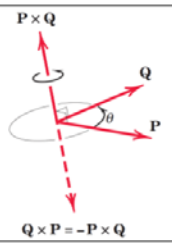
1.1.2. Vektörel Nicelikler

Tanım: Doğrultuları, büyüklükleri olan niceliklerdir.

Örnek: Yer değiştirme, hız, ivme, kuvvet, moment, momentum

Tablo 1.1: Vektörel niceliklere ait tanımlar, özellikler ve vektörel nicelikler kullanılarak yapılabilen işlemler (Meriam vd., 2012b, sf:674-677'den değiştirilerek alınmıştır).

Gösterim:.	Tez metni içerisinde vektörel nicelikler kalın puntolar ile gösterilmektedir. "***V***" vektörü "*V*" sayıl büyüklüğüne sahip bir vektördür	
Toplama İşlemi	Üçgensel Toplam: $\boldsymbol{P}+\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{R}$	
	Parallelkenar Toplamı: $\boldsymbol{P}+\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{R}$	
	Değişme Kanunu: $\boldsymbol{P}+\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{P}$	
	Birleşme Kanunu: : $\boldsymbol{P}+(\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{R})=(\boldsymbol{P}+\boldsymbol{Q})+\boldsymbol{P}$	
Çıkarma İşlemi	$\boldsymbol{P}-\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{P}+(-\boldsymbol{Q})$	
Birim Vektörler	***i, j, k*** *birim vektörler olmak üzere:* $\boldsymbol{V}=V_x\boldsymbol{i}+V_y\boldsymbol{j}+V_z\boldsymbol{k}$ $\lvert\boldsymbol{V}\rvert=V=\sqrt{{V_x}^2+{V_y}^2+{V_z}^2}$	
Doğrultu Kosinüsü	Sırasıyla *l*, *m* ve *n* değerleri **V** vektörü ile koordinat sisteminin x, y, z eksenleri arasındaki açıların kosinüsleridir. $l=\frac{V_x}{V}\qquad m=\frac{V_y}{V}\qquad n=\frac{V_z}{V}$ $\boldsymbol{V}=V(l\boldsymbol{i}+m\boldsymbol{j}+n\boldsymbol{k})$ $l^2+m^2+n^2=1$	

<table>
<tr><td rowspan="9">Sayıl Çarpım</td><td>$$\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}=PQ\cos\theta$$</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Değişme Kanunu: $\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}=\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{P}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{k}=1$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{j}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{i}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\cdot\boldsymbol{k}=\boldsymbol{k}\cdot\boldsymbol{j}=0$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}&=(P_x\boldsymbol{i}+P_y\boldsymbol{j}+P_z\boldsymbol{k})\cdot(Q_x\boldsymbol{i}+Q_y\boldsymbol{j}+Q_z\boldsymbol{k})\\&=P_xQ_x+P_yQ_y+P_zQ_z\\\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{P}&={P_x}^2+{P_y}^2+{P_z}^2\end{aligned}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\boldsymbol{P}\perp\boldsymbol{Q}\Rightarrow\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}=0$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\cos\theta=\frac{\boldsymbol{P_1}\cdot\boldsymbol{P_2}}{P_1P_2}=\frac{P_{1_x}P_{2_x}+P_{1_y}P_{2_y}+P_{1_z}P_{2_z}}{P_1P_2}=l_1l_2+m_1m_2+n_1n_2$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$l_1l_2+m_1m_2+n_1n_2=0\Rightarrow\boldsymbol{P_1}\perp\boldsymbol{P_2}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Birleşme Kanunu: $\boldsymbol{P}\cdot(\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{R})=\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{R}$</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Vektörel Çarpım</td><td colspan="2">P ve Q vektörlerinin çarpımı yönü sağ el kuralına göre belirlenen ve büyüklüğü aşağıdaki eşitlik kullanılarak tespit edilen bir vektördür:
$$|\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}|=PQ\ \sin\theta$$
$$\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}=-\boldsymbol{Q}\times\boldsymbol{P}$$
 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sağ el kuralına uyan kartezyen koordinat sistemi içerisinde aşağıdaki eşitlikler geçerlidir:
$$\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\quad\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{k}=\boldsymbol{i}\quad\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}$$
$$\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{i}=-\boldsymbol{k}\quad\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{j}=-\boldsymbol{i}\quad\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{k}=-\boldsymbol{j}$$
$$\boldsymbol{i}\times\boldsymbol{i}=\boldsymbol{j}\times\boldsymbol{j}=\boldsymbol{k}\times\boldsymbol{k}=0$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Birleşme Kanunu: $\boldsymbol{P}\times(\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{R})=\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}+\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{R}$</td></tr>
<tr><td colspan="2">$$\begin{aligned}\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}&=(P_x\boldsymbol{i}+P_y\boldsymbol{j}+P_z\boldsymbol{k})\times(Q_x\boldsymbol{i}+Q_y\boldsymbol{j}+Q_z\boldsymbol{k})\\&=(P_yQ_z-P_zQ_y)\boldsymbol{i}+(P_zQ_x-P_xQ_z)\boldsymbol{j}+(P_xQ_y-P_yQ_x)\boldsymbol{k}\end{aligned}$$
$$\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}=\begin{vmatrix}\boldsymbol{i}&\boldsymbol{j}&\boldsymbol{k}\\P_x&P_y&P_z\\Q_x&Q_y&Q_z\end{vmatrix}$$</td></tr>
<tr><td>Ek İlişkiler</td><td colspan="2">Üçlü Sayıl Çarpım: $(\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q})\cdot\boldsymbol{R}=\boldsymbol{P}\cdot(\boldsymbol{Q}\times\boldsymbol{R})$
$$\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{R}=\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q}\times\boldsymbol{R}$$
$$\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q}\cdot\boldsymbol{R}=\begin{vmatrix}P_x&P_y&P_z\\Q_x&Q_y&Q_z\\R_x&R_y&R_z\end{vmatrix}$$</td></tr>
<tr><td colspan="2">Üçlü Vektörel Çarpım:
$$(\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q})\times\boldsymbol{R}=-\boldsymbol{R}\times(\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q})=\boldsymbol{R}\times(\boldsymbol{Q}\times\boldsymbol{P})$$
$$(\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q})\times\boldsymbol{R}=\boldsymbol{R}\cdot\boldsymbol{PQ}-\boldsymbol{R}\cdot\boldsymbol{QP}$$
$$\boldsymbol{P}\times(\boldsymbol{Q}\times\boldsymbol{R})=\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{RQ}-\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{QR}$$</td></tr>
</table>

Vektörlerin Türevleri	Sayıl niceliklerin integrasyonunda kullanılan esaslar geçerlidir. $$\frac{d\boldsymbol{P}}{dt} = \dot{\boldsymbol{P}} = \dot{P}_x\boldsymbol{i} + \dot{P}_y\boldsymbol{j} + \dot{P}_z\boldsymbol{k}$$ $$\frac{d(\boldsymbol{P}u)}{dt} = \boldsymbol{P}\dot{u} + \dot{\boldsymbol{P}}u$$ $$\frac{d(\boldsymbol{P}\cdot\boldsymbol{Q})}{dt} = \boldsymbol{P}\cdot\dot{\boldsymbol{Q}} + \dot{\boldsymbol{P}}\cdot\boldsymbol{Q}$$ $$\frac{d(\boldsymbol{P}\times\boldsymbol{Q})}{dt} = \boldsymbol{P}\times\dot{\boldsymbol{Q}} + \dot{\boldsymbol{P}}\times\boldsymbol{Q}$$
Vektörlerin İntegrasyonu	Eğer ***V*** x,y ve z'nin bir fonksiyonu ve hacmin sonsuz küçüklükteki elemanı $d\tau = dx\ dy\ dz$ ise ***V*** vektörünün hacimsel integrali üç ayrı bileşeninin vektörel toplamına eşittir. $$\int \boldsymbol{V}\,d\tau = \boldsymbol{i}\int V_x\,d\tau + \boldsymbol{j}\int V_y\,d\tau + \boldsymbol{k}\int V_z\,d\tau$$

Tablo 1.2: Vektör türleri (Meriam vd., 2012b, sf:5)

Vektör Türleri	
Adı	***Tanım***
Serbest Vektör	Etkileri uzay içerisindeki herhangi bir doğru ile ilişkilendirilmemiş veya sınırlanmamış vektörlerdir. Uzayda herhangi bir konuma taşınabilirler. Örnek: Uzayda dönme hareketi yapmayan sadece ötelenme hareketi yapan hareketli bir cismin herhangi bir noktasının yaptığı hareket bir vektördür. Bu vektör cismin içerisindeki diğer tüm noktaların yaptığı hareketi büyüklük ve yön cinsinden eşit şekilde tanımlamaktadır. Bu nedenle cismin uzayda yaptığı hareket bir serbest vektör ile ifade edilebilmektedir.
Kayan Vektör	Uzayda tekil bir doğru üzerinde etkiyen fakat etki noktası değişiklik gösterebilen vektörlerdir. Uzayda etki doğrusu üzerinde herhangi bir noktaya taşınabilir. Örnek: Rijit cisme etkiyen bir dış kuvvet yönünü değiştirmeden rijit cismin herhangi bir noktasına cismin üzerindeki etkisini değiştirmeden uygulanabilir.
Sabit Vektör	Tekil etki noktasına sahip yönü değişmeyen vektörlerdir. Örnek: Şekil değiştirebilen veya rijit olmayan cisimlere etkiyen kuvvetler.

EK 4

220 NUMARALI UÇUŞ HATTINA AİT KALİTE RAPORU

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.2.26

Important: Click on the different icons for:

Help to analyze the results in the Quality Report

Additional information about the sections

Click here for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	220
Processed	2018-04-30 12:48:00
Camera Model Name(s)	S.O.D.A_10.6_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.52 cm / 1.39 in
Area Covered	0.695 km^2 / 69.5076 ha / 0.27 sq. mi. / 171.8459 acres
Time for Initial Processing (without report)	25m:47s

Quality Check

Images	median of 80826 keypoints per image	✓
Dataset	240 out of 240 images calibrated (100%), 8 images disabled	✓
Camera Optimization	0.63% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 22086.2 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

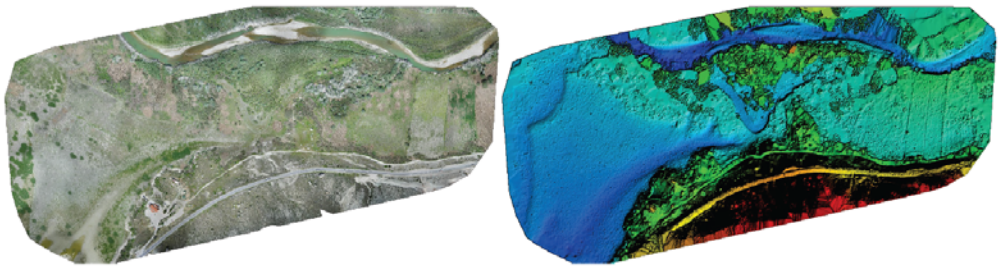


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	240 out of 248
Number of Geolocated Images	248 out of 248

Initial Image Positions

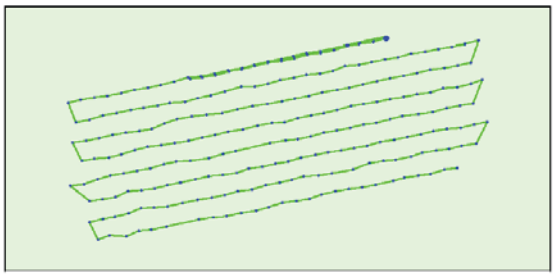
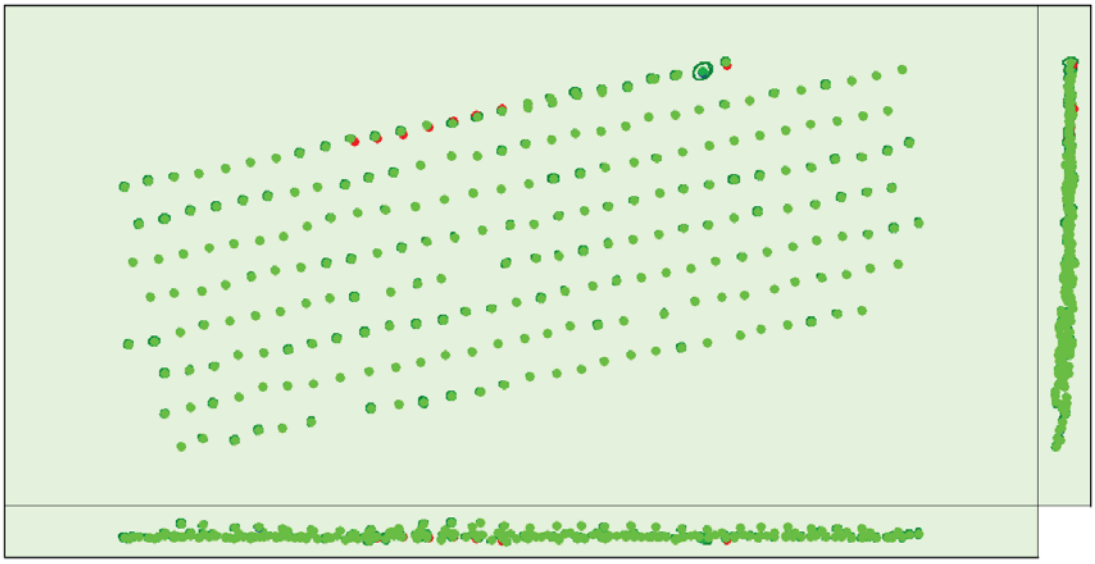


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 1000x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.006	0.006	0.005	0.002	0.003	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001

Overlap

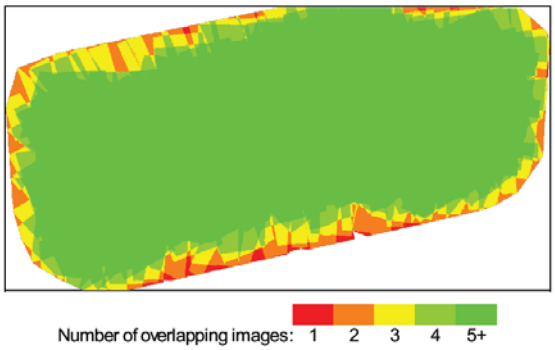


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.
Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

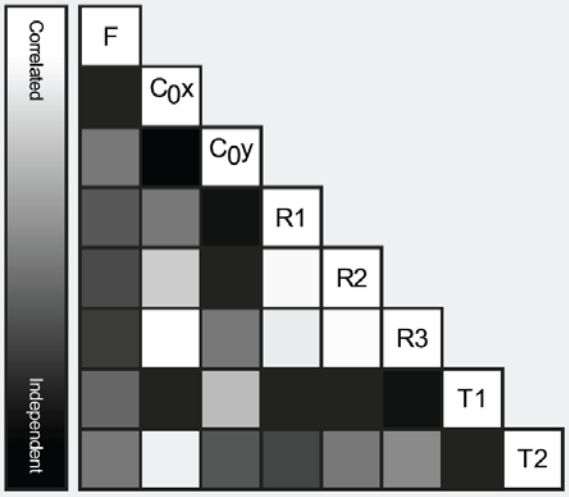
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	5563628
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	2095169
Mean Reprojection Error [pixels]	0.163

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4402.178 [pixel] 10.565 [mm]	2676.485 [pixel] 6.424 [mm]	1813.471 [pixel] 4.352 [mm]	0.034	-0.209	0.301	-0.001	-0.005
Uncertainties (Sigma)	0.115 [pixel] 0.000 [mm]	0.085 [pixel] 0.000 [mm]	0.072 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to the see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	80826	22086
Min	53903	2392
Max	92289	51219
Mean	80773	23182

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	1433039
In 3 Images	352504
In 4 Images	140049
In 5 Images	70260
In 6 Images	39905
In 7 Images	24738
In 8 Images	15374
In 9 Images	9010
In 10 Images	5169
In 11 Images	2750
In 12 Images	1433
In 13 Images	589
In 14 Images	227
In 15 Images	80
In 16 Images	27
In 17 Images	10
In 18 Images	4
In 19 Images	1

2D Keypoint Matches

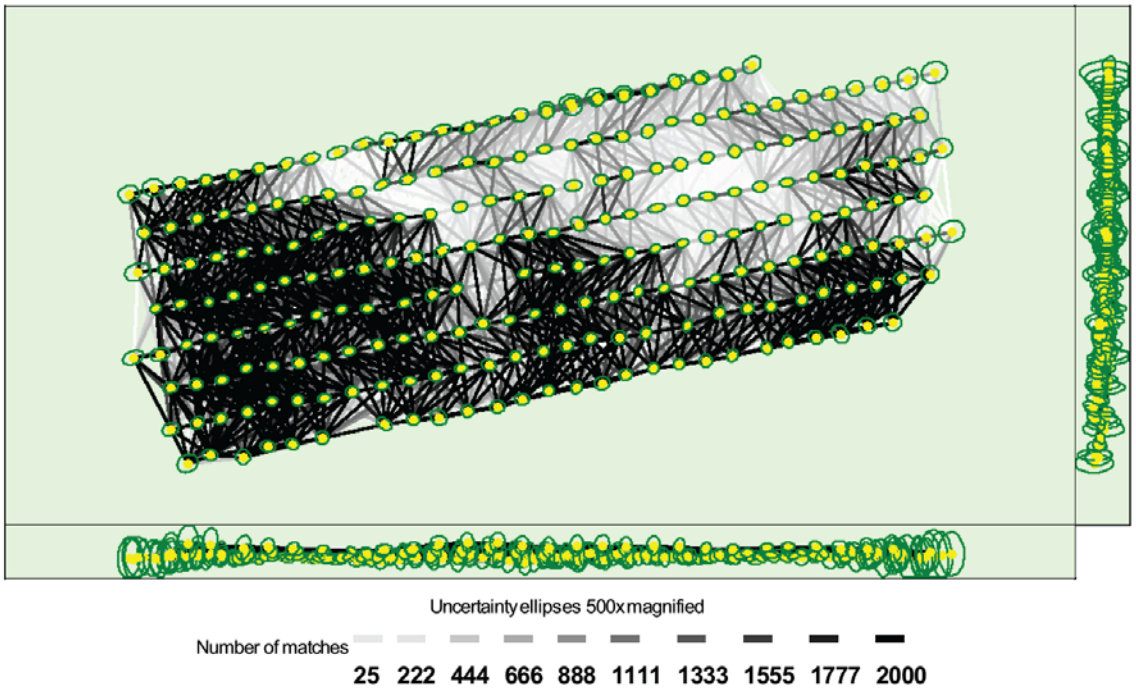


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.021	0.018	0.028	0.009	0.011	0.004
Sigma	0.004	0.004	0.013	0.003	0.004	0.002

Geolocation Details

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.10	0.00	0.00	0.42
-0.10	-0.08	0.00	0.00	0.00
-0.08	-0.06	0.00	0.00	0.42
-0.06	-0.04	0.84	0.42	3.78
-0.04	-0.02	2.52	2.10	14.71
-0.02	0.00	45.80	47.90	29.83
0.00	0.02	49.16	47.90	36.13
0.02	0.04	1.68	1.26	12.18
0.04	0.06	0.00	0.00	1.68
0.06	0.08	0.00	0.42	0.84
0.08	0.10	0.00	0.00	0.00
0.10	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000365	0.000162	-0.001001
Sigma [m]		0.009037	0.010606	0.022944
RMS Error [m]		0.009044	0.010607	0.022966

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	97.06	96.64	96.64
[-2.00, 2.00]	100.00	100.00	99.58
[-3.00, 3.00]	100.00	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.021502	0.021502	0.047486
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.002936	0.002936	0.006323

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	6.027
Phi	4.883
Kappa	11.920

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA Quadro K4200 (Driver: 23.21.13.8508)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 36N

Processing Options

Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

EK 5

221 NUMARALI UÇUŞ HATTINA AİT KALİTE RAPORU

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.2.26

Important: Click on the different icons for:

Help to analyze the results in the Quality Report

Additional information about the sections

Click here for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	221
Processed	2018-04-30 14:20:10
Camera Model Name(s)	S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.99 cm / 1.57 in
Area Covered	1.113 km^2 / 111.3108 ha / 0.43 sq. mi. / 275.1974 acres
Time for Initial Processing (without report)	55m:09s

Quality Check

Images	median of 85488 keypoints per image	✓
Dataset	317 out of 317 images calibrated (100%), 2 images disabled	✓
Camera Optimization	0.61% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 47431.5 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

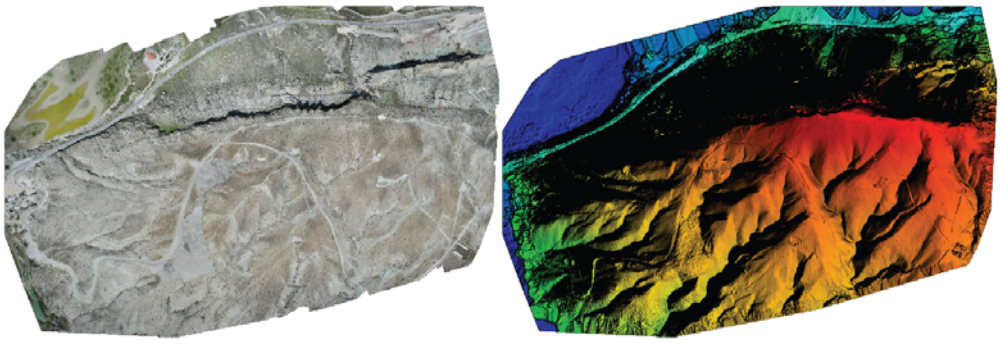


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	317 out of 319
Number of Geolocated Images	319 out of 319

Initial Image Positions

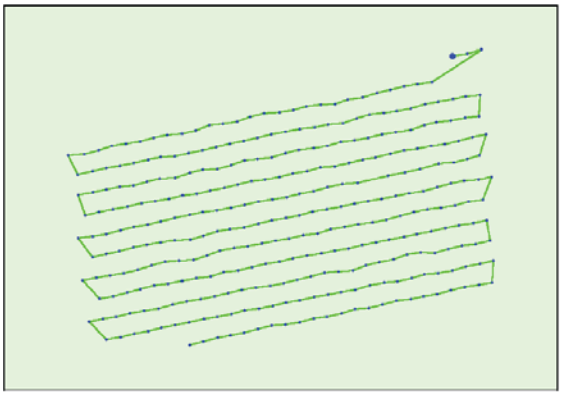


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions

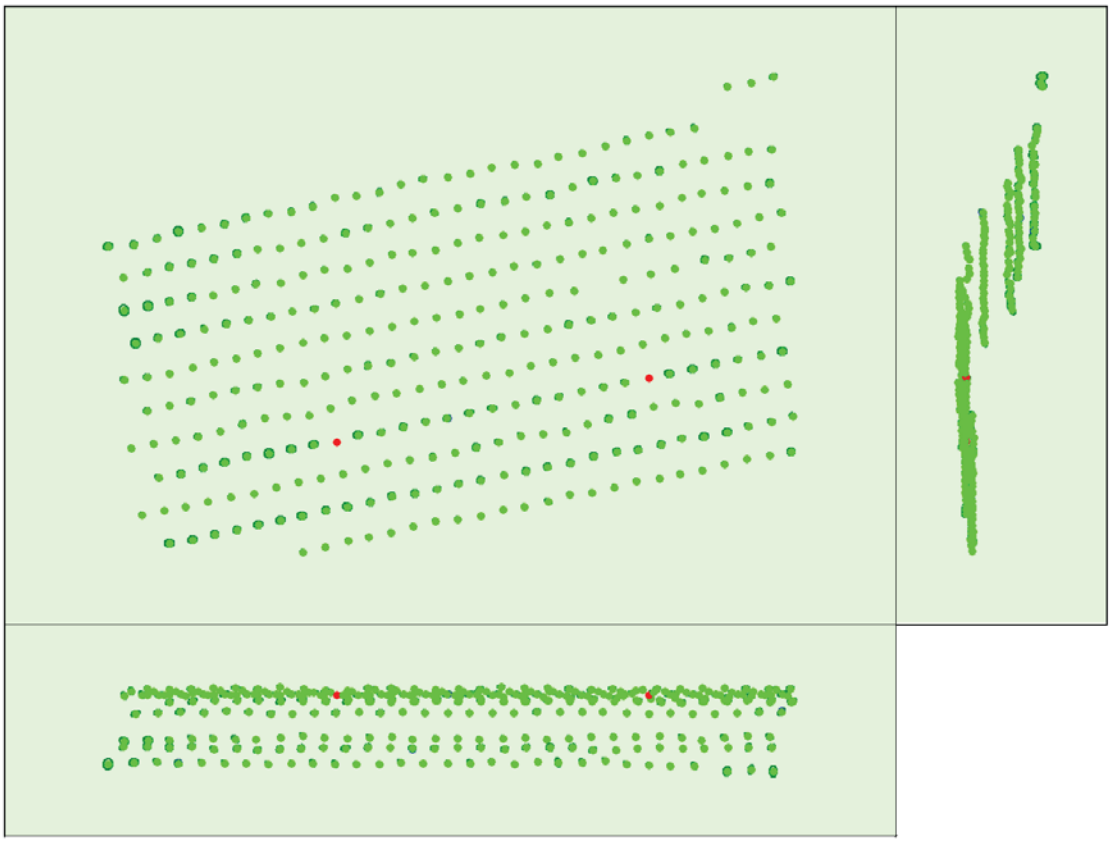


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.005	0.005	0.004	0.002	0.002	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001

Overlap

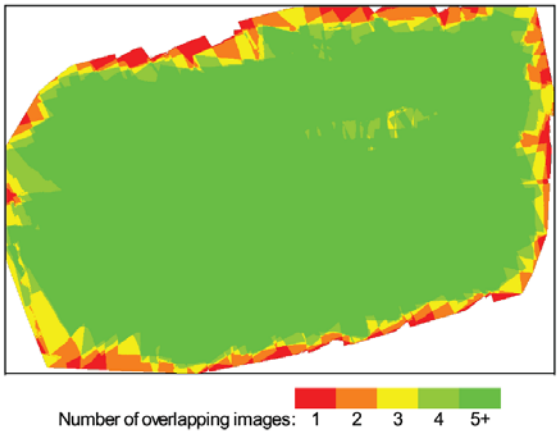


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.
Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

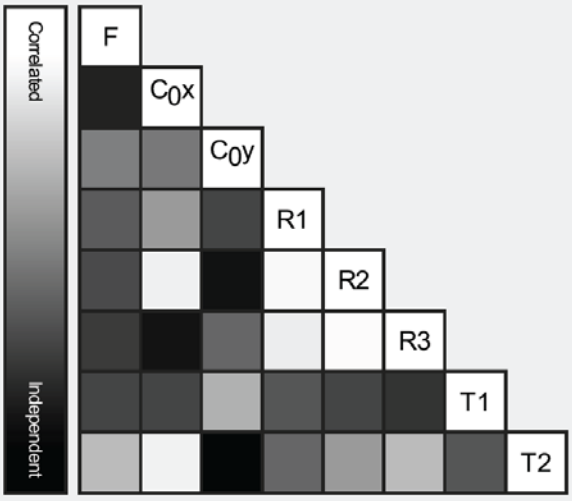
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	15167316
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	4784316
Mean Reprojection Error [pixels]	0.161

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4403.198 [pixel] 10.568 [mm]	2676.711 [pixel] 6.424 [mm]	1813.000 [pixel] 4.351 [mm]	0.032	-0.202	0.291	-0.001	-0.005
Uncertainties (Sigma)	0.085 [pixel] 0.000 [mm]	0.059 [pixel] 0.000 [mm]	0.048 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to the see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	85488	47431
Min	40029	6955
Max	95346	65770
Mean	83022	47846

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	2680996
In 3 Images	903064
In 4 Images	441152
In 5 Images	255676
In 6 Images	163046
In 7 Images	109564
In 8 Images	75196
In 9 Images	51332
In 10 Images	34060
In 11 Images	23282
In 12 Images	16076
In 13 Images	10865
In 14 Images	7111
In 15 Images	4636
In 16 Images	3106
In 17 Images	2005
In 18 Images	1280
In 19 Images	809
In 20 Images	502
In 21 Images	291
In 22 Images	147
In 23 Images	73

In 24 Images	32
In 25 Images	8
In 26 Images	4
In 27 Images	1
In 28 Images	2

2D Keypoint Matches

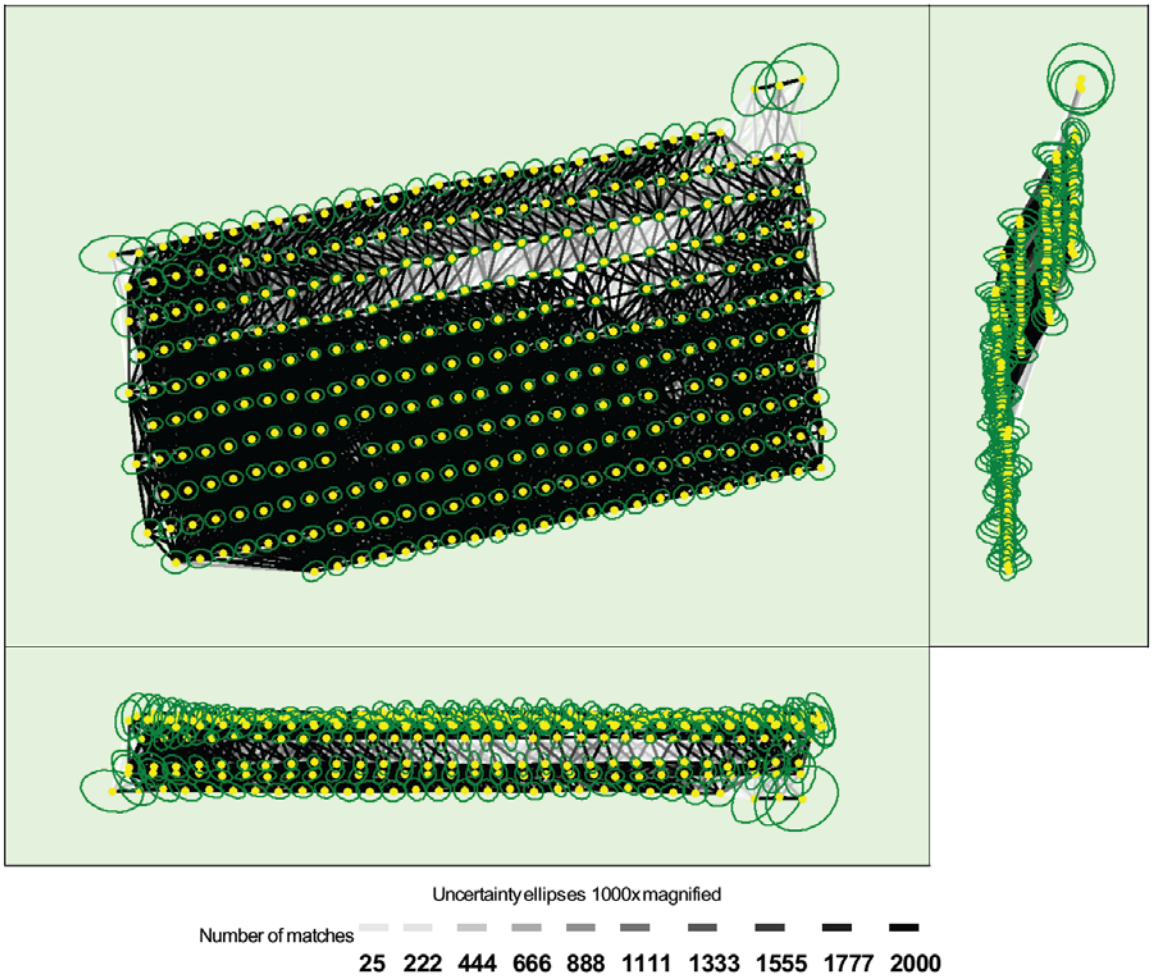


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.016	0.013	0.017	0.006	0.007	0.003
Sigma	0.005	0.005	0.007	0.002	0.002	0.001

Geolocation Details

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]

-	-0.10	0.00	0.00	0.00
-0.10	-0.08	0.00	0.00	0.00
-0.08	-0.06	0.00	0.00	0.32
-0.06	-0.04	0.95	0.00	4.10
-0.04	-0.02	1.89	1.26	16.09
-0.02	0.00	53.00	48.90	31.86
0.00	0.02	41.32	47.95	31.23
0.02	0.04	0.95	1.89	13.56
0.04	0.06	1.26	0.00	2.84
0.06	0.08	0.32	0.00	0.00
0.08	0.10	0.32	0.00	0.00
0.10	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		0.000097	0.000774	-0.001877
Sigma [m]		0.013330	0.009707	0.022413
RMS Error [m]		0.013330	0.009738	0.022491

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	95.27	97.79	96.53
[-2.00, 2.00]	97.16	100.00	100.00
[-3.00, 3.00]	99.37	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.020525	0.020525	0.046622
Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.003355	0.003355	0.008692

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	4.658
Phi	3.595
Kappa	16.266

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA Quadro K4200 (Driver: 23.21.13.8508)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 36N

Processing Options

Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1

Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes

EK 6

220 ve 221 NUMARALI UÇUŞ HATLARINA AİT BİRLEŞMİŞTİRİLMİŞ VERİNİN KALİTE RAPORU

Quality Report

Generated with Pix4Dmapper Pro version 4.2.26

Important: Click on the different icons for:

Help to analyze the results in the Quality Report

Additional information about the sections

Click here for additional tips to analyze the Quality Report

Summary

Project	Nallihan_Merge220_221
Processed	2018-04-30 17:42:56
Camera Model Name(s)	S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(1), S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(2)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.69 cm / 1.45 in
Area Covered	1.697 km^2 / 169.7221 ha / 0.66 sq. mi. / 419.6094 acres

Quality Check

Images	median of 82988 keypoints per image	✓
Dataset	557 out of 557 images calibrated (100%), 10 images disabled, 2 blocks	⚠
Camera Optimization	0.62% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 42932.1 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, no 3D GCP	⚠

Preview

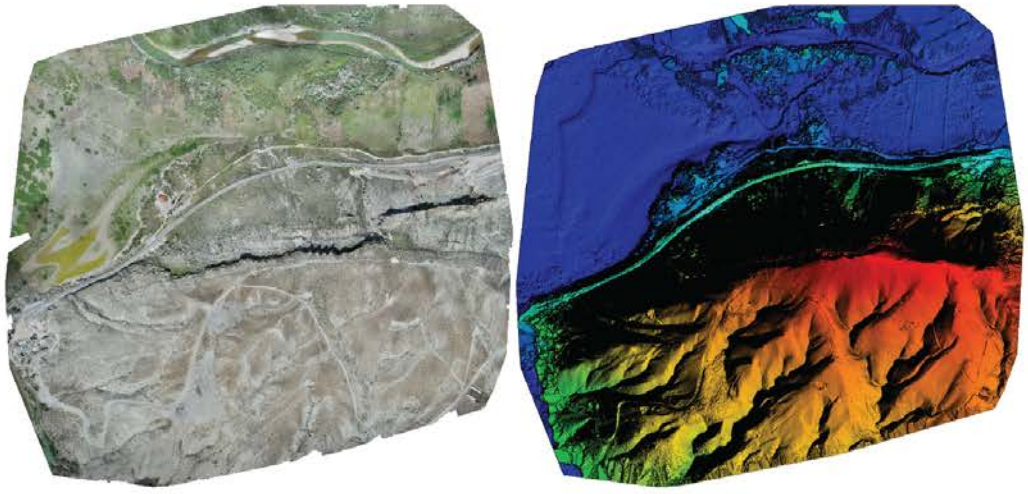


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

Number of Calibrated Images	557 out of 567

Number of Geolocated Images	567 out of 567

Initial Image Positions

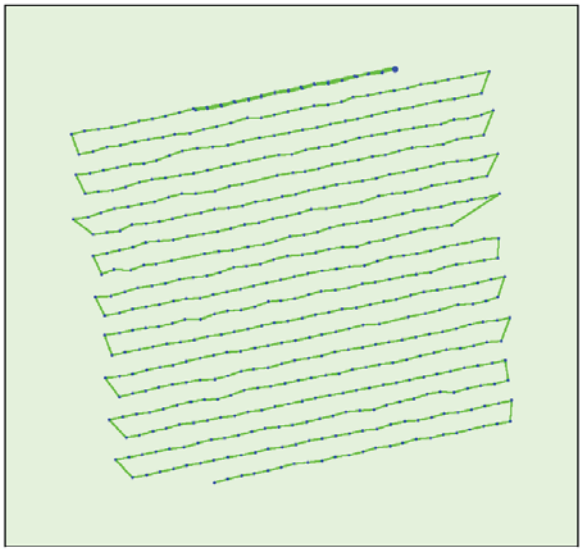
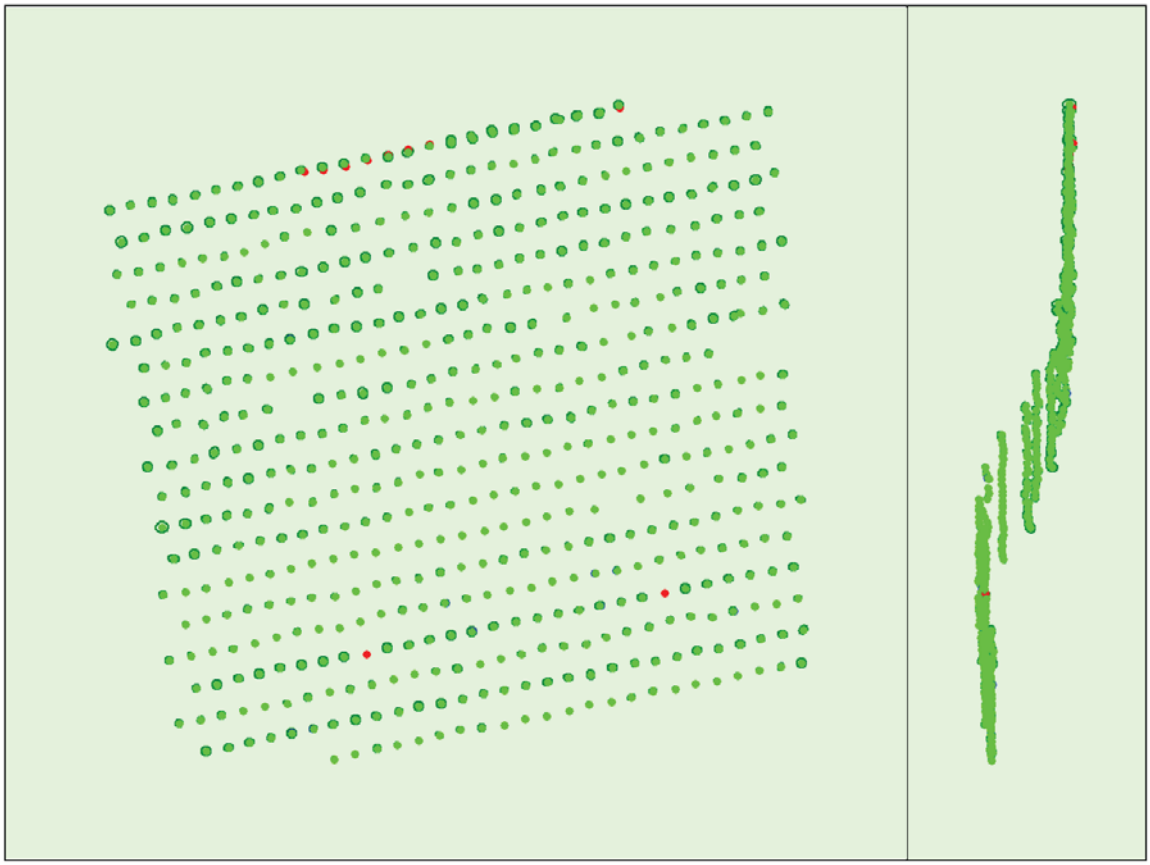


Figure 2: Top view of the initial image position. The green line follows the position of the images in time starting from the large blue dot.

Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



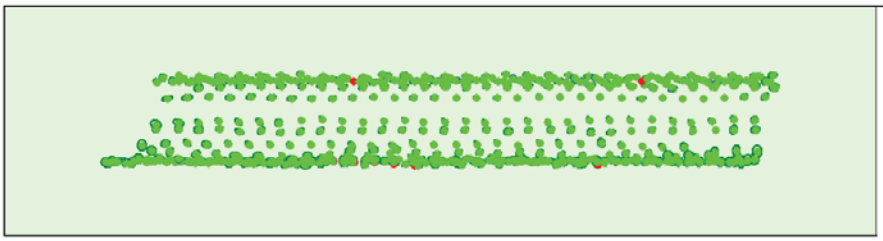


Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Red dots indicate disabled or uncalibrated images. Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Absolute camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.007	0.007	0.006	0.003	0.003	0.002
Sigma	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Overlap

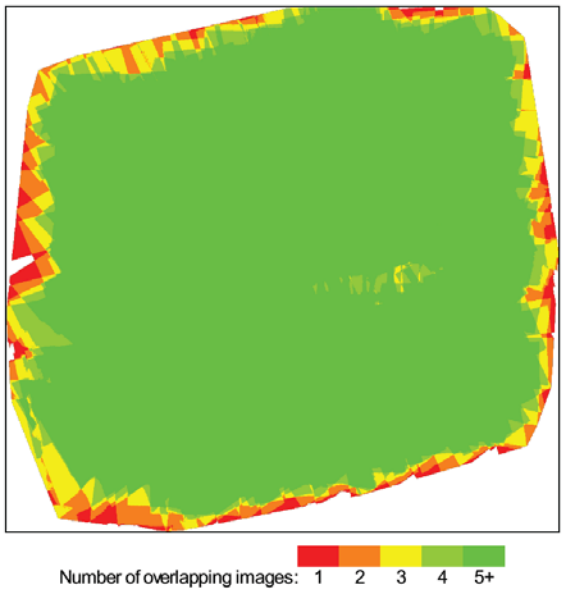


**Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic.
Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).**

Bundle Block Adjustment Details

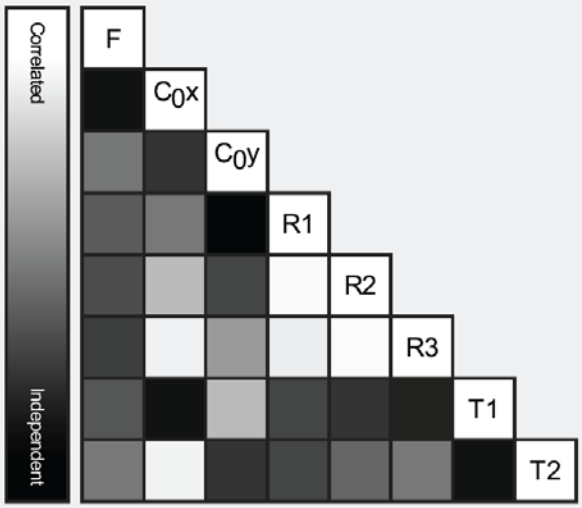
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	20728765
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	6878536
Mean Reprojection Error [pixels]	0.161

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(1). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4402.431 [pixel] 10.566 [mm]	2676.607 [pixel] 6.424 [mm]	1813.394 [pixel] 4.352 [mm]	0.033	-0.205	0.296	-0.001	-0.005
Uncertainties (Sigma)	0.156 [pixel] 0.000 [mm]	0.117 [pixel] 0.000 [mm]	0.098 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.



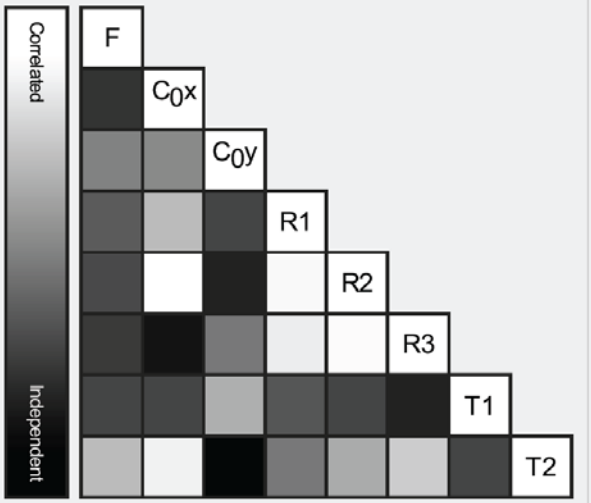
The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to the see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

Internal Camera Parameters

S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(2). Sensor Dimensions: 13.133 [mm] x 8.755 [mm]

EXIF ID: S.O.D.A._10.6_5472x3648

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	4430.420 [pixel] 10.633 [mm]	2725.000 [pixel] 6.540 [mm]	1811.670 [pixel] 4.348 [mm]	0.033	-0.209	0.315	0.000	0.000
Optimized Values	4403.199 [pixel] 10.568 [mm]	2676.769 [pixel] 6.424 [mm]	1813.021 [pixel] 4.351 [mm]	0.032	-0.199	0.287	-0.001	-0.005
Uncertainties (Sigma)	0.098 [pixel] 0.000 [mm]	0.066 [pixel] 0.000 [mm]	0.055 [pixel] 0.000 [mm]	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000



The correlation between camera internal parameters determined by the bundle adjustment. White indicates a full correlation between the parameters, ie. any change in one can be fully compensated by the other. Black indicates that the parameter is completely independent, and is not affected by other parameters.



The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel, averaged over all images of the camera model, is color coded between black and white. White indicates that, on average, more than 16 ATPs have been extracted at the pixel location. Black indicates that, on average, 0 ATPs have been extracted at the pixel location. Click on the image to the see the average direction and magnitude of the re-projection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization. The scale bar indicates the magnitude of 1 pixel error.

2D Keypoints Table

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	82988	42932
Min	40029	2382
Max	95346	65770
Mean	82053	37215

2D Keypoints Table for Camera S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(1)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	80826	22087
Min	53903	2382
Max	92289	51211
Mean	80773	23177

2D Keypoints Table for Camera S.O.D.A._10.6_5472x3648 (RGB)(2)

	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	85488	47323
Min	40029	6955
Max	95346	65770
Mean	83022	47843

Median / 75%/ Maximal Number of Matches Between Camera Models

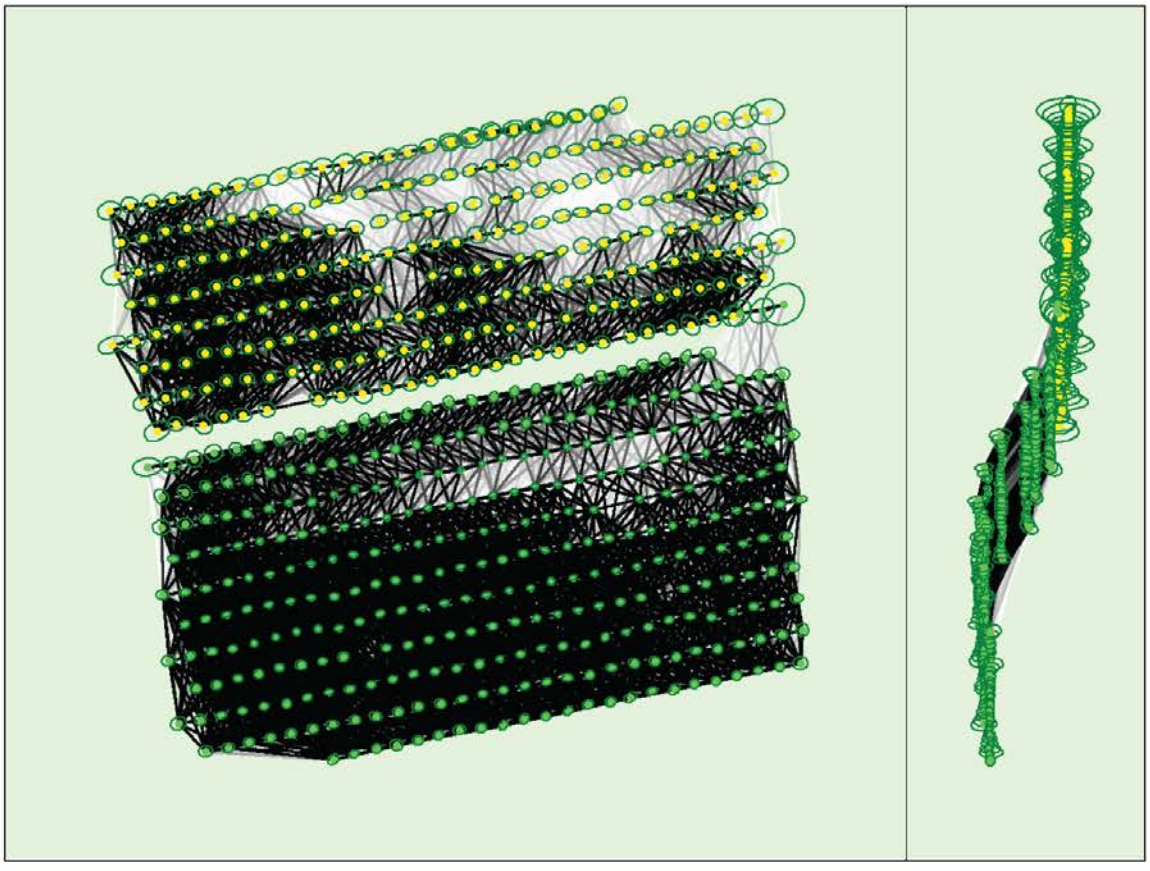
	S.O.D.A_10....(RGB)(1)	S.O.D.A_10....(RGB)(2)
S.O.D.A_10.6_5472x3648 (RGB)(1)	429 / 1839 / 26664	
S.O.D.A_10.6_5472x3648 (RGB)(2)		1475 / 5444 / 31252

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D Points Observed

In 2 Images	4113260
In 3 Images	1255459
In 4 Images	581152
In 5 Images	325937
In 6 Images	202936
In 7 Images	134302
In 8 Images	90570
In 9 Images	60341
In 10 Images	39228
In 11 Images	26033
In 12 Images	17509
In 13 Images	11453
In 14 Images	7338
In 15 Images	4716
In 16 Images	3133
In 17 Images	2015
In 18 Images	1284
In 19 Images	810
In 20 Images	502
In 21 Images	291
In 22 Images	147
In 23 Images	73
In 24 Images	32
In 25 Images	8
In 26 Images	4
In 27 Images	1
In 28 Images	2

2D Keypoint Matches



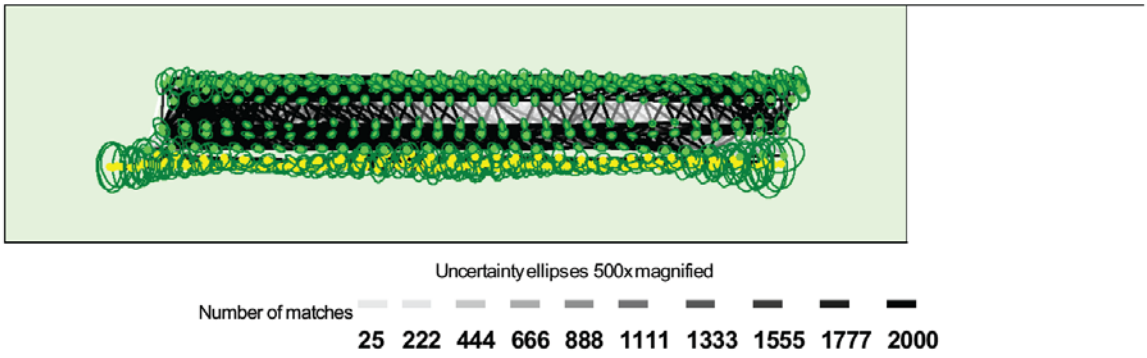


Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

Relative camera position and orientation uncertainties

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.023	0.019	0.027	0.009	0.011	0.004
Sigma	0.008	0.007	0.017	0.004	0.005	0.002

Geolocation Details

Absolute Geolocation Variance

Min Error [m]	Max Error [m]	Geolocation Error X [%]	Geolocation Error Y [%]	Geolocation Error Z [%]
-	-0.10	0.00	0.00	0.18
-0.10	-0.08	0.00	0.00	0.00
-0.08	-0.06	0.00	0.00	0.36
-0.06	-0.04	0.54	0.00	4.67
-0.04	-0.02	2.69	1.80	13.82
-0.02	0.00	48.65	49.37	33.03
0.00	0.02	45.42	45.96	31.24
0.02	0.04	1.44	2.69	14.18
0.04	0.06	0.54	0.00	2.15
0.06	0.08	0.54	0.18	0.36
0.08	0.10	0.18	0.00	0.00
0.10	-	0.00	0.00	0.00
Mean [m]		-0.000107	0.000576	-0.001542
Sigma [m]		0.012412	0.010694	0.023514
RMS Error [m]		0.012412	0.010710	0.023565

Min Error and Max Error represent geolocation error intervals between -1.5 and 1.5 times the maximum accuracy of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geolocation errors within the predefined error intervals. The geolocation error is the difference between the initial and computed image positions. Note that the image geolocation errors do not correspond to the accuracy of the observed 3D points.

Relative Geolocation Variance

Relative Geolocation Error	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
[-1.00, 1.00]	94.97	96.41	95.15
[-2.00, 2.00]	98.38	99.82	99.82
[-3.00, 3.00]	99.46	100.00	100.00
Mean of Geolocation Accuracy [m]	0.020961	0.020961	0.047033

Sigma of Geolocation Accuracy [m]	0.003225	0.003225	0.007792

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a relative geolocation error in X, Y, Z.

Geolocation Orientational Variance	RMS [degree]
Omega	5.281
Phi	4.208
Kappa	14.540

Geolocation RMS error of the orientation angles given by the difference between the initial and computed image orientation angles.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-1650 v3 @ 3.50GHz RAM: 16GB GPU: NVIDIA Quadro K4200 (Driver: 23.21.13.8508)
Operating System	Windows 10 Pro, 64-bit

Coordinate Systems

Image Coordinate System	WGS84
Output Coordinate System	WGS 84 / UTM zone 36N

Processing Options

Detected Template	3D Maps
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, no

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	01h:26m:59s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	01h:03m:05s

Results

Number of Processed Clusters	3
Number of Generated Tiles	4
Number of 3D Densified Points	86931880
Average Density (per m^3)	63.67

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (3.69 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: no Google Maps Tiles and KML: no
Time for DSM Generation	49m:16s
Time for Orthomosaic Generation	01h:44m:12s
Time for DTM Generation	00s
Time for Contour Lines Generation	00s
Time for Reflectance Map Generation	00s
Time for Index Map Generation	00s

EK 7

SÜREKSİZLİK ÖLÇÜMLERİ

EĞİM [°]	EĞİM YÖNÜ [°]	İSTASYON NUMARASI	SAĞA	YUKARI	TÜRÜ	DEVAMLILIK [m]	ARALIK [mm]	AÇIKLIK [mm]	AYRIŞMA	DOLGU	JRC	SU GELİRİ
62	360	1	380825	4440483	Eklem	10-20	200-600 (400)	>10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
89	12	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	60	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
80	140	1	380825	4440483	Eklem	>20 (10-20)	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
74	143	1	380825	4440483	Eklem	>20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
81	134	1	380825	4440483	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	143	1	380825	4440483	Eklem	10-20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
78	145	1	380825	4440483	Eklem	>20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	144	1	380825	4440483	Eklem	>20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
83	138	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
77	141	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
89	135	1	380825	4440483	Eklem	>20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
84	5	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	015	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	10	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	139	1	380825	4440483	Eklem	>20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
88	136	1	380825	4440483	Eklem	>20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
84	140	1	380825	4440483	Eklem	>20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
86	003	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	002	1	380825	4440483	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
8	220	2	380489	4440468	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
81	14	2	380489	4440468	Eklem	1-3	600-2000	70	Az-Orta Derecede Ayrışmış	silt-ince kum	9-11	kuru
81	170	2	380489	4440468	Eklem	1-3	600-2000	10-100	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
70	163	2	380489	4440468	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
61	160	2	380489	4440468	Eklem	10-20	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
61	156	2	380489	4440468	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	162	2	380489	4440468	Eklem	1-3	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
78	166	2	380489	4440468	Eklem	10-20	60-200	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
84	168	2	380489	4440468	Eklem	10-20	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
76	170	2	380489	4440468	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	171	2	380489	4440468	Eklem	10-20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
79	168	2	380489	4440468	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
4	213	2	380489	4440468	Tabaka Düzlemi	>20	200-600	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
9	290	2	380489	4440468	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
8	258	2	380489	4440468	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
86	006	2	380489	4440468	Eklem	1-3	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	009	2	380489	4440468	Eklem	1-3	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
68	20	3	380882	4440476	Eklem	>20	>6000	10-100	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
14	140	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
72	158	3	380882	4440476	Eklem	10-20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	190	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
77	162	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
78	160	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
80	158	3	380882	4440476	Eklem	1-3	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
81	155	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
68	158	3	380882	4440476	Eklem	10-20	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
74	155	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
69	155	3	380882	4440476	Eklem	1-3	60-200	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
72	159	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
65	155	3	380882	4440476	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
75	156	3	380882	4440476	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
63	157	3	380882	4440476	Eklem	10-20	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru

EĞİM	EĞİM YÖNÜ	İSTASYON NUMARASI	SAĞA	YUKARI	TÜRÜ	DEVAMLILIK [m]	ARALIK [mm]	AÇIKLIK [mm]	AYRIŞMA	DOLGU	JRC	SU GELİRİ
12	158	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
9	148	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
16	155	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
5	144	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
11	144	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	187	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	189	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
89	186	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
85	193	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
87	195	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	196	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	192	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
84	190	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
81	195	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
86	202	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	199	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	200	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
84	188	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
62	159	3	380882	4440476	Eklem	1-3	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
64	157	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
64	158	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
59	157	3	380882	4440476	Eklem	1-3	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
7	140	3	380882	4440476	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
22	90	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	200-600	<0.1	Az Ayrışmış	yok	11	kuru
5	100	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	0,1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
60	154	4	380925	4440487	Eklem	>20	60-200	0.5-2.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
62	151	4	380925	4440487	Eklem	1-3	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
61	150	4	380925	4440487	Eklem	10-20	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
60	153	4	380925	4440487	Eklem	10-20	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
68	152	4	380925	4440487	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
78	153	4	380925	4440487	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
74	149	4	380925	4440487	Eklem	10-20	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
64	152	4	380925	4440487	Eklem	1-3	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
68	154	4	380925	4440487	Eklem	1-3	600-2000	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
78	148	4	380925	4440487	Eklem	1-3	600-2000	0.25-0.5	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
13	96	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
19	102	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
15	103	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
17	088	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
71	152	4	380925	4440487	Eklem	1-3	60-200	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
4	250	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	19	kuru
4	295	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
5	282	4	380925	4440487	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	110	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
86	287	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
89	308	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
88	305	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
89	306	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
87	308	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
87	290	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
9	328	5	380974	4440501	Eklem	3-10	60-200	0.1-0.25	Az Ayrışmış	yok	7	kuru
84	355	6	381018	4440508	Eklem	10-20	>6000	10-100	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru

EĞİM [°]	EĞİM YÖNÜ [°]	İSTASYON NUMARASI	SAĞA	YUKARI	TÜRÜ	DEVAMLILIK [m]	ARALIK [mm]	AÇIKLIK [mm]	AYRIŞMA	DOLGU	JRC	SU GELİRİ
90	50	6	381018	4440508	Eklem	10-20	200-600	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
88	310	6	381018	4440508	Eklem	10-20	2000-6000	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
16	120	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	200-600	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
16	330	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
16	170	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
83	360	6	381018	4440508	Eklem	10-20	2000-6000	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
10	122	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
13	125	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
9	165	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
19	114	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	200-600	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
12	111	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
7	118	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
6	157	6	381018	4440508	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
85	356	6	381018	4440508	Eklem	10-20	2000-6000	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
80	358	6	381018	4440508	Eklem	10-20	2000-6000	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
86	358	6	381018	4440508	Eklem	10-20	2000-6000	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
85	057	6	381018	4440508	Eklem	10-20	200-600	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
89	052	6	381018	4440508	Eklem	10-20	200-600	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
86	210	7	381151	4440529	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
2	180	7	381151	4440529	Tabaka Düzlemi	>20	600-2000	0,1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
11	190	7	381151	4440529	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
13	172	7	381151	4440529	Tabaka Düzlemi	>20	200-600	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
14	183	7	381151	4440529	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
83	206	7	381151	4440529	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
88	213	7	381151	4440529	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
85	205	7	381151	4440529	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
86	207	7	381151	4440529	Eklem	1-3	600-2000	2.5-10	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	19	kuru
5	180	8	381188	4440540	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	11	kuru
84	60	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.5-2.5	Orta Derecede Ayrışmış	yok	7	kuru
82	290	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
7	199	8	381188	4440540	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
9	180	8	381188	4440540	Tabaka Düzlemi	>20	2000-6000	<0.1	Az Ayrışmış	yok	9-11	kuru
82	293	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
89	289	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
84	290	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
85	311	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
88	311	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
87	293	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
86	297	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
85	294	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
84	291	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru
86	301	8	381188	4440540	Eklem	10-20	200-600	0.1-0.25	Az-Orta Derecede Ayrışmış	yok	9-11	kuru

EK 8

DEFORMASYON KONTROLLU DOĞRUDAN MAKASLAMA CİHAZIYLA YÜRÜTÜLEN MAKASLAMA DENEYLERİ SONUÇLARI

DEFORMASYON KONTROLLÜ DOĞRUDAN MAKASLAMA CİHAZIYLA MAKASLAMA DENEYİ (İLERİ MAKASLAMA)					
Örnek No:	MA-1				
Tarih:	22.05.2018				
Makaslama Hızı (mm/dk)	1				
Normal Yük (kN):	0,0981				
Normal Gerilme (kPa):	27,25				
Örnek Alanı (m^2):	0,0036				
Yanal Hareket		**Yük Halkası**			
GÖSTERGE (0.01mm)	***δ (mm)**	**GÖSTERGE (0.01mm)**	**MAKASLAMA KUVVETİ F_i (kN)**	**MAKASLAMA GERİLMESİ $\tau_i = F_i / A$ (kPa)**	**Notlar**
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	
15	0,15	15,00	0,0270	7,5000	
30	0,30	15,00	0,0270	7,5000	
60	0,60	25,00	0,0450	12,5000	
120	1,20	27,00	0,0486	13,5000	
180	1,80	27,00	0,0486	13,5000	
240	2,40	28,00	0,0504	14,0000	
300	3,00	28,20	0,0508	14,1000	
360	3,60	30,00	0,0540	15,0000	
420	4,20	30,00	0,0540	15,0000	
480	4,80	31,00	0,0558	15,5000	
540	5,40	30,00	0,0540	15,0000	
600	6,00	31,20	0,0562	15,6000	
660	6,60	30,00	0,0540	15,0000	
720	7,20	31,00	0,0558	15,5000	
780	7,80	30,00	0,0540	15,0000	
840	8,40	31,00	0,0558	15,5000	
900	9,00	31,00	0,0558	15,5000	
960	9,60	31,00	0,0558	15,5000	
1020	10,20	31,00	0,0558	15,5000	

DEFORMASYON KONTROLLÜ DOĞRUDAN MAKASLAMA CİHAZIYLA MAKASLAMA DENEYİ (İLERİ MAKASLAMA)					
Örnek No:	MA-2				
Tarih:	22.05.2018				
Makaslama Hızı (mm/dk)	1				
Normal Yük (kN):	0,1962				
Normal Gerilme (kPa):	54,5				
Örnek Alanı (m^2):	0,0036				
Yanal Hareket		**Yük Halkası**			
GÖSTERGE (0.01mm)	***δ (mm)**	**GÖSTERGE (0.01mm)**	**MAKASLAMA KUVVETİ F_i (kN)**	**MAKASLAMA GERİLMESİ $\tau_i = F_i / A$ (kPa)**	**Notlar**
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	
15	0,15	8,00	0,0144	4,0000	
30	0,30	25,00	0,0450	12,5000	
60	0,60	58,00	0,1044	29,0000	
120	1,20	74,00	0,1332	37,0000	
180	1,80	74,00	0,1332	37,0000	
240	2,40	73,00	0,1314	36,5000	
300	3,00	69,00	0,1242	34,5000	
360	3,60	67,00	0,1206	33,5000	
420	4,20	68,00	0,1224	34,0000	
480	4,80	67,00	0,1206	33,5000	
540	5,40	67,00	0,1206	33,5000	
600	6,00	68,00	0,1224	34,0000	
660	6,60	67,00	0,1206	33,5000	
720	7,20	67,00	0,1206	33,5000	
780	7,80	69,00	0,1242	34,5000	
840	8,40	67,00	0,1206	33,5000	
900	9,00	69,00	0,1242	34,5000	
960	9,60	68,00	0,1224	34,0000	
1020	10,20	69,00	0,1242	34,5000	

DEFORMASYON KONTROLLÜ DOĞRUDAN MAKASLAMA CİHAZIYLA MAKASLAMA DENEYİ (İLERİ MAKASLAMA)					
Örnek No:	MA-3				
Tarih:	22.05.2018				
Makaslama Hızı (mm/dk)	1				
Normal Yük (kN):	0,2943				
Normal Gerilme (kPa):	81,75				
Örnek Alanı (m^2):	0,0036				
Yanal Hareket		**Yük Halkası**			
GÖSTERGE (0.01mm)	***δ (mm)**	**GÖSTERGE (0.01mm)**	**MAKASLAMA KUVVETİ F_i (kN)**	**MAKASLAMA GERİLMESİ $\tau_i = F_i / A$ (kPa)**	**Notlar**
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	
15	0,15	18,00	0,0324	9,0000	
30	0,30	43,00	0,0774	21,5000	
60	0,60	113,00	0,2034	56,5000	
120	1,20	110,00	0,1980	55,0000	
180	1,80	108,00	0,1944	54,0000	
240	2,40	107,00	0,1926	53,5000	
300	3,00	106,00	0,1908	53,0000	
360	3,60	106,00	0,1908	53,0000	
420	4,20	107,00	0,1926	53,5000	
480	4,80	106,00	0,1908	53,0000	
540	5,40	106,00	0,1908	53,0000	
600	6,00	105,00	0,1890	52,5000	
660	6,60	105,00	0,1890	52,5000	
720	7,20	105,00	0,1890	52,5000	
780	7,80	105,00	0,1890	52,5000	
840	8,40	105,00	0,1890	52,5000	
900	9,00	105,00	0,1890	52,5000	
960	9,60	106,00	0,1908	53,0000	
1020	10,20	106,00	0,1908	53,0000	

DEFORMASYON KONTROLLÜ DOĞRUDAN MAKASLAMA CİHAZIYLA MAKASLAMA DENEYİ (İLERİ MAKASLAMA)					
Örnek No:	MA-4				
Tarih:	22.05.2018				
Makaslama Hızı (mm/dk)	1				
Normal Yük (kN):	0,3924				
Normal Gerilme (kPa):	109				
Örnek Alanı (m^2):	0,0036				
Yanal Hareket		**Yük Halkası**			
GÖSTERGE (0.01mm)	***δ (mm)**	**GÖSTERGE (0.01mm)**	**MAKASLAMA KUVVETİ F_i (kN)**	**MAKASLAMA GERİLMESİ $\tau_i = F_i / A$ (kPa)**	**Notlar**
0	0,00	0,00	0,0000	0,0000	
15	0,15	143,00	0,2574	71,5000	
30	0,30	145,00	0,2610	72,5000	
60	0,60	142,00	0,2556	71,0000	
120	1,20	140,00	0,2520	70,0000	
180	1,80	139,00	0,2502	69,5000	
240	2,40	139,00	0,2502	69,5000	
300	3,00	139,00	0,2502	69,5000	
360	3,60	139,00	0,2502	69,5000	
420	4,20	139,00	0,2502	69,5000	
480	4,80	138,00	0,2484	69,0000	
540	5,40	138,00	0,2484	69,0000	
600	6,00	139,00	0,2502	69,5000	
660	6,60	138,00	0,2484	69,0000	
720	7,20	139,00	0,2502	69,5000	
780	7,80	135,00	0,2430	67,5000	
840	8,40	138,00	0,2484	69,0000	
900	9,00	135,00	0,2430	67,5000	
960	9,60	135,00	0,2430	67,5000	
1020	10,20	135,50	0,2439	67,7500	

EK9

DÜŞMÜŞ BLOK HACİMLERİ

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
E1	1	9,176	0,067	9,109	0,05	Z	average
E2	2	14,966	0,016	14,95	0,05	Z	average
E2	3	7,703	0,009	7,694	0,05	Z	average
E2	4	5,327	0,226	5,101	0,05	Z	average
E2	5	2,193	0,064	2,129	0,05	Z	average
E2	6	5,017	0,019	4,998	0,05	Z	average
E2	7	0,183	0,004	0,179	0,05	Z	average
E2	8	0,166	0,006	0,16	0,05	Z	average
E2	9	1,212	0,007	1,205	0,05	Z	average
E2	10	0,171	0,002	0,169	0,05	Z	average
E2	11	0,032	0,005	0,027	0,05	Z	average
E2	12	1,773	0,002	1,771	0,05	Z	average
E2	13	20,636	0,246	20,39	0,05	Z	average
E2	14	3,182	0,012	3,17	0,05	Z	average
E2	15	1,261	0,033	1,228	0,05	Z	average
E2	16	13,633	0,153	13,48	0,05	Z	average
E2	17	83,569	0,73	82,839	0,05	Z	average
E2	18	335,475	4,955	330,52	0,05	Z	average
E2	19	13,334	0,096	13,238	0,05	Z	average
E3	20	1,585	0,023	1,562	0,05	Z	average
E3	21	2,007	0,007	2	0,05	Z	average
E3	22	0,908	0,004	0,904	0,05	Z	average
E3	23	1,234	0,021	1,213	0,05	Z	average
E3	24	1,015	0,013	1,002	0,05	Z	average
D2	25	12,194	0,08	12,114	0,05	Z	average
D2	26	0,693	0,012	0,681	0,05	Z	average
E2	27	1,374	0,018	1,356	0,05	Z	average
E2	28	0,275	0,003	0,272	0,05	Z	average
E2	29	0,029	0,006	0,023	0,05	Z	average
E2	30	0,176	0,001	0,175	0,05	Z	average
F2	31	0,975	0,03	0,945	0,05	Z	average
F2	32	0,219	0,003	0,216	0,05	Z	average
E3	33	39,317	0,33	38,987	0,05	Z	average
E3	34	26,347	0,259	26,088	0,05	Z	average
E3	35	0,164	0,004	0,16	0,05	Z	average
E3	36	0,185	0,014	0,171	0,05	Z	average
D3	37	0,14	0,06	0,08	0,05	Z	average
D3	38	0,05	0,004	0,046	0,05	Z	average
D3	39	2,282	0,091	2,191	0,05	Z	average
D3	40	1,23	0,007	2,191	0,05	Z	average
D2	41	0,219	0,016	0,203	0,05	Z	average
D3	42	0,127	0,002	0,125	0,05	Z	average
D3	43	0,578	0,002	0,576	0,05	Z	average
D3	44	0,036	0,006	0,03	0,05	Z	average
D3	45	0,072	0,002	0,07	0,05	Z	average
D3	46	0,096	0,006	0,09	0,05	Z	average
D3	47	0,043	0,002	0,041	0,05	Z	average
D4	48	0,133	0,002	0,131	0,05	Z	average
D3	49	11,975	0,22	11,755	0,05	Z	average
D3	50	0,036	0,008	0,028	0,05	Z	average
D3	51	0,038	0,012	0,026	0,05	Z	average
D3	52	0,066	0,003	0,063	0,05	Z	average
D3	53	0,016	0,004	0,012	0,05	Z	average
D3	54	2,107	0,031	2,076	0,05	Z	average
E3	55	0,113	0,012	0,101	0,05	Z	average
D3	56	0,004	0,003	0,001	0,05	Z	average
D3	57	0,146	0,005	0,141	0,05	Z	average
D3	58	0,007	0,008	-0,001	0,05	Z	average
D3	59	0,012	0,004	0,008	0,05	Z	average
D3	60	0,062	0,001	0,061	0,05	Z	average
D4	61	0,216	0,003	0,213	0,05	Z	average
D3	62	0,034	0,017	0,017	0,05	Z	average
D3	63	0,214	0,006	0,208	0,05	Z	average
D3	64	0,046	0,006	0,04	0,05	Z	average
D3	65	0,023	0,001	0,022	0,05	Z	average
D3	66	0,001	0,008	-0,007	0,05	Z	average
D3	67	0	0,003	-0,003	0,05	Z	average
D3	68	0,011	0,002	0,009	0,05	Z	average
D3	69	0,001	0,006	-0,005	0,05	Z	average
D3	70	0,227	0,018	0,209	0,05	Z	average
D3	71	0,324	0,001	0,323	0,05	Z	average
D3	72	2,12	0,015	2,105	0,05	Z	average
D3	73	25,882	0,039	25,843	0,05	Z	average
D3	74	0,141	0,003	0,138	0,05	Z	average
D3	75	1,221	0,003	1,218	0,05	Z	average
D3	76	0,982	0,046	0,936	0,05	Z	average
C3-D3	77	0,115	0,002	0,113	0,05	Z	average
C3	78	4,279	0,003	4,276	0,05	Z	average
D4	79	0,356	0,005	0,351	0,05	Z	average
D4	80	0,475	0,009	0,466	0,05	Z	average
D4	81	0,016	0,046	-0,03	0,05	Z	average
D4	82	1,152	0,008	1,144	0,05	Z	average
D3	83	0,079	0,015	0,064	0,05	Z	average
C3	84	0,125	0,001	0,124	0,05	Z	average
D3	85	0,123	0,004	0,119	0,05	Z	average
D4	86	40,491	0,168	40,323	0,05	Z	average
D4	87	0,089	0,021	0,068	0,05	Z	average
D4	88	2,429	0,105	2,324	0,05	Z	average
C4	89	5,232	0,04	5,192	0,05	Z	average
C4	90	0,804	0,002	0,802	0,05	Z	average
D4	91	0,339	0,002	0,337	0,05	Z	average
D4	92	122,546	0,534	122,012	0,05	Z	average
C4	93	1,28	0,002	1,278	0,05	Z	average
C4	94	0,231	0,008	0,223	0,05	Z	average
C4	95	0,101	0,003	0,098	0,05	Z	average
C4	96	0,364	0,002	0,362	0,05	Z	average
C4	97	0,713	0,004	0,709	0,05	Z	average
C4	98	0,265	0,001	0,264	0,05	Z	average
C4	99	0,192	0,001	0,191	0,05	Z	average
D4	100	2,713	0,022	2,691	0,05	Z	average
D4	101	1,352	0,004	1,348	0,05	Z	average
D4	102	0,059	0,008	0,051	0,05	Z	average

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
D4	103	0,037	0,003	0,034	0,05	Z	average
D4	104	0,058	0,001	0,057	0,05	Z	average
D4	105	0,057	0,012	0,045	0,05	Z	average
D4	106	26,907	0,16	26,747	0,05	Z	average
D4	107	79,617	0,158	79,459	0,05	Z	average
D4	108	1,892	0,011	1,881	0,05	Z	average
D4	109	1,612	0,01	1,602	0,05	Z	average
D4	110	1,017	0,003	1,014	0,05	Z	average
D4	111	8,774	0,008	8,766	0,05	Z	average
D4	112	0,147	0,011	0,136	0,05	Z	average
D4	113	0,613	0,001	0,612	0,05	Z	average
D4	114	0,049	0,001	0,048	0,05	Z	average
D4	115	0,817	0,007	0,81	0,05	Z	average
D4	116	5,747	0,021	5,726	0,05	Z	average
D4	117	0,187	0,008	0,179	0,05	Z	average
D4	118	2,747	0,029	2,718	0,05	Z	average
D4	119	0,021	0,005	0,016	0,05	Z	average
D4	120	0,025	0,008	0,017	0,05	Z	average
D4	121	0,03	0,003	0,027	0,05	Z	average
D4	122	0,046	0,005	0,041	0,05	Z	average
E5	123	0,898	0,007	0,891	0,05	Z	average
D5	124	1,172	0,004	1,168	0,05	Z	average
E5	125	0,061	0,004	0,057	0,05	Z	average
D5	126	2,055	0,002	2,053	0,05	Z	average
D5	127	0,41	0,007	0,403	0,05	Z	average
D5	128	0,17	0,006	0,164	0,05	Z	average
D5	129	0,041	0,004	0,037	0,05	Z	average
D5	130	0,178	0,004	0,174	0,05	Z	average
D5	131	0,032	0,008	0,024	0,05	Z	average
D4	132	0,05	0,002	0,048	0,05	Z	average
D5	133	0,079	0,001	0,078	0,05	Z	average
D4	134	0,042	0,002	0,04	0,05	Z	average
D4-D5	135	0,076	0,004	0,072	0,05	Z	average
D4	136	0,048	0,001	0,047	0,05	Z	average
D4	137	0,032	0,001	0,031	0,05	Z	average
D4	138	4,225	0,009	4,216	0,05	Z	average
D4	139	0,672	0,017	0,655	0,05	Z	average
D4	140	0,777	0,001	0,776	0,05	Z	average
D4	141	0,179	0,006	0,173	0,05	Z	average
D4	142	0,027	0,003	0,024	0,05	Z	average
D4	143	0,404	0	0,404	0,05	Z	average
D4	144	0,128	0,004	0,124	0,05	Z	average
D4	145	0,115	0,004	0,111	0,05	Z	average
D4	146	0,058	0,003	0,055	0,05	Z	average
D4	147	0,431	0,004	0,427	0,05	Z	average
D4	148	0,834	0,006	0,828	0,05	Z	average
D4	149	0,102	0,002	0,1	0,05	Z	average
D4	150	0,02	0,001	0,019	0,05	Z	average
D5	151	0,496	0,021	0,475	0,05	Z	average
D5	152	0,069	0,002	0,067	0,05	Z	average
D5	153	0,074	0,001	0,073	0,05	Z	average
D5	154	0,19	0,01	0,18	0,05	Z	average
D5	155	3,486	0,013	3,473	0,05	Z	average
C5-D5	156	0,178	0,082	0,096	0,05	Z	average
D4	157	0,688	0,006	0,682	0,05	Z	average
D4	158	3,394	0,01	3,384	0,05	Z	average
D4	159	0,142	0,006	0,136	0,05	Z	average
C4	160	4,415	0,01	4,405	0,05	Z	average
C4	161	0,251	0,004	0,247	0,05	Z	average
D4	162	8,637	0,04	8,597	0,05	Z	average
C4-D4	163	5,826	0,046	5,824	0,05	Z	average
D4	164	0,466	0,093	0,373	0,05	Z	average
D4	165	0,259	0,011	0,248	0,05	Z	average
C4	166	1,646	0,023	1,623	0,05	Z	average
C4	167	1,04	0,002	1,038	0,05	Z	average
C4	168	3,724	0,046	3,678	0,05	Z	average
C4	169	1,763	0,011	1,752	0,05	Z	average
D4	170	0,29	0,006	0,284	0,05	Z	average
C4	171	4,75	0,08	4,67	0,05	Z	average
C4	172	5,41	0,086	5,324	0,05	Z	average
C4	173	0,56	0,011	0,549	0,05	Z	average
C4	174	0,025	0,004	0,021	0,05	Z	average
C4	175	0,386	0,005	0,381	0,05	Z	average
C4	176	0,132	0,012	0,12	0,05	Z	average
C4	177	15,171	0,114	15,057	0,05	Z	average
C4	178	0,539	0,031	0,508	0,05	Z	average
C4	179	1,075	0,068	1,007	0,05	Z	average
C4	180	0,035	0,01	0,025	0,05	Z	average
C4	181	0,186	0,004	0,182	0,05	Z	average
C4	182	0,124	0,013	0,111	0,05	Z	average
D4	183	0,11	0,002	0,108	0,05	Z	average
C4	184	0,294	0,016	0,278	0,05	Z	average
C4	185	5,857	0,02	5,837	0,05	Z	average
C5	186	0,165	0,024	0,141	0,05	Z	average
C4	187	0,017	0,001	0,016	0,05	Z	average
C4	188	0,016	0,001	0,015	0,05	Z	average
C5-D5	189	0,19	0,004	0,186	0,05	Z	average
C5	190	0,098	0,009	0,089	0,05	Z	average
C5	191	0,036	0,003	0,033	0,05	Z	average
C5	192	0,087	0,002	0,085	0,05	Z	average
C5	193	0,003	0,005	-0,002	0,05	Z	average
C5	194	0,015	0,001	0,014	0,05	Z	average
D5	195	2,202	0,006	2,196	0,05	Z	average
C5	196	0,122	0,012	0,11	0,05	Z	average
C5	197	0,071	0,006	0,065	0,05	Z	average
C5	198	0,429	0,24	0,189	0,05	Z	average
D5	199	0,021	0,001	0,02	0,05	Z	average
D5	200	0,126	0,011	0,115	0,05	Z	average
D5	201	0,219	0,001	0,218	0,05	Z	average
D5	202	0,043	0,002	0,041	0,05	Z	average
D5	203	0,162	0,001	0,161	0,05	Z	average
D5	204	0,059	0,007	0,052	0,05	Z	average

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
D5	205	1,105	0,003	1,102	0,05	Z	average
D5	206	0,022	0,004	0,018	0,05	Z	average
D5	207	0,254	0,001	0,253	0,05	Z	average
D5	208	0,392	0	0,392	0,05	Z	average
D5	209	0,735	0,017	0,718	0,05	Z	average
D5	210	0,012	0,003	0,009	0,05	Z	average
D5	211	0,084	0	0,084	0,05	Z	average
D5	212	0,018	0,002	0,016	0,05	Z	average
D5	213	0,059	0,01	0,049	0,05	Z	average
D5	214	1,996	0,019	1,977	0,05	Z	average
D5	215	0,006	0,003	0,003	0,05	Z	average
D5	216	0,73	0,025	0,705	0,05	Z	average
D5	217	5,618	0,04	5,578	0,05	Z	average
C5	218	0,198	0,014	0,184	0,05	Z	average
C5	219	0,291	0,005	0,286	0,05	Z	average
C5	220	0,045	0,004	0,041	0,05	Z	average
C5	221	0,73	0,004	0,726	0,05	Z	average
C5	222	1,925	0,031	1,894	0,05	Z	average
C5	223	0,292	0,004	0,288	0,05	Z	average
C5	224	0,608	0,032	0,576	0,05	Z	average
C6	225	1,745	0,004	1,741	0,05	Z	average
C6	226	0,262	0,004	0,258	0,05	Z	average
C5	227	0,061	0,002	0,059	0,05	Z	average
C5	228	0,188	0,01	0,178	0,05	Z	average
C5	229	0,051	0,014	0,037	0,05	Z	average
C5	230	0,051	0,014	0,037	0,05	Z	average
D6	231	1,138	0,014	1,124	0,05	Z	average
D6	232	0,073	0,013	0,06	0,05	Z	average
C6	233	0,013	0,001	0,012	0,05	Z	average
D6	234	1,491	0,003	1,488	0,05	Z	average
D6	235	0,18	0,001	0,179	0,05	Z	average
D6	236	0,012	0,002	0,01	0,05	Z	average
D6	237	0,326	0,001	0,325	0,05	Z	average
D6	238	6,13	0,021	6,109	0,05	Z	average
D6	239	1,658	0,008	1,65	0,05	Z	average
D6	240	0,938	0,002	0,936	0,05	Z	average
D6	241	0,107	0,002	0,105	0,05	Z	average
D6	242	0,133	0,001	0,132	0,05	Z	average
D6	243	0,078	0	0,078	0,05	Z	average
D6	244	1,697	0,002	1,695	0,05	Z	average
D6	245	2,647	0,007	2,64	0,05	Z	average
D6	246	0,107	0,001	0,106	0,05	Z	average
D6	247	10,924	0,032	10,892	0,05	Z	average
D6	248	0,893	0,123	0,77	0,05	Z	average
D6	249	1,162	0,007	1,155	0,05	Z	average
D6	250	0,185	0,001	0,184	0,05	Z	average
D6	251	0,023	0,002	0,021	0,05	Z	average
D6	252	0,043	0	0,043	0,05	Z	average
D6	253	2,629	0,004	2,625	0,05	Z	average
D6	254	25,527	0,298	25,229	0,05	Z	average
D6	255	7,204	0,009	7,195	0,05	Z	average
D6	256	284,616	2,369	282,247	0,05	Z	average
D6	257	0,054	0,004	0,05	0,05	Z	average
D6	258	0,037	0,001	0,036	0,05	Z	average
D6	259	0,1	0,022	0,078	0,05	Z	average
D6	260	8,579	0,07	8,509	0,05	Z	average
D7	261	0,037	0,001	0,036	0,05	Z	average
D7	262	2,041	0,081	1,96	0,05	Z	average
D7	263	0,049	0,018	0,031	0,05	Z	average
D7	264	0,73	0,027	0,703	0,05	Z	average
D7	265	0,337	0,008	0,329	0,05	Z	average
D7	266	84,027	0,122	83,905	0,05	Z	average
D7	267	25,93	0,228	25,702	0,05	Z	average
D7	268	1,224	0,018	1,206	0,05	Z	average
D7	269	4,24	1,671	2,569	0,05	Z	average
D7	270	117,796	0,126	117,67	0,05	Z	average
D7	271	6,257	0,01	6,247	0,05	Z	average
D7	272	0,026	0,057	-0,031	0,05	Z	average
D6	273	1,793	0,038	1,755	0,05	Z	average
D7	274	4,516	0,025	4,491	0,05	Z	average
D7	275	3,282	0,007	3,275	0,05	Z	average
D7	276	76,035	0,439	75,596	0,05	Z	average
D7	277	0,177	0,005	0,172	0,05	Z	average
D6	278	1,553	0,002	1,551	0,05	Z	average
D6	279	1,183	0,013	1,17	0,05	Z	average
D6	280	0,145	0	0,145	0,05	Z	average
D6	281	0,018	0,007	0,011	0,05	Z	average
D6	282	0,029	0,002	0,027	0,05	Z	average
C6	283	0,209	0,008	0,201	0,05	Z	average
C6	284	4,866	0,024	4,842	0,05	Z	average
C6	285	1,074	0,006	1,068	0,05	Z	average
C6-D6	286	12,11	0,061	12,04	0,05	Z	average
C6	287	0,534	0	0,534	0,05	Z	average
D6-D7	288	2,795	0,031	2,764	0,05	Z	average
D7	289	1,17	0,008	1,162	0,05	Z	average
D7	290	0,13	0,029	0,101	0,05	Z	average
D7	291	0,27	0,016	0,254	0,05	Z	average
D7	292	0,032	0,003	0,029	0,05	Z	average
C7	293	0,11	0,004	0,106	0,05	Z	average
C7	294	0,065	0,021	0,044	0,05	Z	average
C7	295	0,036	0,008	0,028	0,05	Z	average
C7	296	0,047	0,011	0,036	0,05	Z	average
C7	297	7,166	0,013	7,153	0,05	Z	average
C7	298	10,361	0,117	10,244	0,05	Z	average
C6-C7	299	0,421	0,012	0,399	0,05	Z	average
D7	300	1,15	0,001	1,149	0,05	Z	average
D7	301	0,251	0,001	0,25	0,05	Z	average
D7	302	0,116	0,001	0,115	0,05	Z	average
D7	303	0,034	0,003	0,031	0,05	Z	average
D7	304	0,058	0,002	0,056	0,05	Z	average
D7	305	0,005	0,005	0	0,05	Z	average
D7	306	0,009	0	0,009	0,05	Z	average

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
D7	307	0,035	0,003	0,032	0,05	Z	average
D7	308	0,002	0	0,002	0,05	Z	average
D7	309	0,001	0,001	0	0,05	Z	average
D7	310	0,001	0,001	0	0,05	Z	average
D7	311	0,622	0,01	0,612	0,05	Z	average
C7	312	0,0436	0,026	0,0176	0,05	Z	average
C7	313	0,694	0,019	0,675	0,05	Z	average
C7	314	6,144	0,038	6,106	0,05	Z	average
C7	315	0,784	0,022	0,762	0,05	Z	average
C7	316	0,415	0,005	0,41	0,05	Z	average
C7	317	0,201	0,005	0,196	0,05	Z	average
C7	318	0,012	0,035	-0,023	0,05	Z	average
C7	319	0,129	0,046	0,083	0,05	Z	average
C7	320	0,007	0,008	-0,001	0,05	Z	average
C7	321	0,011	0,001	0,01	0,05	Z	average
C7	322	0,107	0,006	0,101	0,05	Z	average
C7	323	0,451	0,027	0,424	0,05	Z	average
C7	324	0,018	0,006	0,012	0,05	Z	average
C7	325	4,481	0,029	4,452	0,05	Z	average
C7	326	0,0483	0,003	0,0453	0,05	Z	average
C7	327	4,05	0,008	4,042	0,05	Z	average
C7	328	0,028	0,03	-0,002	0,05	Z	average
C6	329	0,279	0,009	0,27	0,05	Z	average
C6	330	0,112	0,005	0,107	0,05	Z	average
C6	331	0,491	0,004	0,487	0,05	Z	average
C6	332	0,219	0,011	0,208	0,05	Z	average
C6	333	0,053	0,002	0,051	0,05	Z	average
C6	334	46,226	0,201	46,025	0,05	Z	average
C6	335	2,103	0,016	2,087	0,05	Z	average
C6	336	1,26	0,006	1,254	0,05	Z	average
C6	337	2,726	0,006	2,72	0,05	Z	average
C6	338	0,656	0,007	0,649	0,05	Z	average
C6	339	0,22	0,019	0,201	0,05	Z	average
C6	340	0,222	0,011	0,211	0,05	Z	average
C6	341	0,268	0,004	0,264	0,05	Z	average
C6	342	0,909	0,005	0,904	0,05	Z	average
C6	343	2,482	0,03	2,452	0,05	Z	average
C6	344	4,105	0,039	4,066	0,05	Z	average
C6	345	178,088	3,667	174,421	0,05	Z	average
C6	346	7,601	0,597	7,004	0,05	Z	average
C6	347	8,581	0,172	8,409	0,05	Z	average
C6	348	3,37	0,052	3,318	0,05	Z	average
C6	349	13,41	0,269	13,141	0,05	Z	average
C6	350	25,448	0,448	25	0,05	Z	average
C6	351	406,636	0,722	405,914	0,05	Z	average
C6	352	0,078	0,021	0,057	0,05	Z	average
C6	353	0,085	0,01	0,075	0,05	Z	average
C6	354	0,461	0,028	0,433	0,05	Z	average
C6	355	0,045	0,009	0,036	0,05	Z	average
C6	356	0,106	0,019	0,087	0,05	Z	average
C6	357	0,044	0,005	0,039	0,05	Z	average
C6	358	0,086	0,006	0,08	0,05	Z	average
C6	359	0,227	0,013	0,214	0,05	Z	average
C6	360	0,483	0,033	0,45	0,05	Z	average
C6	361	0,134	0,019	0,115	0,05	Z	average
C6	362	1,242	0,025	1,217	0,05	Z	average
C6	363	0,326	0,039	0,287	0,05	Z	average
C6	364	0,087	0,065	0,022	0,05	Z	average
C6	365	0,102	0,008	0,094	0,05	Z	average
C6	366	0,288	0,014	0,274	0,05	Z	average
C6	367	1,71	0,005	1,705	0,05	Z	average
C6	368	0,127	0,02	0,107	0,05	Z	average
C6	369	2,062	0,025	2,037	0,05	Z	average
C5	370	0,335	0,005	0,33	0,05	Z	average
C5	371	0,275	0,015	0,26	0,05	Z	average
C7	372	1,841	0,005	1,836	0,05	Z	average
C7	373	0,121	0,018	0,103	0,05	Z	average
C6	374	0,547	0,037	0,51	0,05	Z	average
C6	375	1,194	0,005	1,189	0,05	Z	average
C6	376	3,178	0,095	3,083	0,05	Z	average
C6	377	0,014	0,004	0,01	0,05	Z	average
C6	378	0,028	0,006	0,022	0,05	Z	average
C6	379	0,107	0,083	0,024	0,05	Z	average
B6	380	0,081	0,003	0,078	0,05	Z	average
B6	381	0,022	0,002	0,02	0,05	Z	average
B6	382	0,346	0,002	0,344	0,05	Z	average
B6	383	0,267	0,011	0,256	0,05	Z	average
B6	384	0,074	0,003	0,071	0,05	Z	average
B6	385	0,222	0,004	0,218	0,05	Z	average
B6	386	0,109	0,004	0,105	0,05	Z	average
B6	387	0,111	0	0,111	0,05	Z	average
B6	388	0,08	0,004	0,076	0,05	Z	average
B6	389	1,889	0,002	1,887	0,05	Z	average
B6	390	0,029	0,001	0,028	0,05	Z	average
B6	391	0,023	0	0,023	0,05	Z	average
B6	392	0,02	0,002	0,018	0,05	Z	average
B6-C6	393	0,017	0	0,013	0,05	Z	average
B6	394	0,003	0,001	0,002	0,05	Z	average
B6-C6	395	0,005	0	0,001	0,05	Z	average
C6	396	0,001	0	0,001	0,05	Z	average
C6	397	0,001	0	0,001	0,05	Z	average
B6	398	0,003	0,001	0,002	0,05	Z	average
B6	399	0,017	0	0,017	0,05	Z	average
B6	400	0,1	0,002	0,098	0,05	Z	average
B6	401	0,073	0,001	0,072	0,05	Z	average
B6	402	0,012	0,001	0,011	0,05	Z	average
B6	403	0,216	0,005	0,211	0,05	Z	average
B6	404	0,385	0,009	0,376	0,05	Z	average
B6	405	0,037	0,001	0,036	0,05	Z	average
B6	406	0,013	0,001	0,012	0,05	Z	average
B6	407	0,006	0,003	0,003	0,05	Z	average
B6	408	0,06	0	0,06	0,05	Z	average

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
B6	409	1,724	0,018	1,706	0,05	Z	average
B5	410	0,824	0,006	0,818	0,05	Z	average
B5	411	0,008	0,004	0,004	0,05	Z	average
B5	412	0,54	0,015	0,525	0,05	Z	average
B5	413	0,862	0,028	0,834	0,05	Z	average
B5	414	0,052	0,001	0,051	0,05	Z	average
C5	415	0,231	0,001	0,23	0,05	Z	average
C5	416	0,238	0,005	0,233	0,05	Z	average
C5	417	0,034	0	0,034	0,05	Z	average
C5	418	0,019	0,001	0,018	0,05	Z	average
C5	419	0,006	0	0,006	0,05	Z	average
C5	420	0,032	0	0,032	0,05	Z	average
B5	421	0,005	0	0,005	0,05	Z	average
B5	422	0,008	0	0,008	0,05	Z	average
B5	423	0,002	0	0,002	0,05	Z	average
B5	424	0,002	0	0,002	0,05	Z	average
C5	425	0,132	0,004	0,128	0,05	Z	average
B5	426	0,008	0	0,008	0,05	Z	average
B5	427	0,004	0,001	0,003	0,05	Z	average
B5	428	0,01	0	0,01	0,05	Z	average
B5	429	0	0	0	0,05	Z	average
B5	430	0,16	0,002	0,158	0,05	Z	average
B5	431	0,051	0,009	0,042	0,05	Z	average
B5	432	0,018	0	0,018	0,05	Z	average
B5	433	0,027	0,001	0,026	0,05	Z	average
B5	434	0,028	0	0,028	0,05	Z	average
C5	435	0,292	0,058	0,234	0,05	Z	average
C5	436	0,031	0,001	0,03	0,05	Z	average
B6	437	0,012	0,002	0,01	0,05	Z	average
B6	438	3,152	0	3,152	0,05	Z	average
B6	439	0,642	0,056	0,586	0,05	Z	average
B6	440	0,01	0,001	0,009	0,05	Z	average
B6	441	0,082	0,012	0,07	0,05	Z	average
B5	442	6,237	0,027	6,21	0,05	Z	average
C5	443	0,022	0,012	0,01	0,05	Z	average
C5	444	0	0	0	0,05	Z	average
B5	445	0,028	0,001	0,027	0,05	Z	average
B5	446	0,008	0	0,008	0,05	Z	average
B4	447	0,457	0,009	0,448	0,05	Z	average
B4	448	0,05	0,001	0,049	0,05	Z	average
B4	449	0,024	0,001	0,023	0,05	Z	average
B4	450	0,216	0,009	0,207	0,05	Z	average
B4	451	0,142	0,004	0,138	0,05	Z	average
B5	452	0,083	0,003	0,08	0,05	Z	average
B5	453	0,123	0,001	0,122	0,05	Z	average
B5	454	0,014	0,002	0,012	0,05	Z	average
B5	455	0,002	0,001	0,001	0,05	Z	average
B5	456	4,584	0,004	4,58	0,05	Z	average
B5	457	0,004	0	0,004	0,05	Z	average
B4	458	0,016	0,003	0,013	0,05	Z	average
B4	459	0,048	0,002	0,046	0,05	Z	average
B4	460	0,064	0,001	0,063	0,05	Z	average
B4	461	0,053	0,001	0,052	0,05	Z	average
B4	462	0,002	0,001	0,001	0,05	Z	average
B4	463	0,452	0,006	0,446	0,05	Z	average
B4	464	0,004	0,002	0,002	0,05	Z	average
C4	465	1,07	0	1,07	0,05	Z	average
C4	466	1,755	0,002	1,753	0,05	Z	average
C4	467	0,024	0,001	0,023	0,05	Z	average
C4	468	0,019	0,001	0,018	0,05	Z	average
C4	469	0,007	0,001	0,006	0,05	Z	average
C4	470	0,064	0,004	0,06	0,05	Z	average
C4	471	0,124	0,001	0,123	0,05	Z	average
C4	472	0,089	0,003	0,086	0,05	Z	average
C4	473	0,061	0,002	0,059	0,05	Z	average
C4	474	0,021	0,003	0,018	0,05	Z	average
C4	475	0,024	0,002	0,022	0,05	Z	average
C4	476	0,025	0,001	0,024	0,05	Z	average
C4	477	0,025	0,004	0,021	0,05	Z	average
C4	478	0,284	0,001	0,283	0,05	Z	average
C4	479	0,003	0	0,003	0,05	Z	average
C4	480	0,08	0,002	0,078	0,05	Z	average
C4	481	0,343	0,001	0,342	0,05	Z	average
C4	482	0,025	0	0,025	0,05	Z	average
C4	483	0,007	0,006	0,001	0,05	Z	average
C4	484	0,034	0,003	0,031	0,05	Z	average
C4	485	0,022	0,001	0,021	0,05	Z	average
C4	486	0,015	0	0,015	0,05	Z	average
C4	487	0,016	0,001	0,015	0,05	Z	average
C4	488	0,042	0,002	0,04	0,05	Z	average
C4	489	0,064	0,009	0,055	0,05	Z	average
C4	490	0,135	0,001	0,134	0,05	Z	average
C4	491	0,301	0,002	0,299	0,05	Z	average
C4	492	0,007	0	0,007	0,05	Z	average
C4	493	0,107	0,018	0,089	0,05	Z	average
C4	494	0,169	0,002	0,167	0,05	Z	average
C4	495	0,074	0,003	0,071	0,05	Z	average
C4	496	0,03	0,007	0,023	0,05	Z	average
C4	497	0,046	0,002	0,044	0,05	Z	average
C4	498	0,017	0,009	0,008	0,05	Z	average
C4	499	0,006	0,001	0,005	0,05	Z	average
C4	500	0,015	0,009	0,006	0,05	Z	average
C4	501	0,049	0,004	0,045	0,05	Z	average
C4	502	0,013	0,004	0,009	0,05	Z	average
C4	503	0,002	0,008	-0,006	0,05	Z	average
C4	504	0,074	0,018	0,056	0,05	Z	average
C4	505	0,042	0,001	0,041	0,05	Z	average
C4	506	0,244	0,008	0,236	0,05	Z	average
C4	507	0,302	0,001	0,301	0,05	Z	average
C4	508	0,245	0,01	0,235	0,05	Z	average
C4	509	0,03	0	0,03	0,05	Z	average
C4	510	0,381	0	0,381	0,05	Z	average

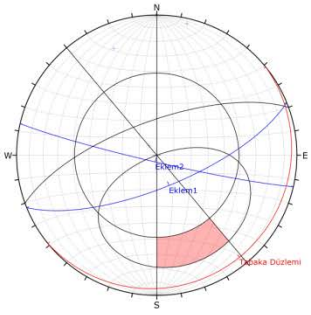
Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
C4	511	0,295	0,007	0,288	0,05	Z	average
C4	512	0,034	0,009	0,025	0,05	Z	average
C4	513	0,077	0,002	0,075	0,05	Z	average
C4	514	0,121	0,003	0,118	0,05	Z	average
C4	515	0,024	0,005	0,019	0,05	Z	average
C4	516	0,009	0,005	0,004	0,05	Z	average
C4	517	0,074	0	0,074	0,05	Z	average
C4	518	0,127	0,001	0,126	0,05	Z	average
C4	519	0,032	0,002	0,03	0,05	Z	average
C4	520	0,038	0,007	0,031	0,05	Z	average
C3	521	0,056	0,029	0,027	0,05	Z	average
C3	522	0,007	0,014	-0,007	0,05	Z	average
C4	523	0,01	0,005	0,005	0,05	Z	average
C3-C4	524	0,021	0,015	0,006	0,05	Z	average
C3	525	0,017	0,001	0,016	0,05	Z	average
C3	526	0,095	0,002	0,093	0,05	Z	average
C3	527	0,005	0,003	0,002	0,05	Z	average
C3	528	0,03	0,001	0,029	0,05	Z	average
C3	529	0,257	0,002	0,255	0,05	Z	average
C3	530	0,027	0,005	0,022	0,05	Z	average
C3	531	0	0,001	-0,001	0,05	Z	average
C3	532	0,005	0,015	-0,01	0,05	Z	average
C3	533	0,013	0	0,013	0,05	Z	average
C3	534	0,032	0,011	0,021	0,05	Z	average
C3	535	0,048	0,013	0,035	0,05	Z	average
C3	536	0,012	0	0,012	0,05	Z	average
C3	537	0,013	0,001	0,012	0,05	Z	average
C3	538	0,072	0,004	0,068	0,05	Z	average
B3	539	82,296	1,651	80,645	0,05	Z	average
B3	540	3,009	0,061	2,948	0,05	Z	average
B3	541	2,492	0,07	2,422	0,05	Z	average
B3	542	0,385	0,011	0,374	0,05	Z	average
C3	543	15,862	0,208	15,654	0,05	Z	average
C3	544	0,326	0,008	0,318	0,05	Z	average
C3	545	0,044	0,003	0,041	0,05	Z	average
C3	546	0,117	0,007	0,11	0,05	Z	average
C3	547	9,498	0,027	9,471	0,05	Z	average
C3	548	0,005	0	0,005	0,05	Z	average
C3	549	0,005	0,001	0,004	0,05	Z	average
C3	550	0,036	0,002	0,034	0,05	Z	average
C3	551	0,158	0,001	0,157	0,05	Z	average
C3	552	0,03	0,002	0,028	0,05	Z	average
C3	553	0,021	0,001	0,02	0,05	Z	average
C3	554	0,108	0,003	0,105	0,05	Z	average
C3	555	0,022	0,002	0,02	0,05	Z	average
C3	556	0,004	0,001	0,003	0,05	Z	average
C3	557	0,056	0,006	0,05	0,05	Z	average
D3	558	0,009	0,002	0,007	0,05	Z	average
C3	559	0,099	0,006	0,093	0,05	Z	average
C2	560	50,493	0,016	50,477	0,05	Z	average
C2	561	2,109	0,016	2,093	0,05	Z	average
C2	562	0,404	0,13	0,274	0,05	Z	average
C2	563	0,007	0,001	0,006	0,05	Z	average
C2	564	0,007	0	0,007	0,05	Z	average
C2	565	0,626	0,002	0,624	0,05	Z	average
C2	566	0,045	0,005	0,04	0,05	Z	average
C2	567	2,017	0,046	1,971	0,05	Z	average
C2	568	0,14	0,002	0,138	0,05	Z	average
C2	569	0,061	0,002	0,059	0,05	Z	average
C2	570	0,244	0	0,244	0,05	Z	average
C2	571	4,694	0,02	4,674	0,05	Z	average
D2	572	0,538	0,01	0,528	0,05	Z	average
D2	573	0,233	0,001	0,232	0,05	Z	average
D2	574	0,465	0,003	0,462	0,05	Z	average
D2	575	0,115	0,035	0,08	0,05	Z	average
C2	576	0,012	0	0,012	0,05	Z	average
D2	577	0,014	0	0,014	0,05	Z	average
D2	578	0,067	0,004	0,063	0,05	Z	average
D3	579	0,692	0,011	0,681	0,05	Z	average
D3	580	0,126	0,007	0,119	0,05	Z	average
D3	581	0,022	0,001	0,021	0,05	Z	average
D3	582	0,084	0,009	0,075	0,05	Z	average
D2	583	0,11	0,056	0,054	0,05	Z	average
D2	584	0,058	0,013	0,045	0,05	Z	average
D2	585	0,035	0,008	0,027	0,05	Z	average
D2	586	0,027	0,003	0,024	0,05	Z	average
D2	587	0,014	0,007	0,007	0,05	Z	average
D2	588	0,01	0	0,01	0,05	Z	average
E1	589	0,06	0	0,06	0,05	Z	average
E1	590	0,028	0,002	0,026	0,05	Z	average
E1	591	5,023	0,194	4,829	0,05	Z	average
D1-E1	592	0,108	0,018	0,09	0,05	Z	average
D1	593	0,004	0,004	0	0,05	Z	average
E1	594	0,02	0,006	0,014	0,05	Z	average
E1	595	0,003	0,006	-0,003	0,05	Z	average
D1	596	0,016	0,003	0,013	0,05	Z	average
E1	597	0,036	0,016	0,02	0,05	Z	average
D1	598	0,01	0,008	0,002	0,05	Z	average
D1	599	0,053	0,015	0,038	0,05	Z	average
D1	600	0,01	0,002	0,008	0,05	Z	average
E1	601	0,048	0,003	0,045	0,05	Z	average
E1	602	0,047	0,028	0,019	0,05	Z	average
E1	603	0,12	0,011	0,109	0,05	Z	average
E1	604	0,275	0,019	0,256	0,05	Z	average
E1	605	0,054	0,027	0,027	0,05	Z	average
E1	606	0,147	0,023	0,124	0,05	Z	average
E1	607	0,008	0,003	0,005	0,05	Z	average
E1	608	0,077	0,007	0,07	0,05	Z	average
E1	609	2,438	0,04	2,398	0,05	Z	average
E1	610	0,051	0,006	0,045	0,05	Z	average
E1	611	0,442	0,004	0,438	0,05	Z	average
E1	612	0,092	0,017	0,075	0,05	Z	average

Karelaj No	BlokNo	Hacim			Volume_Grid		
		(+)	(-)	Net Hacim	step	projection dir.	cell height
E1	613	0,194	0,003	0,191	0,05	Z	average
E1	614	0,001	0,006	-0,005	0,05	Z	average
D1	615	0,043	0,007	0,036	0,05	Z	average
D1	616	0,012	0,002	0,01	0,05	Z	average
D1	617	0,004	0,001	0,003	0,05	Z	average
D1	618	0,002	0,002	0	0,05	Z	average

- Sarı ile işaretlenmiş bloklar birden fazla karelaj içerisinde bulunan bloklardır.
- Kırmızı ile işaretlenmiş bloğun hacmi 0.000m^3'tür

EK 10

KİNEMATİK ANALİZ SONUÇLARINI GÖSTERİR STEREONETLER



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

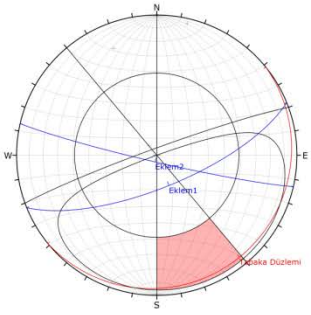
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	90	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

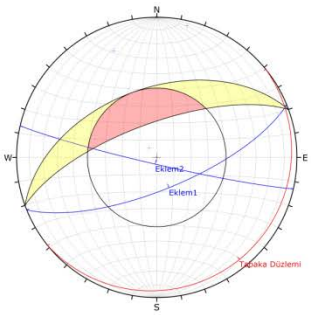
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	80	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°

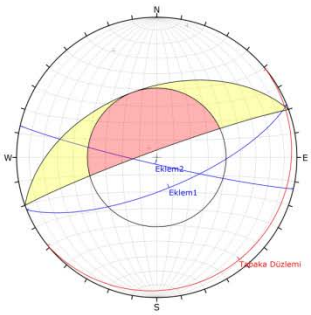
	Critical	Total	%
Wedge Sliding:	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	90	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°

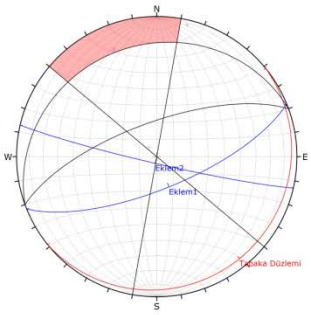
	Critical	Total	%
Wedge Sliding:	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	80	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

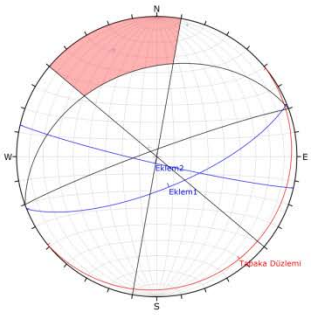
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	90	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Devrilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

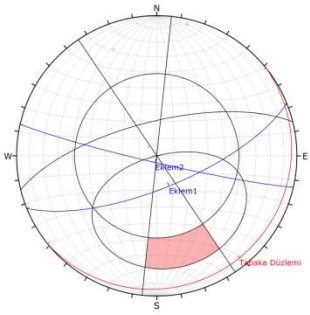
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	80	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev1

Devrilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

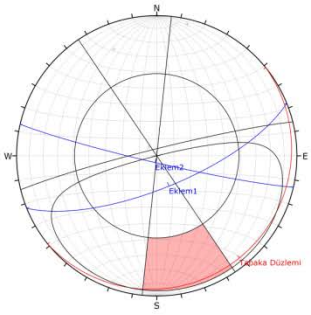
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	90	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

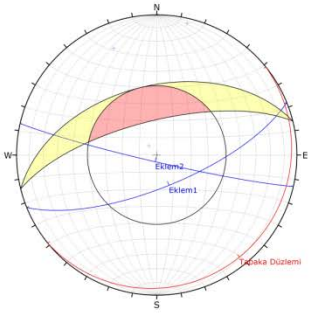
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	80	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°

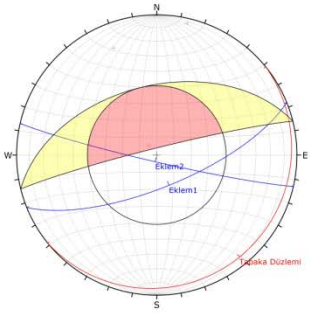
	Critical	Total	%
Wedge Sliding:	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	90	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	80
Slope Dip Direction	340
Friction Angle	40°

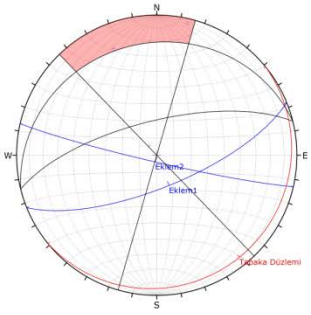
	Critical	Total	%
Wedge Sliding:	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	80	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Kama Tipi Yenilme



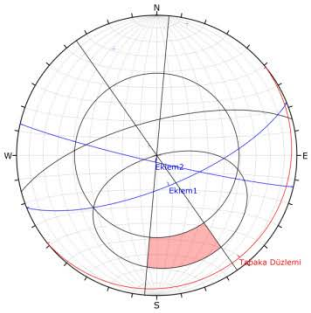
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	346
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Devrilme



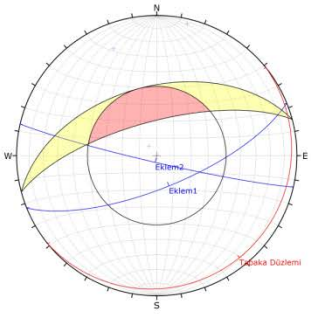
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	345
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Düzlemsel Yenilme



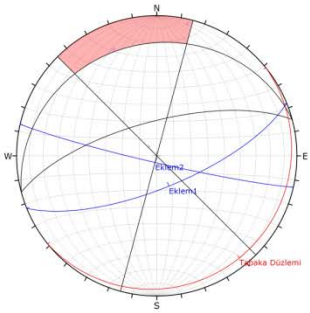
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	345
Friction Angle	40°

		Critical	Total	%
Wedge Sliding		0	0	0%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Kama Tipi Yenilme



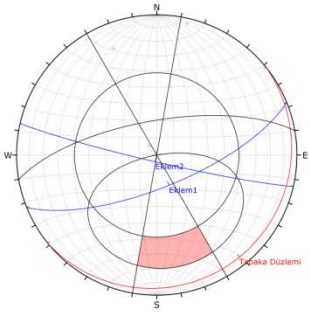
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	345
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Devrilme



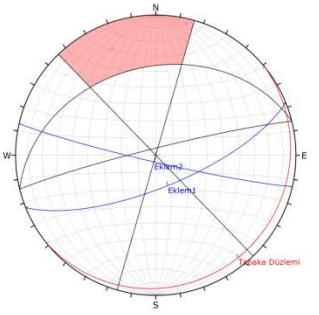
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	355
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Düzlemsel Yenilme



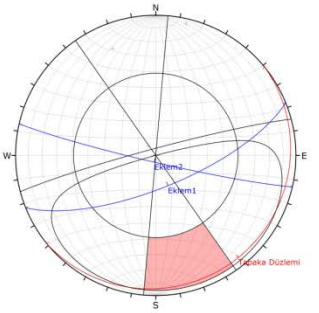
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	346
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev2

Devrilme



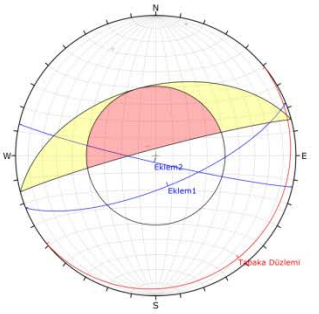
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	346
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Düzlemsel Yenilme



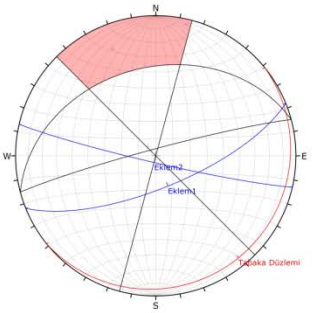
Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	346
Friction Angle	40°

		Critical	Total	%
Wedge Sliding		0	0	0%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Kama Tipi Yenilme



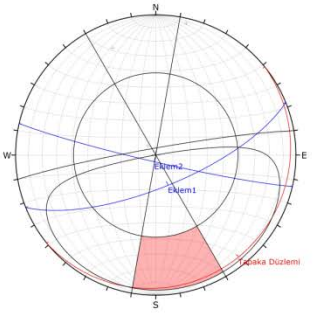
Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	346
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev3

Devrilme



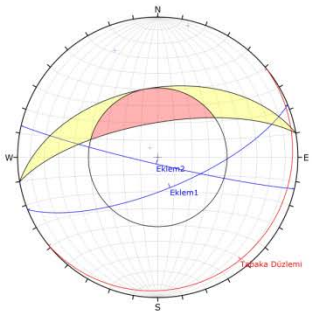
Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	355
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

		Critical	Total	%
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	193	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	350
Friction Angle	40°

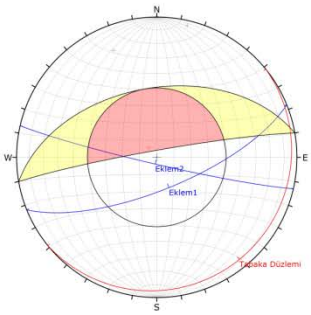
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	350
Friction Angle	40°

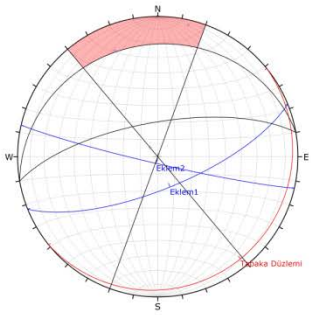
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	350
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

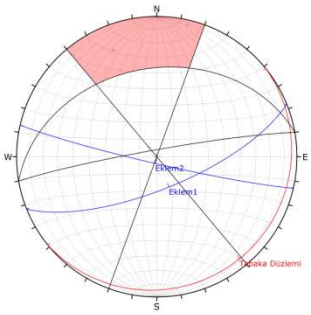
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Devrilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	350
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

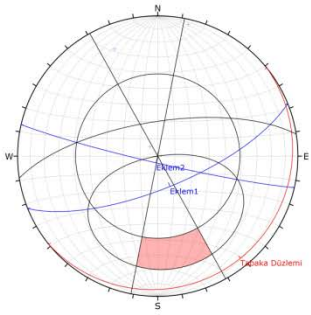
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev4

Devrilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

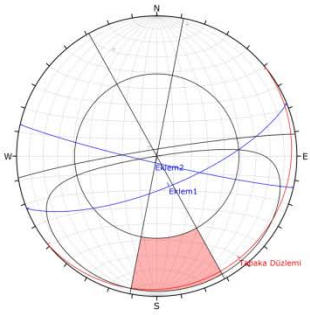
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°
Lateral Limits	20°

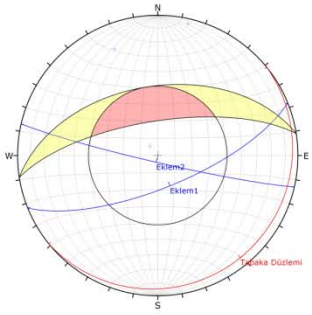
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°

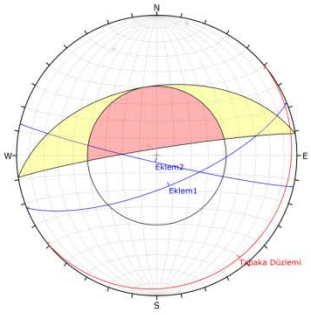
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°

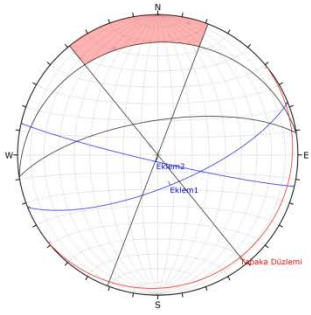
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	0	0	0%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

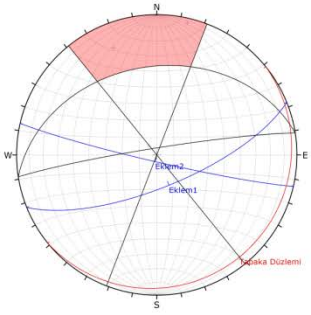
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Devrilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	90
Slope Dip Direction	351
Friction Angle	40°
Lateral Limits	30°

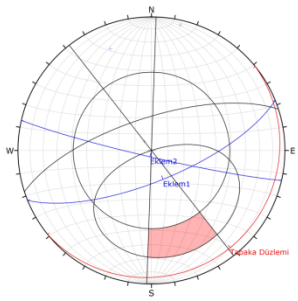
	Critical	Total	%

Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes			
1	71	158	Eklem1
2	86	193	Eklem2
3	7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (0 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev5

Devrilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°
Lateral Limits	20°

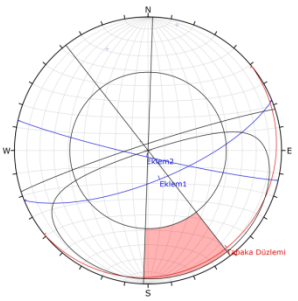
		Critical	Total	%
Planar Sliding		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Planar Sliding
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°
Lateral Limits	20°

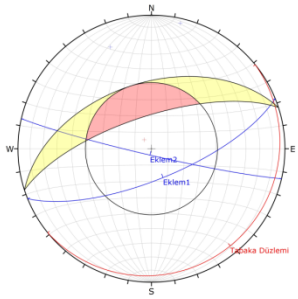
		Critical	Total	%
Planar Sliding		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Düzlemsel Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°

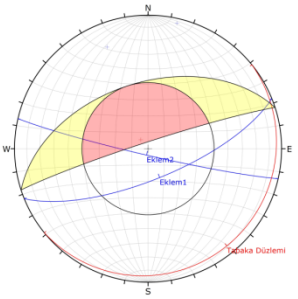
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°

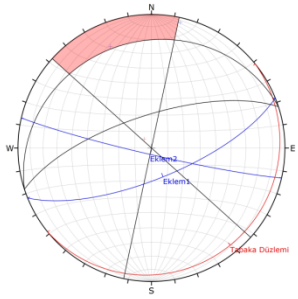
		Critical	Total	%
Wedge Sliding		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	0
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Kama Tipi Yenilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°
Lateral Limits	20°

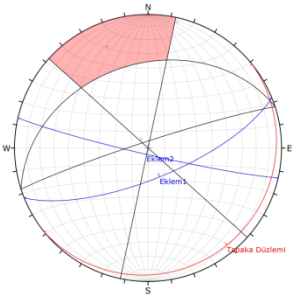
		Critical	Total	%
Flexural Toppling		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Devrilme



Kinematic Analysis	Flexural Toppling
Slope Dip	86
Slope Dip Direction	342
Friction Angle	49°
Lateral Limits	20°

		Critical	Total	%
Flexural Toppling		0	0	0%

	Color	Dip	Dip Direction	Label
User Planes				
1		71	158	Eklem1
2		86	103	Eklem2
3		7	141	Tabaka Düzlemi

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	0 (3 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

Sev6

Devrilme

f

EK 11

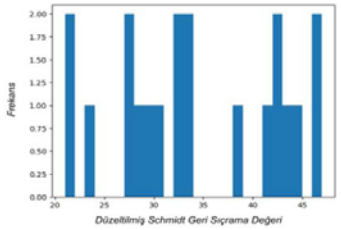
ARAZİDE YAPILAN

SCHMIDT ÇEKİCİ DENEYLERİNE AİT SONUÇLAR

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:25
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	20	21
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	20	21
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	22	23
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	26	27
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	26	27
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	27	28
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	28	29
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	28	30
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	30	32
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	30	32
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	32	33
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	32	33
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	37	38
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	39	41
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	40	42
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	40	42
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	42	43
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	43	44
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	44	46
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	26	46	47

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

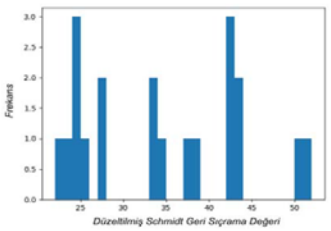


En Düşük	21
En Yüksek	47
Ortalama	33,95
Ortanca	32,5
Tepe Değeri	21, 27, 33, 34, 42

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:26
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	21	22
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	22	23
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	23	24
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	23	24
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	23	24
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	24	25
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	26	27
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	26	27
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	31	33
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	31	33
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	33	34
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	36	37
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	37	38
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	40	42
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	41	42
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	41	42
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	42	43
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	42	43
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	48	50
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	30	50	52

Histogram



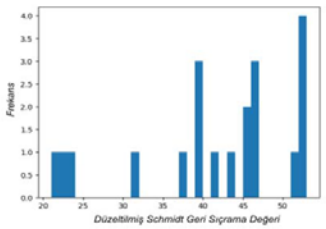
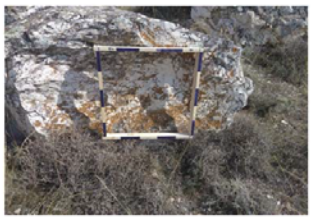
Deney Yapılan Yüzey



En Düşük	22
En Yüksek	52
Ortalama	34,25
Ortanca	33,5
Tepe Değeri	24, 42

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:190
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

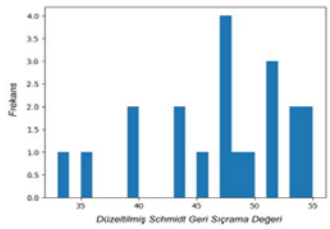
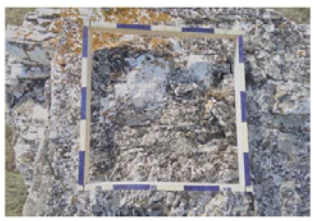
Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	20	21
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	21	22
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	22	23
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	30	31
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	36	37
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	38	39
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	38	39
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	38	39
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	40	41
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	42	43
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	44	45
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	44	45
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	45	46
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	45	46
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	45	46
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	50	51
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	51	52
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	51	52
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	51	52
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	52	53

Histogram	Deney Yapılan Yüzey
	

En Düşük	21
En Yüksek	53
Ortalama	41,15
Ortanca	44
Tepe Değeri	39, 46, 52

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:198
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	28	33
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	32	35
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	36	39
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	36	39
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	40	43
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	40	43
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	42	45
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	44	47
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	44	47
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	44	47
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	44	47
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	46	49
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	46	48
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	48	51
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	48	51
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	48	51
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	50	53
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	50	53
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	52	55
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	50	52	55

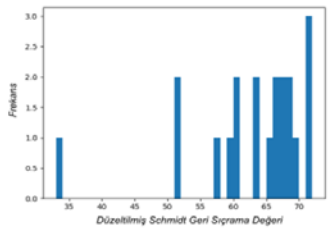
Histogram	Deney Yapılan Yüzey
	

En Düşük	33
En Yüksek	55
Ortalama	46,55
Ortanca	47
Tepe Değeri	47

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:198
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	32	33
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	50	51
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	50	51
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	56	57
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	58	59
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	59	60
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	59	60
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	62	63
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	62	63
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	64	65
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	65	66
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	65	66
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	66	67
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	66	67
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	67	68
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	67	68
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	68	69
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	70	71
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	70	71
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	10	71	72

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

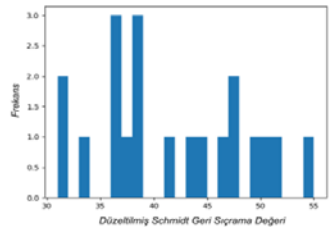


En Düşük	33
En Yüksek	72
Ortalama	62,35
Ortanca	65,5
Tepe Değeri	51, 60, 63, 66, 67, 68, 71

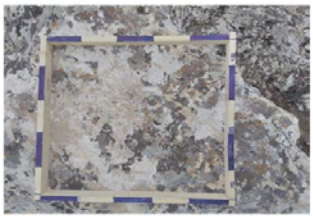
Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:118
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	28	31
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	28	31
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	30	33
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	33	36
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	33	36
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	33	36
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	34	37
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	35	38
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	35	38
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	35	38
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	38	41
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	40	43
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	41	44
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	43	46
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	44	47
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	44	47
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	46	49
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	47	50
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	48	51
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	60	52	55

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

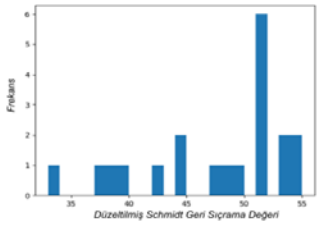


En Düşük	31
En Yüksek	55
Ortalama	41,35
Ortanca	39,5
Tepe Değeri	36,38

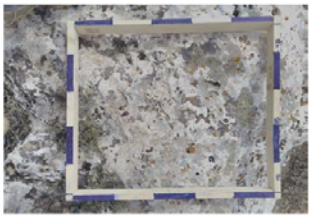
Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:139
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	28	33
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	32	37
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	33	38
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	34	39
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	37	42
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	40	44
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	40	44
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	44	47
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	45	48
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	46	49
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	48	51
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	50	53
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	50	53
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	51	54
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	90	52	55

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

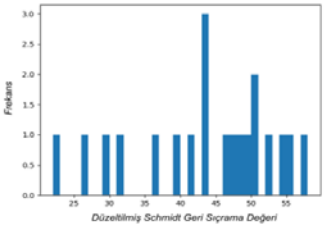


En Düşük	33
En Yüksek	55
Ortalama	47,1
Ortanca	50
Tepe Değeri	51

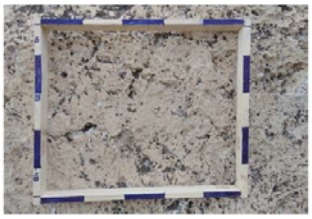
Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:107
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)
Örnekleme Tarihi	01.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	21	22
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	25	26
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	28	29
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	30	31
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	35	36
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	38	39
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	40	41
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	42	43
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	42	43
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	42	43
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	45	46
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	46	47
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	47	48
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	48	49
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	49	50
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	49	50
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	51	52
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	53	54
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	54	55
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	18	57	58

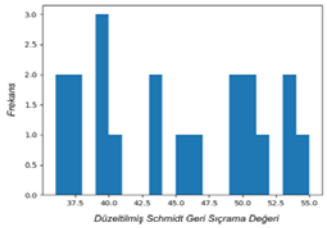
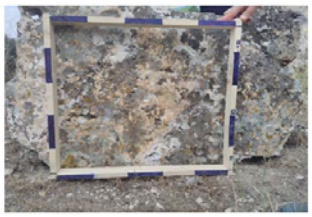
Histogram



Deney Yapılan Yüzey



En Düşük	22
En Yüksek	58
Ortalama	43,1
Ortanca	44,5
Tepe Değeri	43

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4					
Coğrafi Konum	Nallıhan Kuş Cenneti - Blok No:91					
Örnekleme Tipi	Yerinde (In-situ)					
Örnekleme Tarihi	01.07.2018					
Çekiç Tipi	L-Tipi					
Örnek No	**Örnek Tipi**	**Örnek Boyutları [cm]**	**Örneğin nemliliği**	**Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]**	**Schmidt Geri Sıçrama Değeri**	**Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri**
1	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	35	36
2	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	35	36
3	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	36	37
4	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	36	37
5	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	38	39
6	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	38	39
7	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	38	39
8	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	39	40
9	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	42	43
10	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	42	43
11	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	44	45
12	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	45	46
13	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	48	49
14	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	48	49
15	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	49	50
16	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	49	50
17	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	50	51
18	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	52	53
19	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	52	53
20	Blok Yüzeyi	50cm X 50cm	Kuru	12	54	55
Histogram				**Deney Yapılan Yüzey**		
						
En Düşük	36					
En Yüksek	55					
Ortalama	44,5					
Ortanca	44					
Tepe Değeri	39					

EK 12

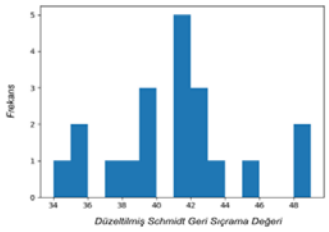
LABORATUVARDA YAPILAN

SCHMIDT ÇEKİCİ DENEYLERİNE AİT SONUÇLAR

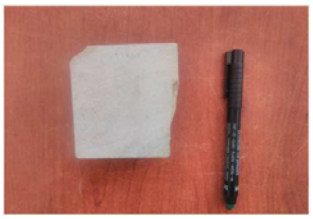
Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Hacettepe Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı - Örnek No:1
Örnekleme Tipi	Laboratuvar - El örneği
Örnekleme Tarihi	03.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	31	34
2	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	32	35
3	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	32	35
4	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	34	37
5	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	35	38
6	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
7	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
8	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
9	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
10	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
11	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
12	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
13	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
14	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	39	42
15	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	39	42
16	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	39	42
17	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	40	43
18	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	42	45
19	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	45	48
20	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	46	49

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

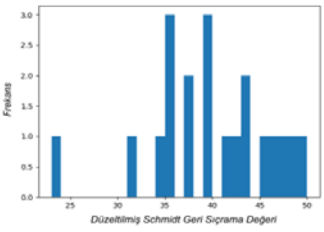


En Düşük	34
En Yüksek	49
Ortalama	40,6
Ortanca	41
Tepe Değeri	41

Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Hacettepe Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı - Örnek No:2
Örnekleme Tipi	Laboratuvar - El örneği
Örnekleme Tarihi	03.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	20	23
2	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	28	31
3	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	31	34
4	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	32	35
5	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	32	35
6	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	32	35
7	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	34	37
8	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	34	37
9	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
10	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
11	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	36	39
12	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	38	41
13	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	39	42
14	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	40	43
15	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	40	43
16	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	42	45
17	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	43	46
18	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	44	47
19	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	45	48
20	Blok Yüzeyi	10cm X 11cm	Kuru	90	47	50

Histogram



Deney Yapılan Yüzey

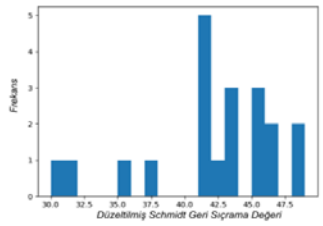


En Düşük	23
En Yüksek	50
Ortalama	39,45
Ortanca	39
Tepe Değeri	35, 39

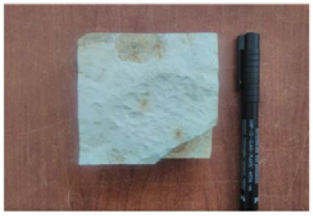
Kayaç Tanımlaması	Bkz Tablo 5.4
Coğrafi Konum	Hacettepe Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarı - Örnek No:3
Örnekleme Tipi	Laboratuvar - El örneği
Örnekleme Tarihi	03.07.2018
Çekiç Tipi	L-Tipi

Örnek No	Örnek Tipi	Örnek Boyutları [cm]	Örneğin nemliliği	Çekiç ekseninin yataya göre konumu [°]	Schmidt Geri Sıçrama Değeri	Düzeltilmiş Schmidt Geri Sıçrama Değeri
1	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	27	30
2	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	28	31
3	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	32	35
4	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	34	37
5	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	38	41
6	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	38	41
7	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	38	41
8	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	38	41
9	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	38	41
10	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	39	42
11	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	40	43
12	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	40	43
13	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	40	43
14	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	42	45
15	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	42	45
16	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	42	45
17	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	43	46
18	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	43	46
19	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	46	49
20	Blok Yüzeyi	11cm X 11cm	Kuru	90	46	49

Histogram



Deney Yapılan Yüzey



En Düşük	30
En Yüksek	49
Ortalama	41,7
Ortanca	42,5
Tepe Değeri	41

9. ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri:

Adı Soyadı : Necib ÇAPAR

Doğum Yeri : Ankara

Medeni Hali : Bekar

E-posta : necipcapar@outlook.com

Adresi : Bahçelievler 52.Sk No: 41/8 Çankaya, Ankara, TÜRKİYE

Eğitim:

İlkokul : *1990-1994* Özel Arı Koleji Ankara

Ortaokul ve Lise : *1994-2000* TED Ankara Koleji (Matematik-Fen Bölümü)

Lisans : 2001-2007 İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Geomatik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Doktora : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Doktora Programı

Yabancı Dil ve Düzeyi:

İngilizce

Okuma: *Çok İyi*

Yazma: *Çok İyi*

Konuşma: *Çok İyi*

Almanca

Okuma: *Başlangıç*

Yazma: *Başlangıç*

Konuşma: *Başlangıç*

İş Deneyimi:

2010-2011: EMAY Uluslararası Mühendislik ve Müşavirlik A.Ş.
(Jeoloji Yüksek Mühendisi)

2011-2015: Fugro-Sial Yerbilimleri Müşavirlik ve Mühendislik Ltd. Şti.
(Jeoloji Yüksek Mühendisi)

2015 : STFA Temel Araştırma ve Sondaj A.Ş.

(Jeoloji Yüksek Mühendisi – Geoteknik Uygulama Şefi)

Deneyim Alanları:

Mühendislik Jeolojisi, Kaya Mekaniği, Tüneller, Kaya Düşmeleri

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 14/11/2018

Tez Başlığı / Konusu:
"Kaya Düşmesi Analizinde Geri Sıçrama Katsayısının Etkisinin Deneysel ve Analitik Yöntemlerle İncelenmesi"

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam ..210.... sayfalık kısmına ilişkin, 14./..11.../.2018 tarihinde ~~şahsım~~/tez damşmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 4 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:
1- Kaynakça hariç
2- Alıntılar hariç/~~dâhil~~
3- 5 kelimeden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orjinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Tarih ve İmza
14.11.2018

Adı Soyadı:	Necib ÇAPAR
Öğrenci No:	N13143045
Anabilim Dalı:	Jeoloji Mühendisliği
Programı:	Uygulamalı Jeoloji
Statüsü:	☐ Y.Lisans ☒ Doktora ☐ Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU
(Unvan, Ad Soyad, İmza)