

**IHLARA VADİSİNDE (AKSARAY) DEVRİLME
DUYARLILIĞININ FOTOGRAFİK VE KİNEMATİK
ANALİZLERLE İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF TOPPLING SUSCEPTIBILITY IN
IHLARA VALLEY (AKSARAY) BY PHOTOGRAMMETRIC
AND KINEMATIC ANALYSIS**

HACER SELİN ÖZTÜRK

PROF. DR. CANDAN GÖKÇEOĞLU

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2019

Hacer Selin ÖZTÜRK' ün hazırladığı "İhlara Vadisinde (Aksaray) Devrilme Duyarlılığının Fotogrametrik ve Kinematik Analizlerle İncelenmesi" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri üyeleri tarafından JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adil Binal
Başkan



Prof. Dr. Candan Gökçeoğlu
Danışman



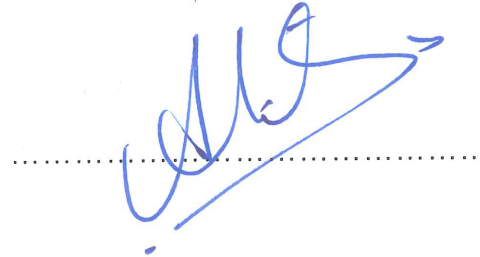
Prof. Dr. Murat Ercanoğlu
Üye



Doç Dr. Ali Kayabaşı
Üye



Doç. Dr. Ali Özgün Ok
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak .../.../..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Canım babaannem ve canım ailem için...

ETİK

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

- 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 değişiklik yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı beyan ederim.

13 / 06 / 2019

 (imza)
Hacer Selin ÖZTÜRK


YAYIMLANMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarda kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesi' ne verdiğimi bildiririm. Bu izinle üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri ve 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 kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime 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.

13/06/2019
 (İmza)
Hacer Selin ÖZTÜRK

ÖZET

IHLARA VADİSİNDE (AKSARAY) DEVRİLME DUYARLILIĞININ FOTOGRAMETRİK VE KİNEMATİK ANALİZLERLE İNCELENMESİ

Hacer Selin ÖZTÜRK

**Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Tez Danışmanı: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU
Haziran 2019, 83 sayfa**

Sunulan tez kapsamında, çalışma alanı olarak Aksaray ili sınırları içinde bulunan Ihlara Vadisi'nin tarihi kiliselerin ve geçmişte yaşamış insanların, kayaları oyarak inşa etmiş olduğu yapıların bulunduğu bir kısmı seçilmiştir. Seçilen vadi kenarı parçası, vadinin en çok ziyaretçi alan kısımlarından biridir.

Sahanın hakim litolojisi sütunsal yapılı Kızılkaya ignimbiriti ve Melendiz Nehrinden dolayı vadi tabanında oluşan alüvyon olmakla birlikte yer yer tuf seviyeleri de gözlenmektedir. Jeolojik tarihçeden ve Melendiz Nehri'nin zamanla vadiyi şekillendirmesinden dolayı Ihlara Vadisi günümüzdeki görünümüne kavuşmuştur.

Bölgedeki fiziksel etkenlerden ötürü, sütun şeklinde ve eğimi yüksek olan ignimbiritler devrilme duraysızlığına uğramaktadır. Duraysızlıkların analizleri için gerekli olan en önemli ve başlangıç adımı duraysızlığa sebep olan kaya kütesine ait olan süreksizliklerin tanımlanması ve özelliklerinin ortaya konulmasıdır. Süreksizlik karakterizasyonu için öncelikle eğim ve eğim yönü belirlenmelidir.

Arazinin sert ve dik topoğrafyası nedeniyle süreksizliklerin yöneliminin geleneksel pusula yöntemi ile her noktadan ölçülmesi neredeyse imkansızdır. Bu nedenle mühendislik jeolojisi alanında kullanımı gün geçtikçe artan fotogrametrik tekniklerden yararlanılmıştır.

Çalışmanın ana amacı, akıllı telefon kamerasıyla çekilen görüntüler ve fotogrametrik teknikler kullanılarak, süreksizlik kontrollü yenilmelerin değerlendirilmesi için az maliyetli yeni bir yaklaşım sunmaktır. Bu yaklaşımla çalışma alanına benzer şekilde geleneksel jeoteknik araştırmaya uygun olmayan bir topoğrafya için ölçümler daha az maliyetle, daha az çabayla ve daha kısa zamanda alınmış olacaktır.

Çalışma oldukça düşük bir maliyetle tamamlanmıştır. Çalışmadaki prosedür ile blokların hacimlerinin hesaplanması, şev hareketlerinin izlenmesi gibi işlemlerin de geleneksel yöntemlere göre daha az çabayla gerçekleştirilmesi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Devrilme, Fotogrametri, Kinematik analiz, Ihlara Vadisi, Yüzey modelleme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF TOPPLING SUSCEPTIBILITY IN IHLARA VALLEY (AKSARAY) BY PHOTOGRAMMETRIC AND KINEMATIC ANALYSIS

Hacer Selin ÖZTÜRK

Master Of Science, Geological Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

June, 2019, 83 pages

Within the presented thesis, a part of Ihlara Valley's side has been selected as the study area where the historical churches and carving structures were constructed by ancient people in Aksaray provincial borders. Selected part of the valley is one of the most visited places in this area.

The dominant lithology of the area is the alluvium formed at the valley floor due to the columnar Kizilkaya ignimbrite and the Melendiz River. Due to the geological history and the Melendiz River shaping the valley in time, the Ihlara Valley has gained its present appearance.

Columnar shaped and high oblique ignimbrites receive toppling failure because of the physical factors in this region. Features and definition of the discontinuities which causes instabilities in rock mass must be presented. This study is the most important and initial step to analyze instabilities as well. First of all dips and dip directions must be determined to characterize discontinuities.

Due to the steep topography, assessment of discontinuities by measuring with a compass is almost impossible. For this reason, photogrammetric techniques, which have increasingly been used in engineering geology applications, have been employed.

The main purpose of this study is to provide a new cost-effective approach to the evaluation of discontinuity controlled failures using smartphone camera images and photogrammetric techniques. With this approach, measurements for a topography that is not suitable for traditional geotechnical research similar to the field of study will be taken with less cost, less effort and less time.

This study has been completed with a minimal cost. With the procedure proposed in this study, it is possible to calculate volume of the blocks and to monitor the slope movements with least effort.

Keywords: Toppling, Photogrammetry, Kinematic analysis, Ihlara Valley, Surface modeling.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmasının her aşamasında yanımda olan, eşsiz bilgi birikimi ve tecrübesiyle desteklerini esirgemeyen tez danışmanım, değerli hocam, Sayın Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU'na,

Tez çalışmasının her aşamasına verdiği bilimsel katkıların yanında, hiçbir konuda desteğini benden esirgemeyerek daima yanımda olan değerli hocam, Sayın Doç. Dr. Sultan Kocaman GÖKÇEOĞLU'na,

Tez çalışmasının tamamlanabilmesi için ek veri setini setinin sağlanmasında büyük katkıları olan, Sayın Dr. Müh. Alb. Altan YILMAZ'a (Harita Genel Komutanlığı),

Tez çalışmasının kıymetli görüşleriyle son halini almasını sağlayan değerli jüri üyelerine,

Bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmaya büyük destek veren, Sayın Dr. Müh. Necib ÇAPAR'a,

Bu süreçte bilimsel katkılarının yanında bilgi ve emeğiyle bana her zaman güç veren Sayın, Yük. Müh. Selim Serkan ÖZTÜRK'e,

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi, bu çalışma süresinde de hiçbir zaman maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta annem ve babam, Nermin Ayşe ÖZTÜRK ve Zeki Yüksel ÖZTÜRK olmak üzere tüm aileme,

Sonsuz Teşekkürler...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
ÇİZELGELER	viii
ŞEKİLLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	4
2.1. Tez Konusu İle İlgili Önceki Çalışmalar.....	4
2.2. Çalışma Alanı ve Çevresinde Yapılan Çalışmalar	16
3. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ	25
3.1. Çalışma Alanının Konumu.....	25
3.2. Çalışma Alanının ve Civarının Jeolojik Özellikleri.....	28
3.3. Çalışma Alanı ve Civarının Stratigrafik Özellikleri	32
3.3.1. Kırşehir Masifi.....	34
3.3.2. Mamasun Ofiyolitik Karışığı (Ko).....	35
3.3.3. Orta Anadolu Granitoyitleri (Kog).....	35
3.3.4. Çayraz Formasyonu (Teç).....	36
3.3.5. İncik Formasyonu (Toi).....	36
3.3.6. Keçikalesi Volkaniti (Tmke).....	37
3.3.7. İç Anadolu Grubu (Ti).....	37
3.3.8. Keçiboyduran Volkaniti (Qk, Qkp).....	42
3.3.9. Melendizdağ Volkaniti (Qm).....	42
3.3.10. Göllüdağ Volkaniti (Qg, Qgp).....	43
3.3.11. Acıgöl Volkaniti (Qac)	43
3.3.12. Kuyulutatlar Volkaniti (Qku, Qkuc).....	43
3.3.13. Karataş Volkaniti (Qka, Qkac)	44
3.3.14. Hasandağ Volkanitleri (Qh).....	44
3.3.15. Traverten (Qtr), Yamaç Molozu (Qym), Alüvyon (Qal)	45
4. FOTOGRAMETRİK VERİ İŞLEME	46
5. SÜREKSİZLİK DEĞERLENDİRMELERİ.....	54

5.1. Devrilme Duraysızlığı	54
5.2. Süreksizliklerin Model Tabanlı Ölçümü	55
5.3. Model Üzerinden Ölçülen Süreksizliklerin Kinematik Analizi	57
6. SONUÇLAR	68
6.1. Fotogrametrik Veri İşleme	68
6.2. Jeoteknik Değerlendirme	71
7. TARTIŞMA VE YORUM	73
8. KAYNAKLAR	75
EKLER	80
EK 1- Tezden Türetilmiş Yayınlar	81
EK 2- Tez Orijinallik Raporu	82
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELER

Çizelge 5.1. Her segmentin yazılım üzerinden hesaplanmış eğim ve eğim yönü değerleri.....	60
Çizelge 6.1. Dengeleme sonuçları.....	69
Çizelge 6.2. 5 adet kontrol noktası kullanıldığında (bağımsız denetim noktası kullanılmadığında) blok üçgenlemesi sonuçları.....	70
Çizelge 6.3. Süreksizlik setlerinin ana eklem yönelimleri.....	71

ŞEKİLLER

Şekil 1.1.	İş akış diyagramı.....	3
Şekil 3.1.	Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	26
Şekil 3.2.	Ihlara Vadisi'nden genel görünüm.....	27
Şekil 3.3.	Türkiye'nin ana yapısal özellikleri.....	29
Şekil 3.4.	Nevşehir platosu civarının ve OAVK'nın topoğrafik haritası.....	30
Şekil 3.5.	Kızılkaya İgnimbiriti'nin dağılımı.....	32
Şekil 3.6.	Çalışma alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti.....	33
Şekil 4.1.	Sütunsal ignimbiritlerden ayrılan kaya blokları.....	47
Şekil 4.2.	Vadi tabanından çekilen fotoğrafların kullanılmamasına neden olan ağaçlar ve ayrılan bloklar.....	48
Şekil 4.3.	Çalışma alanının hava ortofotosundan ve sayısal arazi modellerinden üretilmiş olan genel bir görüntüsü.....	49
Şekil 4.4.	Çalışma alanındaki görüntüler ve konumları.....	50
Şekil 4.5.	Yer kontrol noktalarının proje alanındaki dağılımının üretilmiş olan yüzey modeli üzerindeki gösterimi.....	50
Şekil 4.6.	YKN-1'in (a) cep telefonu görüntüsünde, (b) üretilmiş olan yüzey modelinde ve (c) 1 m çözünürlüğe sahip SYM üzerine giydirilmiş hava fotoğrafı üzerindeki konumu.....	53
Şekil 5.1.	Eğimi yüksek olan süreksizlikler tarafından ayrılmış ve devrilmeye müsait olan bloklar. (a); süreksizlik yüzeyinden bir kaya parçası ile ayrılmış olan blok, (b); devrilme duraysızlığının bir diyagramda gösterimi.....	54
Şekil 5.2.	Bir düzlemin yöneliminin ölçülmesinin aşamaları. (a); ölçülecek düzlemin görüntüsü, (b); yüzeye ait en fazla nokta içeren kısmın kullanıcı tarafından belirlenmesi, (c); ölçüm sonucu.....	56
Şekil 5.3.	Eş alan ve eş açı projeksiyonları.....	57
Şekil 5.4.	Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bu yenilmelerin yapısal koşullarının stereonette gösterilmesi.....	58
Şekil 5.5.	Şev yönelimine göre ayrılmış segmentler.....	59
Şekil 5.6.	Segment 1'in yöneliminin QGIS yazılımında hesaplanması.....	60

ŞEKİLLER (devam ediyor)

Şekil 5.7.	Her bir segmentten alınan ölçümlerin model üzerindeki gösterimi	62
Şekil 5.8.	Her bir segmentte ölçülen süreksizlik yönelimlerinin kutup noktalarının stereonet üzerinde gösterimi. (a); segment 1, (b); segment 2, (c); segment 3, (d); segment 4.....	64
Şekil 5.9.	Kinematik analiz sonuçları. (a); segment 1, (b); segment 2, (c); segment 3, (d); segment 4.....	66
Şekil 5.10.	Set 2 süreksizliğinin konumu. (a), arazide çekilen fotoğraftaki konumu, (b); elde edilen nokta bulutundaki konumu.....	67
Şekil 6.1.	Elde edilmiş sayısal yüzey modeli ve oluşturulmuş olan her bir nokta için kullanılmış olan ışınların sayısı.....	70

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Pzka	: Kaleboynu Formasyonu
Pzb	: Bozçaldağ Formasyonu
Ko	: Mamasun Ofiyolitik Karışığı
Kog	: Orta Anadolu Granitoyitleri
Teç	: Çayraz Formasyonu
Toi	: İncik Formasyonu
Tmke	: Keçikalesi Volkaniti
Ti	: İç Anadolu Grubu
Tmi	: İncisuyu Formasyonu
Tmü	: Ürgüp Formasyonu
Tmüsa	: Sarımadentepe İgnimbirit Üyesi
Tmügl	: Gerveri Lav Üyesi
Tmüc	: Cemilköy İgnimbirit Üyesi
Tmüg	: Gördeles İgnimbirit Üyesi
Tmb	: Balcı Volkaniti
Tme	: Erdaşdağ Volkaniti
Tmku	: Kulaklıdağ Volkaniti
Plkı	: Kızılkaya İgnimbiriti
Plk	: Kışladağ Formasyonu
Qk, Qp	: Keçiboyduran Volkaniti
Qm	: Melendizdağ Volkaniti
Qg, Qgp	: Göllüdağ Volkaniti
Qac	: Acıgöl Volkaniti
Qku, Qkuc	: Kuyulutatlar Volkaniti
Qka, Qkac	: Karataş Volkaniti
Qh	: Hasandağ Volkanitleri
Qhb1	: I. Evre Kül-Blok Akmaları
Qha	: Akçeşme Riyoliti

SİMGELER VE KISALTMALAR (devam ediyor)

Simgeler (devam ediyor)

Qht1	: I. Evre Döküntü ve Akma Tüfleri
K	: Potasyum
Ar	: Argon

Kısaltmalar

LiDAR	: Light Detection and Ranging
DSLR	: Digital Single Lense Reflex
GSI	: Geological Strenght Index
DiAna	: Discontinuity Analysis
RANSAC	: Random Sample Consensus
RG	: Region Growing
MRG	: Modified Region Growing
PCA	: Principal Component Analysis
ISODATA	: Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques Algorithm
DEV	: Deviation From Mean Elevation
OAVK	: Orta Anadolu Volkanik Kuşağı
BAVK	: Batı Anadolu Volkanik Kuşağı
DAVK	: Doğu Anadolu Volkanik Kuşağı
RMSE	: Root Mean Square Error
GSD	: Ground Sampling Distance
PS	: PhotoScan
CC	: CloudCompare
YKN	: Yer Kontrol Noktası
TP	: Triangulation Process

1. GİRİŞ

Ihlara Vadisi, Türkiye'nin önemli doğal miras alanlarından biridir. Vadinin günümüzdeki şeklini almasında da büyük rolü olan Melendiz Nehri çevresinde çeşitli bitki türleri bulunmasının yanında, alanda gölgelerin çok olması ve iklimin elverişli olması sebebiyle de biyolojik çeşitlilik çok fazladır. Hakim litoloji, kolaylıkla kazılabilen kaya türlerinden oluştuğu için, önceki yıllarda yaşamış olan insanlar kendilerine içlerinde yaşayabilecekleri oyma mağaralar yapmışlardır. Ayrıca bölgede çok sayıda tarihi kilise bulunmaktadır. Ihlara Vadisi'nin sahip olduğu bu özelliklerin yanında kaya sütunlarının da muazzam görünümü, bölgenin çok sayıda yerli ve yabancı ziyaretçinin ilgisini çekmesini sağlamıştır.

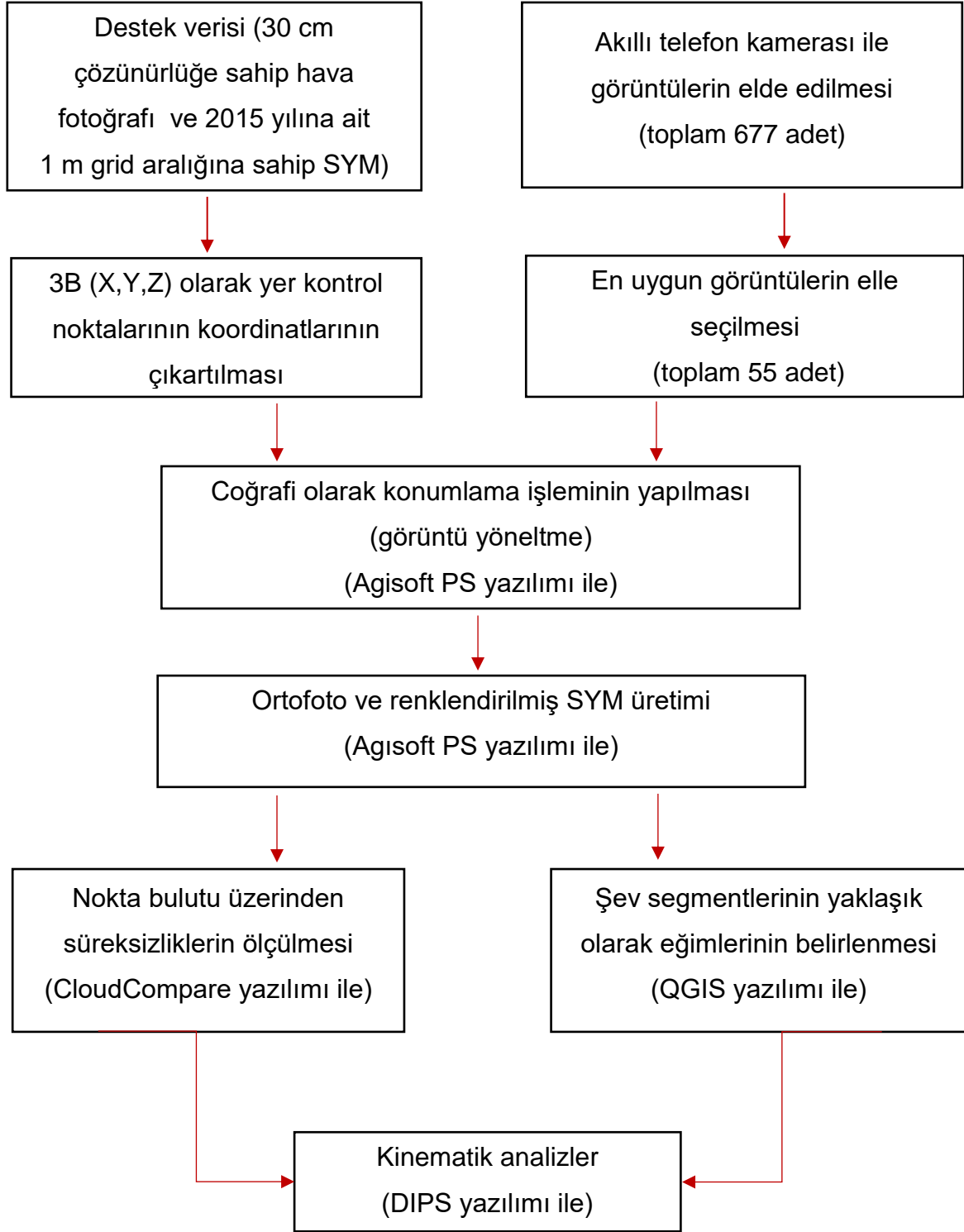
Sahada bulunan dik süreksizlikler, kaya bloklarının ağırlık merkezlerinin boşa çıkmasıyla devrilmelerine neden olmaktadır. Vadiye iniş ve çıkışı sağlayan merdiven kenarlarında olası blok düşmelerine karşın çelik ağlar ile önlem alınmasına rağmen vadi tabanında bu durum ziyaretçiler, bölgede yaşayan diğer canlılar ve tarihi yapının bozulması açısından tehlike arz edebilmektedir.

Bilindiği gibi bir kaya kütleinin analiz edilebilmesi için öncelikle sahip olduğu süreksizliklerin özellikleri ortaya konulmalıdır. Süreksizlik özelliklerinden ise öncelikle belirlenmesi gereken süreksizlik konumudur. Geleneksel olarak süreksizlik yüzeyinden pusula ile ölçülerek elde edilen bu parametrelerin her zaman yüzeye ulaşılarak ölçülebilmesi mümkün olmamaktadır. Ihlara Vadisinde bu yüzeylerin eğimi oldukça fazladır, Melendiz Nehri çalışma alanının tam ortasından geçtiğinden, vadi kenarlarının yakınına ulaşılsa bile daha önce devrilip yığın oluşturmuş bloklardan dolayı süreksizliklerin yüzeyine erişim çok zor sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk amacı, süreksizlik yüzeyinden ölçüm almanın çok zor olduğu bölgelerde, fotogrametrik tekniklerle alanın nokta bulutunun çıkartılmasıdır. İkinci amacı elde edilen vektörel veri üzerinden süreksizliklerin eğim ve eğim yönlerinin ölçülmesidir. Üçüncü amacı, süreksizliklerin eğim yönleri kullanılarak duraylılık analizlerinin ön basamağı olan kinematik analizlerin yürütülmesidir. Dördüncü

amacı ise, bu işlemlerin ek bir ekipmana gerek kalmadan sadece bir cep telefonu kamerası ile en az maliyetle gerçekleştirilmesidir.

Bu amaçlar doğrultusunda, öncelikle saha hakkında literatür incelemesi yapılmıştır. Ardından saha çalışması esnasında fotogrametrik ilkelere uygun olarak cep telefonu kamerası ile nokta bulutunu oluşturacak olan fotoğraflar, hem vadi tabanı hem de vadinin yukarısı dolaşarak mümkün olduğunca gölgelerden ve ağaç dallarından sakınılarak çekilmiştir. Sonrasında, süreksizlik yüzeylerinin en iyi görüldüğü fotoğraflar seçilmiştir. Görünür süreksizlik yüzeyleri tek tek ölçülmüştür ve ölçüm sonuçları kinematik analizlerde girdi parametresi olarak kullanılmıştır. Çalışmanın iş akış diyagramı Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1. İş akış diyagramı.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tez Konusu İle İlgili Önceki Çalışmalar

Feng ve Röshoff (2004) yürüttükleri bilimsel çalışmada, kaya yüzeylerinin dokümantasyonu ve kırıkların üç boyutlu olarak haritalandırılması için, yeni geliştirilmiş olan bir üç boyutlu lazer tarama tekniği sunmuşlardır. Saha çalışması, kaya yüzeylerine fiziksel olarak dokunmadan yürütülmektedir. Veriler, farklı formatlarda ve bilinen bir referans sistemine kaydedilmiş şekilde, gerekli olduğunda ileriki araştırmalarda da kullanılmak üzere depolanmaktadır. Kaya yüzeylerinin lokasyonlarının belirlenmesi; birkaç kontrol noktası ölçüldükten sonra tüm taranmış noktaların aynı koordinat sistemine dönüştürülmesiyle kaya yüzeyindeki her bir taranmış nokta, üç boyutlu ortamda gerçek koordinatında bulunmaktadır. Kaya yüzeylerinin fotoğraflanması; çalışmada kullanılan tarayıcı, aydınlatma olmadan tarama işlemini gerçekleştirmektedir. Karanlık bir ortamda bile hem iki boyutlu hem de üç boyutlu gri ölçekte dijital fotoğraflar elde edilmektedir ve jeologlar kolaylıkla kayanın özelliklerini belirleyebilmektedirler. Kırık yüzeyinin yöneliminin belirlenmesi; kaya yüzeyi tarandığında tüm noktalar bilinen bir koordinat sistemine dönüştürülmektedir. Arazi çalışmasında bir bloknot defteri referans yüzey olarak kabul etmeye benzer şekilde, özel geliştirilmiş bir yazılım ile kırık yüzeyi, nokta bulutunun içinden seçilmiş olan en uygun yüzeye yerleştirilmektedir. Jeolog, üç boyutlu nokta bulutundan yüzeyi seçmektedir, ardından yazılım, seçilen yüzey için gereken yönelim bilgilerini yarı otomatik olarak hesaplamaktadır. Yazarlara göre, sunulan teknik ile kaya yüzeylerine ait veriler hem hızlı hem de iyi çözünürlüklü olarak elde edilmektedir.

Slob ve ark. (2005) çalışmalarında, üç boyutlu lazer tarama tekniği ile süreksizlik setlerini belirlemişlerdir. Ardından süreksizliklerin aralıkları ve dağılımları da hesaplanmıştır. Üç boyutlu lazer tarama tekniği göreceli olarak yeni bir tekniktir. Yazarlara göre, lazer taramanın fotogrametrik tekniklere göre en büyük avantajı, üç boyutlu veri modelinin eş zamanlı olarak elde edilmesidir. Üç boyutlu lazer tarama tekniğinde, tarayıcılar bir lazer diyota sahiptir. Bu diyot sayesinde araştırılmak istenen obje üzerine lazer ışınları gönderilmektedir. Işınlar objeye temas ettikten sonra bir kısmı alıcıya geri dönmektedir. Işın hızı bilindiği takdirde,

tarayıcı ve obje arasındaki mesafe de bilinmektedir. Çok büyük ve karmaşık nesnelere ise, ışınlar farklı pozisyonlarda gönderilmektedir, bu sayede tek pozisyonda tarama ile oluşması muhtemel gölge zonlarında bulunan verilerin kaybedilme riski de azalmaktadır. Kaya yüzeyinin geometrisi milyonlarca yüzeyden oluşmaktadır. Her bir yüzey, üç boyutlu ortamda tanımlanmış noktalar içermektedir. Bilinen koordinatlar sayesinde, basit geometrik kurallar ile her bir yüzeyin yönelimini ve normalini belirlemek mümkündür. Hesaplanan yüzey yönelimleri stereonet üzerine işaretlenmektedir. Ölçümlerin otomatik olarak kümelenmesi için, k-ortalama kümeleme algoritması kullanılmaktadır. Araştırmacılara göre algoritmanın dezavantajı, başlangıçta kümelerin sayısının tahmin edilmesinin gerekliliğidir, bu gereklilik ile kullanıcı inisiyatifi dolayısıyla kullanıcının tecrübe ve bilgi birikimi de sürece dahil olmaktadır. Stereonet üzerinde kümeler farklı renklerle temsil edilmiştir ve ana süreksizlik setleri ortaya çıkmıştır. Tüm veri setinden süreksizlik setlerinin ve yüzeylerinin ayrılmasıyla, üç boyutlu ortamda söz konusu yüzeylerin analizi yapılabilmektedir ve aralarındaki mesafe (süreksizlik aralığı) belirlenebilmektedir.

Bonnaffe ve ark. (2007) uygun koşullarda, yersel LiDAR (Light Detection and Ranging) tekniği ile verilerin elde edilmesini ve işlenmesini ele almışlardır. Çalışmanın devamında nokta bulutundaki hataları düzelter ve ulaşımı zor olan kaya yüzleklerinin modelinin üçgenleme yapılmış halinde var olan bozuklukları düzelter bir yöntem sunmuşlardır. Standart bir üçgenleme algoritması, orijinal verilerden oluşturulan nokta bulutunun gridlere ayrılmasını gerektirmektedir. Bu işlem için de lazer ışınlarının tarama yönü bir girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. En uygun koşullar, LiDAR verilerinin kaya yüzleğine dik olarak alındığı koşullardır. Ancak her zaman bu şart sağlanamamaktadır. Eğer kaya yüzleği, herhangi bir topoğrafik yapı ya da ağaç/bina gibi unsurlarla kapanmışsa eğimli taramaya başvurulmaktadır. Eğimli taramada, veri içermeyen kısımlar anlamına gelen gölge zonları oluşmaktadır ve üçgenleme işlemi sırasında üçgenlerin boyutlarında olmaması gereken değişimler gözlenmektedir. Yazarlar, farklı açılardan birden fazla gönderilmiş lazer ışınlarını birleştirerek, gölge zonlarının en aza indirildiği ve üçgenlemelerdeki bozulmaların düzeltildiği bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntem kullanılmadan oluşturulan modeller, fazla deforme olan bir üçgenlenmiş yüzey ve çok geniş gölge zonları içerdiklerinden

eksik veriler barındırmaktadırlar. Araştırmacılar, geliştirmiş oldukları yöntemin özellikle stratigrafik yorumlamalarda faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Haneberg (2008) çalışmasında, yersel fotogrametri tekniği ile Amerika Birleşik Devletleri'nde farklı projelerde, süreksizliklerin haritalanmasını ve kaya şevlerinin üç boyutlu modellenmesini sunmuştur. Modelden ve sahada el yordamıyla alınan ölçümlerden elde edilen yönelim verilerini karşılaştırmış ve sonuçların oldukça uyumlu olduğunu belirtmiştir. Fotogrametri, birbiriyle örtüşen fotoğraflardan üç boyutlu yüzey oluşturmak için kullanılmaktadır. Modelin çözünürlüğü, hassasiyeti ve doğruluğu; incelenen kaya şevinin kameraya olan uzaklığına, kullanılan lense ve kameraya, çalışılan alanı büyüklüğü gibi faktörlere bağlıdır. Üç boyutlu model yardımıyla süreksizliklerin yönelimlerinin belirlenmesi sahada manüel olarak belirlenmesinden daha temsil edicidir. Çünkü süreksizlik yüzeyleri düzensiz ve değişken olduğunda, bu değişimi modelden saptamak sahadakinden daha kolaydır. Ayrıca fotogrametri, çalışılan kaya şevinin imalattan önceki ve sonraki halinin yüksek çözünürlüklü üç boyutlu kaydını sağlamaktadır. Bu kayıt sayesinde, kaya şevi dizaynının topoğrafik profili veya farklı patlatma tekniklerinin etkilerinin değerlendirilmesi gibi ikincil araştırmalar da yürütülmektedir. Önemli uzaktan algılama tekniklerinden biri de lazer taramadır. Fotogrametrinin lazer taramadan üstünlükleri; lazer tarayıcı temininden bir DSLR (Digital Single Lens Reflex) kamera ya da lens edinmek daha kolaydır. Sayısal fotogrametrinin ana ürünü olan sayısal yüzey modeli, fotoğraflardan elde edildiği için daha yüksek çözünürlüğe sahiptir. Bu sayede, lazer taramadan elde edilen modelde yeterince açık görünmeyen bir cevher damarının ya da süreksizlik izinin yönelimi fotogrametri ile rahatlıkla belirlenmektedir. Ancak unutmamak gerekir ki; uzaktan algılama teknikleri, ekonomikliklerine, faydalarına ve güvenli olmalarına rağmen, tecrübeli bir mühendislik jeoloğunun gerekliliğinin önüne geçememektedirler. Ne lazer tarama ne de fotogrametri, kaya türü (rengin ötesinde bir tanımlama), eklem dolgusu, ayrışma ya da yerinde kaya kalitesi hakkında nicel bilgi sağlamamaktadır.

Sturzenegger ve Stead (2009a) şev yarmalarında bulunan süreksizliklerin özellikleri için, yersel lazer tarama ve yersel fotogrametri tekniklerinin uygulanmasını değerlendirmişlerdir. Pusula ile ölçülen süreksizlik yönelim

değerleri referans olarak kabul edilmiştir. Yazarlar tarafından oluşturulan üç boyutlu nokta bulutlarından ölçülen değerlerle, pusula yardımıyla ölçülen gerçek değer arasındaki fark “artık hata (residual)” olarak tanımlanmıştır. Altı çizilmesi gereken nokta, pusula ile ölçüm yapılırken kaya şevinin sadece küçük bir kısmına odaklanılmaktadır. Buna karşın, yersel uzaktan algılama teknikleri kullanılarak, çoğunlukla yenilmelerin meydana geldiği şevin en üst kısımları da dahil olmak üzere tüm şev modellenmektedir. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında, maksimum artık hata değeri eğimde 4^0 , eğim yönünde ise 8^0 olarak belirlenmiştir. Bu mertebedeki doğruluk, jeoteknik amaçlar için yeterlidir. Süreksizlik yönelimleri belirlendikten sonra kinematik analiz yardımıyla süreksizliklerin dağılımı ve ana süreksizlik setleri ortaya çıkmaktadır. Böylelikle olası duraysızlık mekanizmaları da belirlenmektedir. Araştırmacılar, tek bir lokasyondan, kaya yüzeyinin tamamen görünmemesi anlamına gelen kapanım konusuna da değinmişlerdir. Kapanımları engellemek için, fotoğrafların/ışınların verev olarak çekilmesi/gönderilmesi tavsiye edilmiştir. Ancak bu işlem yapılırken elde edilen model çözünürlüğünün de düşük olacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca düşük GSI (Geological Strength Index) değerine sahip olan ve rölyefi az olan kayaların, üç boyutlu modellerinden süreksizlik özelliklerinin elde edilmesinin güç olduğu vurgulanmıştır.

Sturzenegger ve Stead (2009b) çalışmalarında büyük ölçekli duraysızlıkların ve yüksek dağlara ait kaya şevlerinin yapısal özelliklerinin, yersel fotogrametri ve yersel lazer tarama teknikleriyle belirlenmesini değerlendirmişlerdir. Yazarlara göre kapsamlı bir veri seti elde edebilmek için, uzaktan algılama teknikleri ile geleneksel jeolojik ve yapısal gözlemleri birleştirilmelidir. Çalışmanın ilerleyen bölümlerinde değişen yersel çözünürlükte üç boyutlu LiDAR ya da fotogrametri ile elde edilen modellerden çıkarılan yönelim ve devamlılık değerlerindeki ölçek etkisi değerlendirilmiştir. Yazarlar tarafından incelenen ilk vakada yönelimlerin ölçek etkisi nedeniyle sapmasından ötürü devamlılığı az olan süreksizlik setleri tüm veri setinden kesilmiş ve kesilen süreksizlikler stereonette yer almamıştır. Daha yüksek çözünürlüğe sahip olan bir modelde, düşük çözünürlükte kesilen süreksizlikler tanımlanmıştır ve ölçülmüştür. İncelenen ikinci vakada da ölçek/çözünürlük hatasından dolayı veri kesintileri meydana gelmiştir. Çözünürlük düştükçe kaya şevinin yapısı gerçekte olduğundan daha yumuşak

hale gelmiştir. Çalışmanın son kısmında ise, hem yersel lazer tarama hem de yersel fotogrametri teknikleri bir arada kullanılarak oluşturulmuş bir üç boyutlu model yer almaktadır. Fotogrametri tekniği ile yüksek odak uzaklığında, çok daha iyi çözünürlüğe sahip stereomodeller elde edilmiştir. Hava kaynaklı LiDAR ise genellikle düşük çözünürlüklü ancak daha kapsamlı konumsal veri seti sağlamaktadır. Yazarlar tarafından, büyük ölçekli duraysızlık modellerinin oluşturulması için yersel ve hava kaynaklı uzaktan algılama tekniklerinin birleştirilmesinin uygun olacağı vurgulanmıştır.

Firpo ve ark. (2011) İtalya'da bulunan bir mermer ocağında fotogrametrik tekniklerle kaya şevi duraylılık analizleri yürütmüşlerdir. Ocak, Avrupa'daki en büyük ve en çok çıkarım yapılan bölgede bulunmaktadır. Ekonomik değer dolayısıyla, faaliyete güvenli koşullar altında devam edilebilmesi için detaylı bir araştırmaya gereksinim duyulmuştur. Üç boyutlu modelde ihtiyaç duyulan görüntülerin alınması için ocağa ait şevlerin yüksekliği incelendiğinde (300 m' yi aşmaktadır), aerostatik balon kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm ocak dört bloğa ayrılmış, yersel ölçümlerle belirlenen kontrol noktalarının yöneltmesi yapılmıştır. Her bir blok için sayısal yükseklik modeli ve ortofotoğraflar üretilmiştir. Şev ve süreksizliklerin geometrileri, eldeki görüntülerin yorumlanması ve otomatik görüntü eşleme teknikleriyle oluşturulmuştur. Süreksizlik yüzeylerinin üç boyutlu modelleri "Erdas Imagine" yazılımının "Spatial Analyst" aracı ile çıkartılmıştır, süreksizlikler düzlemdeş üçgenlerle temsil edildikten sonra "ArcGIS" yazılımının "Aspect and Slope" aracı ile analiz edilmiştir. Bu araçlar sayesinde üçgenlerin yönelimleri belirlenmiştir. Sonuçlar saha çalışmalarından elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır ve büyük oranda benzerlik elde edilmiştir. Fotogrametrik prosedürden elde edilen veriler, "3DEC" kodu aracılığıyla kaya kütlelerinin nümerik olarak modellenmesinde kullanılmıştır. Şev ve süreksizliklerin nümerik temsili ne kadar doğru olursa, ayrık elemanların modellenmesi de o kadar güvenilir olmaktadır.

Gigli ve Casagli (2011) yüksek çözünürlüklü lazer tarama verisinden, kaya kütlesi özelliklerinin iki boyutlu ve üç boyutlu jeo-yapısal analizi için "DiAna (Discontinuity Analysis)" adı verilen bir MATLAB aracı sunmuşlardır. Böylelikle karasal ya da hava kaynaklı lazer tarayıcılarından elde edilen veriler analiz edildikten sonra,

kaya kütlesi parametreleri yarı otomatik olarak belirlenmektedir. Ayrıca “filterveg” adı verilen özel bir DiAna seçeneği ile, lidar veri işleme sırasında karşılaşılan en önemli problemlerden biri olan nokta bulutundaki kaya kütlesini oluşturanlar dışındaki ilgisiz noktalar da temizlenmektedir. Üç boyutlu yaklaşım uzayda hareket edebilen ve değişken boyutlara sahip olabilen bir araştırma küpünün de içinde bulunduğu alt nokta bulutunun seçilmesine dayanmaktadır. Küpün boyutu küçük seçilirse nokta bulutundan elde edilen özelliklerde sınırlı olacaktır. Küp aracılığıyla seçilen nokta kümelerinde en küçük kareler yöntemine uyan düzlemler tanımlanmaktadır. Standart sapma, belirlenen sınır değerinin altında ise, nokta kümesi geçerli olarak kabul edilmektedir. Bu şekilde oluşturulan nokta kümelerinin yönelimleri, stereografik projeksiyon üzerine işaretlenmektedir ve ana süreksizlik setleri ortaya çıkmaktadır. Bir sonraki adım olarak aynı süreksizlik yüzeyine ait olan nokta kümeleri birleştirilmiştir. Bunun için, komşu nokta kümelerindeki noktalar karşılaştırılmış, yönelimler benzer ise aynı süreksizlik yüzeyine ait oldukları varsayılmıştır. Ardından eğim ve eğim yönleri hesaplanmıştır. Üç boyutlu süreç, direkt olarak kontrole izin verdiği için yarı otomatik olarak tanımlanmıştır. İki boyutlu süreç ise hiçbir rölyefe sahip olmayan düzlemsel kaya yüzeyleri için uygundur ve süreksizlik izlerinin geometrik özelliklerinin analizine dayanmaktadır. Yöntem, araştırmacılar tarafından gerçek bir vakaya uygulanmıştır, elde edilen sonuçlar geleneksel saha araştırmaları sonuçları ile karşılaştırılmıştır, sonuçlar oldukça umut verici olarak değerlendirilmiştir.

Lato ve Vöge (2012) yayınladıkları teknik notta, üç boyutlu yüzey modelinden kayada bulunan kırıkların otomatik olarak çıkartılmasına dair yeni bir yaklaşım olan “PlaneDetect” yazılımına yoğunlaşmışlardır. Yersel uzaktan algılama teknikleri meydana gelebilecek kaya kütlesi duraysızlıklarını haritalarla ve süreksizliklerin analizleriyle değerlendirmek amacıyla, üç boyutlu modeller üretebilmek için kullanılmaktadırlar. Bu tekniklerdeki en büyük dezavantaj kullanıcıların veri toplama, toplanan verileri işleme ve analizleri yapma konusundaki bilgilerinin olmasının gerekliliğidir. Bu durum mühendisler ve danışmanlar tarafından uzaktan algılama tekniklerinin rutin olarak uygulanmasını zorlaştırmaktadır. PlaneDetect, kullanıcıya bağlı veri işlemeyi en aza indirmek amacıyla geliştirilmiş bir yazılımdır. Yazılım doğal kırıkları haritalarken, patlatma

gibi etkenlerle sonradan oluşan süreksizlikleri haritalayamamaktadır. Yazılım çıktıları, metin dosyası olarak bir stereografik programa jeomekanik analizin gerçekleştirilebilmesi amacıyla aktarılmaktadır. Ayrıca geleneksel yöntemlerin aksine, PlaneDetect ile çok sayıda kırık yüzeyi haritalanmasının yanı sıra ana yönelim varyansı, değerlerin dağılımı gibi istatistiksel parametreler de hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlar el yordamıyla hazırlanan sayısal haritalarla karşılaştırıldığında yüksek doğruluk göstermektedirler. Bu nedenle yazılım, mühendislik jeologları tarafından benimsenmiştir.

Assali ve ark. (2014) kaya yüzeyini daha doğru analiz edebilmek amacıyla saha araştırmasının sonuçlarıyla da birleştirilebilen bir yarı otomatik süreç geliştirmişlerdir. Çalışma alanı olarak da Fransız Alpleri yakınlarında bulunan kireçtaşı ocağı seçilmiştir. Araştırmacılar, farklı veri elde etme ve işleme metotları arasındaki farkı görebilmek amacıyla çeşitli veri setleri üzerinde çalışmışlardır. İlk olarak çalışma alanından pusula yardımıyla ölçümler alınmıştır ve basit bir Schmidt ağı üzerine işlendikten sonra dört ana süreksizlik seti saptanmıştır. İkinci olarak karasal lazer tarama veri setinden üç boyutlu nokta bulutu oluşturulmuştur, ardından "CloudCompare (CC)" yazılımı ile normal vektörler hesaplanmıştır. Normal vektörlerin dağılımı incelenerek kaya kütlesi süreksizliklerinin yönelimleri analiz edilmiş, sonuç olarak beş adet ana süreksizlik seti belirlenmiştir. Son olarak fotogrametrik tekniklerle çalışılmış ve "PhotoModeler Scanner" yazılımı kullanılarak stereoçiftler üç boyutlu nokta bulutuna dönüştürülmüştür. Tıpkı lazer tarama verisinde olduğu gibi beş ana süreksizlik seti gözlenmiştir. Üç farklı veri setinden elde edilen eğim ve doğrultu değerlerinin karşılaştırmalı analizleri yapılmıştır. Üç boyutlu nokta bulutu ve pusula ölçümünden elde edilen değerler oldukça birbirine yakındır. Ancak tabakalanmaya karşılık gelen süreksizlik seti, pusula ölçümünde belirlenememişken hem lazer tarama hem de fotogrametrik tekniklerle açıkça ortaya çıkarılmıştır. Yazarlara göre bu farkın temel sebeplerinden birincisi; bilindiği üzere tabakalanma, jeolojik tariheye de bağlı olarak metamorfizmaya ve kırıklanmaya göre şekillendiğinden ötürü sahada ölçümünün kolay olmaması ikincisi olarak ise, tabakalanmanın sıklıkla kaya yüzeyinin erişimi zor olan bölgelerinde gözlenebilmesi nedeniyle pusula ile direkt olarak ölçülememesi olarak değerlendirilmiştir.

Fisher ve ark. (2014) çalışma alanı olarak seçtikleri aktif olmayan bir taş ocağındaki süreksizliklerin yönelimlerini belirlemek üzere yersel LiDAR tekniği ve geleneksel pusula ile ölçüm tekniğini ayrı ayrı kullanmışlardır. Ölçüm sonuçlarını karşılaştırarak yersel LiDAR tekniğinin güvenilirliğini araştırmayı amaçlamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre ana eklem setleri iki teknikte de belirlenmiştir. Fakat yumuşak eğime sahip olan bir eklem seti arazide yürütülen araştırmalar esnasında saptanmışken, LiDAR verisinde gözlenmemektedir. Bu durumun yazarlara göre en olası sebepleri; oluşmuş bir gölge zonu, süreksizliğin kapladıkları alanın boyutu eğer çok küçükse o alana ışının isabet etmemesi ve süreksizlik yönelimlerinin mekânsal değişimidir. Yazarlar, çalışmalarının devamında da LiDAR ile süreksizlik haritalanmasına dair bir protokol sunmuşlardır. Bu protokole göre, lidar verisi toplanmadan önce sahada süreksizlik yönelimleri için pusula ile ön çalışma yapılmalıdır. Bu çalışma sayesinde örnekleme lokasyonları, lidar istasyonunun konumu ve ışınların yönü gibi konularda ön bilgi sahibi olunmaktadır. LiDAR verisinin işlenmesi ve analizinden sonra sonuçlar herhangi bir süreksizlik setinin kaçırılmadığına emin olmak için yapılan ön saha çalışması ile karşılaştırılmalıdır. Eğer LiDAR verisi alanı tamamen karakterize etmiyorsa daha iyi bir karakterizasyon için geleneksel pusula ölçümü ile LiDAR tekniği birlikte kullanılmalıdır.

Riquelme ve ark. (2014) LiDAR ile elde edilen üç boyutlu veriyi kullanarak süreksizliklerin belirlenmesi ve analiz edilmesi için bir metodoloji sunmuşlardır. Yazarlar geliştirdikleri yöntem ile daha önce geliştirilmiş olan diğer yöntemler arasındaki farkı, tüm süreç boyunca enterpole edilen iki buçuk boyutlu yüzeyden elde edilen veriler yerine üç boyutlu LiDAR nokta bulutunun içerdiği gerçek verilerin kullanılması olarak tanımlamışlardır. Yöntem anlaşılır bir şekilde açıklanmak istenirse, nokta bulutu içindeki eş düzlemde bulunan noktalar tarafından çevrelenmiş her nokta için bir pusula verisi sağlanmaktadır. Birkaç dakika içinde erişilmesi güç alanlar da dahil olmak üzere, milyonlarca sanal pusula ölçüm verisi elde edilmektedir. Öncelikle düzlemlerin normal vektörleri hesaplanmış eş düzlemsellik testiyle ilgisiz noktalar kaldırılmıştır. Yoğunluk testiyle ana süreksizlik setleri yarı otomatik olarak tanımlanmış, her noktanın dahil olduğu ana süreksizlik seti belirlenmiştir. Son adım olarak, yoğunluk tabanlı tarama algoritması ile süreksizlikler çıkartılmıştır. İlk olarak sentetik veri setinde

ardından gerçek şevde uygulanmıştır. Sonuçlar uyumlu ve yöntem gelecek vaat etmektedir. Sentetik veri üzerindeki uygulama, laboratuvar koşullarında bir dizi geometrik cisim üç boyutlu sayısallaştırıcı ile taranmasına dayanmaktadır. Veriler laboratuvar koşullarında elde edildiğinden, gerçek bir vaka ile karşılaştırma imkanı vardır. İkinci uygulama ise, daha önce de araştırmacılar tarafından analiz edilen bir yol yarmasıdır. Önerilen yöntem ile daha önce saptanmamış süreksizlikler de belirlenmiştir.

Chen ve ark. (2016) kaya kütlesi yüzeyinin nokta bulutundan süreksizlik yöneliminin otomatik olarak elde edilmesi için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Yöntemleri dört ana adımdan oluşmaktadır. İlk adım, k-ortalamar kümeleme yöntemi kullanılarak süreksizlik setleri otomatik olarak gruplanmıştır. İkinci adımda, süreksizlikler bölümlendirilmiş ve iyileştirilmiştir. Üçüncü adımda RANSAC (Random Sample Consensus) yüzey uydurma (plane fitting) algoritması uygulanmıştır. Süreksizliklerin yüzeyleri genellikle pürüzlü ve ondüleli olduğundan, yönelim verisi en uygun yüzeyden alınmalıdır. RANSAC yüzey uydurma algoritması bu işlemi kullanıcı insiyatifine bırakmadan objektif bir şekilde gerçekleştirmektedir. Son olarak dördüncü adımda koordinat dönüşümü yapılmıştır. Kaya kütesinin nokta bulutları kameranın koordinat sistemine göre elde edilmektedir. Ancak, süreksizliklerin eğimlerinin ve eğim yönlerinin, projeye göre seçilen gerçek koordinat sistemine göre ölçülmesi gerekmektedir. Araştırmacılar geliştirdikleri yöntemi, laboratuvar ortamında taramış oldukları küp ve on iki yüzlüde, bir tünel girişindeki şevin küçük bir kısmının fotogrametri ile elde edilmiş olan nokta bulutunda ve bir kaya şevinin lidar veri seti üzerinde deneyimlemiştir. Üç veri setinde de süreç, kullanıcı müdahalesi olmadan işlemiştir ve yöntem yüksek doğruluk göstermiş olup mühendislerin ihtiyaçlarını karşılamıştır.

Thiele ve ark. (2017) yazarlar yapmış oldukları çalışmada üç boyutlu nokta bulutu, görüntü ve raster veri setlerinden yapısal izlerin sayısallaştırılması için bir algoritma tanımlamışlardır. Yöntemin avantajları; hem nokta bulutu verisine hem de raster veriye uygulanabilir olması, büyük boyutlu veri setinde de performans kaybı olmadan kullanılabilir olmasıdır. Yöntem, CC ve QGIS yazılımlarına da açık kaynaklı olarak eklenmiştir. Algoritmada öncelikle veri noktaları (nokta bulutunda

bulunan noktalar ve görüntülerdeki pikseller) kendisine en az mesafede bulunan bir komşu noktayla bağlanmaktadır. Kullanıcı tarafından tanımlanmış başlangıç noktasından yine kullanıcı tarafından tanımlanmış bitiş noktasına kadar bu işlem devam etmekte, bu süreçte karşılaşılan çapraşık geometrilerde elimine edilmektedir. Bitiş noktasına varıldığında yapısal iz saptanmış olmaktadır. CC için, "Compass" eklentisi, QGIS için de "GeoTrace" eklentisi oluşturulmuştur. Compass eklentisi, nokta bulutları için kullanılırken, GeoTrace eklentisi raster veriler için kullanılmaktadır. Çalışmada, algoritmanın uygulandığı örneklere de yer verilmiştir. Yazarlar algoritmanın, üç boyutlu nokta bulutundaki çizgisel özelliklerin sayısallaştırılması için gereken zamanı önemli oranda kısalttığını vurgulamışlardır.

Ge ve ark. (2018) çalışmalarında LiDAR ile elde edilmiş bir nokta bulutundan süreksizliklerin geometrik özelliklerinin otomatik olarak belirlenmesi için bir yaklaşım önermişlerdir. Son zamanlarda araştırmacılar RG (region growing) algoritmasına yoğun ilgi göstermektedirler. RG algoritması, çekirdek ve komşu pikseller arasındaki farkın incelenmesiyle, nesnenin bulunduğu arka plandan ayrılması için geliştirilmiş bir görüntü bölümlendirme yöntemidir. Algoritma; üçgenlenmiş nokta bulutundan süreksizlik izlerinin tespit edilmesinde, yüzey normalleri ve/veya yüzey eğriliğine göre nokta bulutundan süreksizliklerin özelliklerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bilindiği üzere LiDAR ile üretilen nokta bulutunun boyutu, geniş tarama alanı ve yüksek çözünürlük sebebiyle oldukça büyüktür. RG algoritması ile büyük boyutlu nokta bulutu üzerinde çalışmak hem maliyetli olmaktadır hem de gereken sayısal etkinlik sağlanamamaktadır. Ayrıca düzensiz ve karmaşık süreksizlikler için tanımlanması gereken sınır değerinin belirlenmesi de RG algoritması ile çok zordur. Bu güçlüklerin üstesinden gelebilmek için MRG (modified region growing) algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritmada ilk adım; nokta bulutu eş aralıklı gridlere bölünmektedir, böylelikle verilere erişim satır ve sütunlar sayesinde daha kolay olmakta, oluşan veri boşlukları da enterpolasyon ile doldurulmaktadır. İkinci adım olarak çekirdek ve komşu noktalar arasındaki benzerliği ifade etmekte kullanılan kriterler geliştirilmiştir. MRG algoritması döngü olarak uygulandığında, süreksizliklerin özellikleri otomatik olarak elde edilmektedir. Yazarlar iki farklı nokta bulutunda çalışmışlardır, MRG algoritmasının RG algoritmasına göre çok

daha etkili olduğunu ve elde ettikleri sonuçların da oldukça tutarlı olduğunu belirtmişlerdir.

Guo ve ark. (2018) yürütmüş oldukları çalışmada, doğal kaya şevlerinin üç boyutlu nokta bulutundan otomatik olarak süreksizlik izlerinin belirlenmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Yazarlara göre, süreksizlik izleri kaya kütlelerinin yüzeyi ile bir kaya süreksizliğinin kesişmesi sonucu oluşmakta olup devamlılığın karakterize edilmesi için gereken temel parametrelerden biridir. Yöntemde öncelikle normal vektör dengelemesi ve ana bileşen analizi ile (PCA-principal component analysis) vektörlerin yönelimleri hesaplanmıştır. Tek boyutlu kesikli Fourier (1D truncated Fourier series) serisi temel alınarak yapılan bir eğrilik hesaplaması ile süreksizlik izlerine ait olabilecek olası noktalar belirlenmiştir. Tüm olası noktalar, eğrilik ağırlıklı Laplace benzeri düzeltme tekniği uygulanarak seyrekleştirilmiştir. Süreksizlik izlerinin çizgileri ise bir çizgi geliştirme algoritması uygulanarak birleştirilmiştir. Yöntem, özellikle geniş alanlar için yarı otomatik tekniklerden daha etkilidir. Deneyimlemek için bir prototip geliştirilmiş ve sonuçlar CC sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre önerilen yöntem ile işlem süresinin %90 oranında azaldığı görülmüştür. Ayrıca eğriliği ve detayı fazla olan süreksizlik izleri de nokta bulutundan başarılı bir şekilde çıkarılmıştır. Yöntemin eksiklikleri ise ana eğrilik değeri temel alındığı için, süreksizlik izi tabakalanma gibi herhangi bir düzlemsel ve düzgün bir yüzeyle kesiştiğinde belirlenememektedir. Bu durum, süreksizlik izi çıkarılırken kaçınılmaz bir sorundur. İkinci bir eksiklik ise, doğal izler yapay izlerle (örneğin tünel kazısı sırasındaki patlatma izi) karıştığında geçerlilik azalabilmektedir.

Idrees ve Pradhan (2018) bir yeraltı açıklığında çalışmışlardır. Çalışma alanındaki kayaların jeolojik yapısını ortaya koymayı, farklı türdeki yenilme türlerine duyarlı alanların belirlenmesini ve alanın duyarlılığını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Süreksizliklerin analizleri için, karasal lazer taramadan elde edilen nokta bulutu kullanılmış, veri seti altı parçaya ayrılmış ve parçalardan her biri yeraltı açıklığının farklı bir kısmını temsil etmiştir. Üç boyutlu nokta bulutundan süreksizlik yüzeylerinin otomatik olarak çıkartılması için açık kaynaklı bir CC eklentisi olan "FACETS" aracı kullanılmıştır. Elde edilen eğim ve eğim yönü değerleriyle kinematik analizler yürütülmüş, açıklığın altı farklı kesiminde olası

yenilme türleri ortaya konulmuştur. Analiz sonuçlarına göre özellikle fazla eğimli bölgelerde devrilme türü yenilmenin meydana gelme olasılığı diğer yenilme türlerine göre daha yüksektir.

Zhang ve ark. (2018a) bir otoyol kenarındaki kaya şevi üzerinde yaptıkları çalışmalarında, kaya kütesinin üç boyutlu sayısal yüzey modeli ve üretilen nokta bulutu aracılığıyla, süreksizliklerin otomatik olarak elde edilmesi için bir yöntem sunmuşlardır. İlk aşama olarak süreksizlik yüzeyleri tespit edilmiş ardından süreksizlik yüzeyleri hem yönelimlerine göre hem de bir algoritma aracılığıyla pozisyonlarına göre sınıflandırılmıştır. İkinci aşama olarak süreksizlik yüzeylerine tekabül eden noktalar ikinci bir algoritma ile çıkartılmıştır. Son aşama olarak da gerekli olan jeolojik bilgilere ikinci algoritma ile elde edilen nokta kümeciklerinin geometrik özellikleri analiz edilerek ulaşılmıştır. Önerilen bu yöntem sayesinde eklemlerle alakalı özellikler direkt olarak tespit edilmektedir. Ayrıca bitki örtüsüne ait olanlar gibi ilgisiz noktaların da ayrılmasına imkan tanınmaktadır. Yazarlar, yöntemin sadece büyük ölçekli süreksizlikleri değil küçük ölçekli süreksizlikleri de belirleyebildiğini vurgulamışlardır.

Zhang ve ark. (2018b) çalışmalarında kaya kütlelerinin fotogrametri ya da karasal lazer tarama ile edinilmiş üç boyutlu sayısal yüzey modellerinin nokta bulutundan kaya süreksizliklerinin yarı otomatik olarak çıkartılması için bir metodoloji sunmuşlardır. İlk olarak, bir kaya kütesinin üç boyutlu sayısal yüzey modelinden sayısal yükseklik modeli üretebilmek için ön-işleme gerekmektedir. İkinci adım, ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques Algorithm) algoritması kullanılarak sayısal yükseklik modelindeki raster gridler şevin bakısına, eğim gradyanına ve yüksekliğin standart sapmasına göre sınıflandırılarak süreksizliklerin eş yönlü olan özellikleri belirlenmektedir. Üçüncü adım, kaya süreksizliklerinin düzlemsel özellikleri raster gridlerin ana yükseklik sapması parametresi hesaplanarak belirlenmektedir (DEV-Deviation from mean elevation). Bu parametrenin sayısal değeri +1 ve -1 arasında değişmektedir. Dördüncü adımda, elde edilen nokta bulutu verileri, ArcGIS yazılımının ArcToolbox aracı ile elde edilmiş kaya süreksizliklerinin hedef yüzeylerine karşılık gelmektedir. Beşinci ve son adımda ise, nokta bulutundan süreksizliklerin geometrik özellikleri hesaplanarak çıkartılmaktadır. Ayrıca nokta bulutunda

istenmeyen noktalar da kaldırılmakta, sadece büyük ölçekli süreksizlikler değil küçük ölçekli süreksizlikler de incelenmektedir. Önerilen metot bir otoyol şevinde kullanılmış, çalışma sonuçlarına göre metot hızlı ve doğru bir şekilde işlediği görülmüştür. Bu sayede gerekli iş gücü azaltılırken araştırma etkinliği de geliştirilmiştir.

2.2. Çalışma Alanı ve Çevresinde Yapılan Çalışmalar

Le Pennec ve ark. (1994) çalışmalarında, Anadolu'da kıtasal ve yakınsayan levhaların çarpışmasıyla gelişen kalk-alkalin volkanizmasıyla oluşmuş Neojen yaşlı ignimbirit serilerinin tanımlamasını gerçekleştirmişlerdir. İgnimbirit sahalarında karşılaşılan problemleri şu şekilde sıralamışlardır; 1) ignimbirit serilerindeki stratigrafik korelasyon eksikliği, 2) her bir ignimbirit serisinin alansal dağılımının belirlenmesi ve son olarak 3) kaynak alanların belirlenmesi. Yazarlara göre kaynak alan, piroklastik malzeme püskürten bacanın coğrafik pozisyonudur. Kaldera kaynağı ise, magmanın çekilmesinden sonra oluşan çöküntü yapısıdır. Yazarlar revize edilmiş ignimbirit stratigrafisini ve ignimbiritlerin kaynak alanlarını sunmuşlardır.

Binal (1996) İhlara Vadisi'nde yapmış olduğu yüksek lisans çalışmasında, blok devrilmelerinin meydana gelmesi halinde oluşacak yenilme mekanizmalarının belirlenmesi, duraylılık analizlerinin yapılması, bozunmanın duraylılık üzerindeki etkisinin ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında, saha ile ilgili literatür araştırması yapılmıştır. İkinci aşamada, olası devrilme tehlikesine sahip olan bloklar belirlenerek çalışma sahasının lokasyonları oluşturulmuştur. Saha çalışmaları sonucunda iki farklı piroklastik kayaç türü belirlenmiştir (üst seviyede Kızılkaya ignimbiriti, alt seviyede Selime tufü), örnekler bu türlerden alınmıştır. Üçüncü aşamada, laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Son aşama ise, bilgisayar ortamında yapılan duraylılık analizleridir.

Topal ve Doyuran (1997) tüflerin mühendislik özellikleri üzerinde durmuşlardır. Peri bacaları adı verilen yer şekillerinden bazıları, Kapadokya tüflerinin içinde yer almaktadır. Bu yapılar, atmosferik etkilerden dolayı fiziksel ve kimyasal olarak bozulmaya uğramaktadırlar. Bu bozulmalardan korunma çalışmaları için tüflerin

mühendislik jeolojisi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yürütülen çalışmaların sonuçlarına göre, Kapadokya tüflerinde yer yer renk solmalarının gözlenmesine rağmen genel olarak taze yüzeylidirler ve orta zayıf-çok zayıf dayanımları vardır. Tüfler, düşük birim hacim ağırlığa ve çok yüksek poroziteye sahiplerdir. Ayrıca deformasyona uğrama ihtimalleri çok yüksektir. Çalışma alanında iki adet ana süreksizlik seti saptanmıştır, bu süreksizlikler hem formasyon tarafından hem de peri bacalarının yapısal duraylılığı tarafından kontrol edilmektedirler. Nemlilikten kaçınarak ve süreksizliklerin su sızdırmalarının önüne geçilerek tüflerin bozulmaları engellenmektedir. Eklemlerden ve yapay çatlaklardan dolayı oyma-taş (rock-hewn) kiliselerde meydana gelen duraysızlıkların, korozyona karşı dayanımlı kaya saplamalarıyla giderilebileceği tavsiye edilmektedir.

Aydan ve Ulusay (2003) Kapadokya bölgesinde bulunan yeraltı şehirleri ve yarı yeraltı yerleşimlerinin bulunduğu tüf birimlerinde çalışmışlardır. Bu yerleşimler, kaya mühendisliğindeki insan yapılarının uzun dönem performanslarının en iyi örnekleridir. Kapadokya tüflerinin fiziksel, mekanik özellikleri ve yerinde karakterizasyonları hakkında araştırmalar yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur. Ayrıca Kapadokya'daki olası mühendislik jeolojisi problemleri için de bir bakış açısı genişlemiştir. Açıklıkların ve yerleşimlerin farklı kesimlerindeki sıcaklık ve nemlilik ölçümlerine göre, iklimsel farklılık yeryüzüyle karşılaştırıldığında çok azdır. Kapadokya tüfleri, yüksek poroziteye ve çok düşük kuru birim hacim ağırlığa sahiplerdir. Tek eksenli sıkışma dayanımlarına göre orta zayıf-çok zayıf dayanımları vardır. Schmidt çekici deney sonuçlarına göre, tüflerin sıkı kapanımlara ve çok yumuşak matrikse sahip oldukları düşünülmüştür. Bu düşünceden hareketle, tüflerin mekanik özelliklerinde de büyük değişiklikler beklenmemektedir. Avanos'ta bulunan Zelve tüfü, Ürgüp ve Derinkuyu'da bulunan tüflerle karşılaştırıldığında kabarma olasılığı, nem içeriği ve fiziksel-mekanik özelliklerindeki değişkenlik daha fazladır. Bunun yanında, Zelve tüfünün intakt kaya özellikleri ayrışma etkisinden dolayı Kavak ve Gördeles tüflerinden daha düşüktür. Tüfler, oldukça kaliteli kaya kütlesi olarak sınıflandırılırsalar da, kaya malzemesi olarak düşünüldüklerinde aslında zayıf kayalardır. Açık süreksizlikler, süzülme oranını arttırdıklarından dolayı, su içeriği gibi mühendislik

açısından sorun yaratabilecek bir parametrelerinde yükselmesine neden olmaktadır.

Le Pennec ve ark. (2005) Kapadokya ignimbritlerinin yaşı ve stratigrafisi, daha önceki çalışmalarda, saha incelemeleri ve K-Ar yaşlandırma tekniği ile ortaya konmuştur. Ancak bu çalışmaların sonuçlarına göre oluşturulan stratigrafik şemalar birbirinden farklıdır. Yazarlar literatürdeki bu farklılığı çözmeyi amaçlamışlardır. Kapadokya ignimbritlerinin karasal çökelleri içinde bulunan memeli kalıntılarının kronostratigrafisi incelenmiştir ve ignimbritlerin yaşının sınırlaması ile bu seçilmiş taksonlar arasındaki ilişki değerlendirilmiştir. Belirlenen lokasyonlarda, ignimbritlerin yaşları hem radyometrik tekniklerle hem de paleontolojik olarak belirlenmiştir. Radyometrik olarak belirlenen yaş, paleontolojik olarak belirlenen yaş değerinden çok daha gençtir. Bu farkın en olası sebeplerinden biri, pomza örneklerindeki argon kaybının, göreceli radyometrik yenilenmeye (rejuvenation) yol açması olarak düşünülmektedir. Eğer çok fazla yenilenmiş yaş hesaplamaya dahil edilmişse, K-Ar yaşların ağırlıklı ortalaması da hatalı olacaktır. Yazarlara göre, Kapadokya serisi seçilmiş memeli taksonların kronostratigrafisinin, ignimbritlerin yaş sınırlamaları konusunda bazı durumlarda K-Ar yaşlandırma tekniğinden daha iyi sonuçlar verdiğinin belgelendirildiği tek örnektir.

Ulusay ve ark. (2006) Ürgüp' te Kayakapı alanında, yumuşak tüflerin hakim olduğu litolojide bulunan 1200 kadar yeraltı açıklığının mühendislik problemleri araştırılmıştır ve problemler için iyileştirme teknikleri önerilmiştir. Alan, tuf ve tüfit gibi volkanosedimanter kayaların bulunduğu eğimli bir sahadır. Tüfitler ince tabakalanmış, tüfler genellikle masif, tuf serilerini üzerleyen ve atmosferik koşullara duyarlı olan bir ince seri bulunmaktadır. Sahadan elde edilen veriler yorumlandığında ve Kapadokya'da daha önce yürütülmüş olan çalışmalar incelendiğinde, süreksizliklerin ve kaya ayrışmasının açıklıkların duraylılığında daha önemli parametreler oldukları belirlenmiştir. Blok kaymaları ve düşmeleri, aşırı sökülme, bükülme, kabarma, sütunların makaslanması ve erozyonu, yeterli taşıma gücü olmadığından dolayı çökme, açıklıkların girişlerindeki kaya düşmesi tehlikeleri ve kemer tipi girişlerdeki zayıflık çalışma alanında karşılaşılan en önemli duraysızlıklardır. 320 adet açıklık herhangi bir duraysızlık problemi

göstermemektedir ve direkt olarak yeniden kullanıma uygundurlar. Ancak geriye kalan açıklıklarının çoğunun bir iyileştirmeye ihtiyacı vardır. Tavanların duyarlılığını artırmak için, bölgede geleneksel bir metot olan ağaç kirişlerin kullanılması önerilmektedir. Girişlerdeki zayıflığa karşı, yüksek dayanımlı tüflerden yapılmış olan prizmatik bloklardan oluşan kemerler inşa edilmelidir. Kabarmalara karşı, tel kafes ve püskürtme beton düşünülenin aksine, tuf ve püskürtme beton arasındaki zayıf bağdan dolayı ve estetik olarak da uygun olmayacağından başarısız bir iyileştirme tekniği olacaktır. Büyük Kaya alanı kaya düşmesi potansiyeli açısından Kayakapı'nın en riskli bölgesidir. Güvenliği sağlamak için, tekil bloklar patlatma olmadan daha küçük parçalara ayrılarak bölgeden uzaklaştırılmıştır. Dik kesimlerdeki kayalara bulon uygulaması yapılmıştır ve bariyer olarak istinat duvarı inşa edilmiştir. Yazarlar, bölgedeki duraylılık çalışmalarının tüflerin zamandan bağımsız özelliklerinden dolayı ileriki çalışmalara açık olduğunu altını çizmişlerdir.

Sarı (2009) piroklastik kaya ortamının deformabilite özelliklerini ve kaya kütlesi dayanımının olasılıksal olarak belirlenebilmesi için pratik bir prosedür tanımlamıştır. Olasılıksal modellemeye değinildiğinde, araştırılan bir sistem modelinin rastgele değişkenlerinin sayısallaştırılması için var olan bir sistem modelinin kullanıldığı bir teknik olduğu söylenebilir. Çalışmalarını İhlara Vadisi'nde bulunan Kızılkaya İgnimbitleri'nde yürütmüştür. Saha çalışmaları esnasında, kaya kütlesinin süreksizlik özellikleriyle alakalı veriler toplanmıştır. Ardından, intakt kaya örnekleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. Var olan veri seti üzerine ki-kare tekniği kullanılarak uygun istatistiksel dağılım uydurulmuştur. Kaya kütlesinin deformabilite özelliklerinin ve dayanımının tahmin edilmesi için, genelleştirilmiş Hoek-Brown ampirik eşitliğindeki girdi parametrelerinin yerini belirlenen olasılıksal yoğunluk fonksiyonu almıştır. Monte Carlo simülasyonunu çalıştırdıktan sonra, araştırılan kaya kütlesinin dayanım ve deformabilite özelliklerinin aralığı belirlenmiştir. Yazar yürütmüş olduğu çalışmada, deterministik yaklaşımlarla elde edilen dizayn parametreleri ile karşılaştırıldığında, önerilen yaklaşımla belirlenen kaya özellikleri kaya mühendislerine yapılar için daha gerçekçi dizayn parametreleri sağladığının altını çizmiştir.

Ergüler (2009) Kapadokya tüflerinin ayrışma özellikleri üzerine kapsamlı bir araştırma yürütmüştür ve peri bacalarının korunması için gerekli olan ayrışma oranı, saha ve laboratuvar çalışmaları ile ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu araştırmaların yanı sıra tüflerin mekanik, mineralojik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Suda dağılmaya karşı duraylılık deneyiyle dayanım değerlendirilmiştir, ayrışma oranı için de ıslanma-kuruma, donma-çözülme deneyleri yapılmıştır. Sütunların bazı kısımlarında aşırı yüklenme koşullarının bulunmasından dolayı, bu deneyler yük altında yürütülmüştür. Düşük pekişme derecelerinden dolayı Esbelli tufünün deformasyon özellikleri ve dayanımı su içeriğinin artmasından etkilenmezken Kavak Üyesi'nin yumuşak kısımlarının su içeriği arttıkça çekme dayanımı ve tek eksenli sıkışma dayanımı azalmaktadır. Donma-çözülme çevriminden sonra Kapadokya tufünün tek eksenli sıkışma dayanımı önemli ölçüde azalmaktadır. Arazi gözlemlerine ve laboratuvar çalışmalarının sonuçlarına göre, Esbelli tufünün ayrışma oranı 0.03 ve 0.59 mm/yıl arasında, Kavak üyesinin yumuşak kısımlarının ise 0.4 ve 2.5 mm/yıl arasında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı, erozyon riskinin yanında kaya düşmeleri gibi ayrışmanın tetikleyici unsur olduğu duraysızlıkların da tehlikesi altında bulunmaktadır. Özellikle peri bacalarının en alt kısımlarında ayrışma arttıkça mikro çatlaklar oluşmakta, ardından bu çatlaklar yayılıp birleşmektedir. Sonuç olarak, ayrışma oranı belirlenen değer üzerinde çıkmaktadır. Yazar tarafından, sonraki çalışmalarda ayrışma oranının kırık yayılımı üzerindeki etkisinin araştırılması için bir yöntem üzerinde çalışılması tavsiye edilmiştir.

Tuncay (2009) çalışmanın amacı, Kapadokya bölgesindeki sütunların duraysızlıkları ile kritik yenilme gerilmeleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Çalışmanın amacı doğrultusunda bölgeden farklı vakalar seçilmiş ve kopma yüzeyleri incelenmiştir. Yenilmeler, kayaların zaman içinde dayanımlarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Çalışmada, klasik kısa dönem laboratuvar deneyleri ile kayaların uzun dönem dayanımlarını tahmin etmek için yenilmeler değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme amacıyla, bölgenin farklı kısımlarından kaya örnekleri toplanmış, kuru ve doymuş örnekler üzerinde tek eksenli sıkışma dayanımı ve dolaylı çekilme (Brazilian) deneyleri uygulanmıştır. Deneyler esnasında kaya örneklerinin deformasyon evrelerini ve kırık yayılımının sınır değerini belirlemek amacıyla aksenal deformasyon ve akustik emisyon aktiviteleri

de kaydedilmiştir. Seçilmiş olan her vakada basitleştirilmiş geriye dönük analizler yürütülmüş ve kopma yüzeyinin çekilme dayanımları ve sütunların tek eksenli sıkışma dayanımları hesaplanmıştır. Laboratuvar deneylerinden elde edilen sınır değerleri ve geriye dönük analizlerden elde edilen sınır değerleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları birbirine çok yakındır. Islak ve kuru örneklerdeki akustik emisyon deneylerinin yardımıyla uzun dönem dayanım tahmin edilmektedir. Genel bir yaklaşım olarak, tüflerin sahip olduğu %15-30 doruk dayanım değerini, Kapadokya bölgesindeki yapıların uzun dönem duraylılığı için kritik değer olarak kabul etmek mümkündür. Bu nedenle söz konusu değer, tuf yapılarında yeni imalat, koruma ve yenileme çalışmaları esnasında dikkate alınmalıdır.

Tunusluoğlu ve Zorlu (2009) çalışmalarını, Kapadokya bölgesinde bulunan doğal eserlerden ve tarihi yerlerden biri olan Ortahisar Kalesi ve civarında yürütmüşlerdir. Kale, 50 m yüksekliğe sahiptir ve yaklaşık 500 m²'lik bir alanı kapsamaktadır, eklemli ignimbiritler tarafından şekillendirilmiştir. Kaledeki bazı bloklar kaya düşmesi açısından ciddi riskler oluşturmaktadır. Çeşitli amaçlarla insanlar tarafından oyulmuş yapılar da kaya düşmesi riskini arttırdığından kale kontrolsüz turist ziyaretlerine kapalıdır. Çalışmada yazarlar, kaya düşmesi tehlikesinin potansiyelini belirlemek amacıyla, bir dizi analiz gerçekleştirmişlerdir. Düşen blokların yeri ve boyutu da belirlenmiştir. Analizler sırasında, sökülmüş blokların sekme yüksekliği, kinetik enerjisi, hızı ve yayılım mesafesi (runout distance) Rockfall V.4 yazılımı ile saptanmıştır. Dört ana süreksizlik seti belirlenmiştir ve bunlardaki ortalama süreksizlik aralığı 2.81 m'dir. Blokların ağırlıkları 3,200 kg ile 38,000 kg arasında değişmektedir. Kaya düşmesi analizlerinin sonuçlarına göre, sökülmüş bloklar çok yüksek bir hıza ve kinetik enerjiye sahiptir. Maksimum kinetik enerji ve hız 38,180 kJ ve 29.22 m/s olarak belirlenmiştir. Kale ve civarının topoğrafik ve yüzey koşullarına bağlı olarak farklı yayılım mesafeleri elde edilmiştir. Minimum ve maksimum etki mesafeleri, 47.57 m ve 133.75 m olarak hesaplanmıştır. Yayılım mesafesi değerleri kullanılarak, kalenin ve çevresinin kaya düşmesi tehlikesi haritası üretilmiştir. Bu haritaya göre yaklaşık olarak, 30.000 m² alan maksimum yayılım mesafesi bölgesinde yer almaktadır. Var olan kaya düşmesi önlemleri, hem teknik açıdan hem de estetik görünümü bozacağından çalışma alanında uygulanamamaktadır.

Zorlu ve ark. (2011) Avanos, Zelve ve Çavuşin'in de içinde bulunduğu bir doğal miras alanında kaya düşmesi değerlendirmesi yapmışlardır. Kapadokya bölgesi, farklı erozyon süreçlerinden dolayı eşsiz jeomorfolojik yapılara sahiptir. Bu yapıların en bilinenleri peri bacaları olsa da, bölgede sütunkayalar ve mesalar da bulunmaktadır. Saha çalışmaları, süreksizlik araştırmasını, örneklemeyi, düşmüş veya sökülmüş blokların lokasyonlarını ve boyutlarını belirlemeyi kapsamaktadır. Sütunkaya ve mesaların en üst kısımları iyi çimentolanmış kireçtaşı ve granüler ignimbiritlerden oluşmuşken alt kısımları düşük dayanıma sahip tüfler ve ignimbiritlerden oluşmuştur. Kaya düşmelerinin de bu dayanımı farklı birimlerden dolayı meydana geldiği belirlenmiştir. Neojen yaşı volkano-sedimanter kayaların yüzleklerinde iki boyutlu kaya düşmesi analizi yürütülmüştür (Rockfall V.4 yazılımı aracılığıyla). Düşen blokların ağırlıkları 50 kg ile 6000 kg arasındadır, 36 kesitte geriye dönük analiz gerçekleştirilmiştir. Dört lokasyonda etki mesafelerine göre risk haritası üretilmiştir. Bu haritalara göre, peri bacalarının ve yolların önemli bir kısmı maksimum etki alanı mesafesi içinde yer almaktadır. Bu bölge içinde yerleşim alanı yoktur ancak, turizm açısından yoğunluk çok fazladır. Bu nedenle koruma önlemlerinin alınması gerekmektedir. Hendek açma, kaya saplamaları, yüksekliği düşük bariyerler ve ağlar, turistlerin güvenliğini arttırmak için bu alanlara uygulanabilir tekniklerdendir.

Aydar ve ark. (2012) Orta Anadolu Volkanik Kuşağı'na ait olan Miyosen-Holosen yaşlı ignimbiritler için tamamlayıcı jeokronolojik veriler kullanmışlardır. Ayrıca aralarındaki yaş farkı çok az olan riyodasitik karakterliden riyolitik karakterliye doğru olan ignimbiritleri korele edebilmek amacıyla zirkon jeokimyası, alterasyona dayanımlı bir indikatör olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Bu yöntem ile, Sofular ve Gördeles, Sofular ve Sarımadentepe İgnimbiritleri arasındaki farklılıklar ortaya çıkmıştır. Diğer Orta Anadolu Volkanik Kuşağı ignimbiritleri (Kavak Birimi, Cemilköy İgnimbiriti ve üzerleyen birimler) arasında ise yakın bir ilişki olduğu saptanmıştır. Ayrıca daha önce tanımlanması yapılmamış iki adet püskürme evresi de tanımlanmıştır. Bu evreler, magmatik sıcaklık derecelerindeki yükselme ile belirlenmiştir.

Kaşmer ve ark. (2013) yürüttükleri çalışmada, 1500 yıl önce Kapadokya'da yerleşim amaçlı, yumuşak tuf birimi içinde kazılarak oluşturulmuş bir alanı jeoteknik olarak değerlendirmişlerdir. Günümüzde Zelve Açık Hava Müzesi olarak bilinen çalışma alanı üç adet vadi içermekte olup yazarlar en kritik olduğundan dolayı ilk vadede çalışmıştır. Açıklıkları doğal şevler olarak çevreleyen tuf biriminin mühendislik özellikleri, birimi etkileyen faktörlerin araştırılması, topukta meydana gelen erozyonun dik vadi kenarlarının duraylılığı üzerindeki etkisi ve kabarma problemi bulunan yeraltı açıklıklarından bazıları seçilerek buralardaki yapısal duraylılığın araştırılması konularına odaklanılmıştır. Çalışılan kaya kütlesi, Zelve tufü adı verilen, geniş aralıklı ve devamlı soğuma eklemlerine sahip olan zayıf bir tüftür. Dayanım ortadan iyiye olarak sınıflandırılmasına rağmen, tufün intakt dayanımı göz önüne alındığında esasında dayanımı zayıftır. Zelve tufü doymun hale geldiğinde, tek eksenli sıkışma dayanımı, çekme dayanımı ve deformasyon özelliklerinde keskin bir azalma gözlenmiştir. Dayanımdaki azalma sebebiyle, özellikle yağmur mevsimlerinde yenilmelerin meydana gelmesi daha olasıdır. Donma-çözülme deneylerinin sonuçlarına göre, kabarma donma-çözülme çevrimiyle ilişkilidir ve bu çevrim kayanın ayrışmasını hızlandırmaktadır. Ayrıca donma-çözülme süreci esnasında, Zelve tufü biriminden oluşan şevlerin topuklarında parçalanma meydana gelmektedir çünkü bu kısımlar kapilariteden dolayı ıslaktır. Beş yıllık periyot için, şevlerin topuğundaki erozyon miktarı, 1,07 mm ve 6,21 mm aralığında belirlenmiştir. Erozyonun homojen olduğu varsayıldığında yıllık erozyon miktarı ise, 0,21 mm/yıl ve 1,24 mm/yıl arasındadır. Bu sonuçlara göre, erozyon önemli bir faktördür ve özellikle şevlerin topuğunda meydana gelip destek kaybına neden olarak yenilmeyi hızlandırmaktadır. Çalışmada ayrıca, 100, 500 ve 1000 yıl içinde içinde topuk erozyonunun dik vadi şevlerinin duraylılığı üzerindeki etkisinin ve seçilmiş olan yarı yeraltı açıklıklarının duraylılığının araştırılması için nümerik analizler yürütülmüştür. Bu analizlere göre, 100 yıl sonra, vadi şevlerinin makaslama ve çekme dayanımlarında önemli bir değişiklik beklenmemektedir. Ancak, 500 ve 1000 yıl için elde edilen sonuçlara göre, çekme dayanımından kaynaklanan yenilme zonlarının, kaya yüzeyinde sırasıyla 50-60 cm ve 90-100 cm kalınlıklarında kabarmalara neden olmaları beklenmektedir. Yerdeğiştirme vektörlerine göre, kabarmalar şevin ön yüzünde meydana gelecek ve kabaran kısımlar şevden kopup düşme eğiliminde

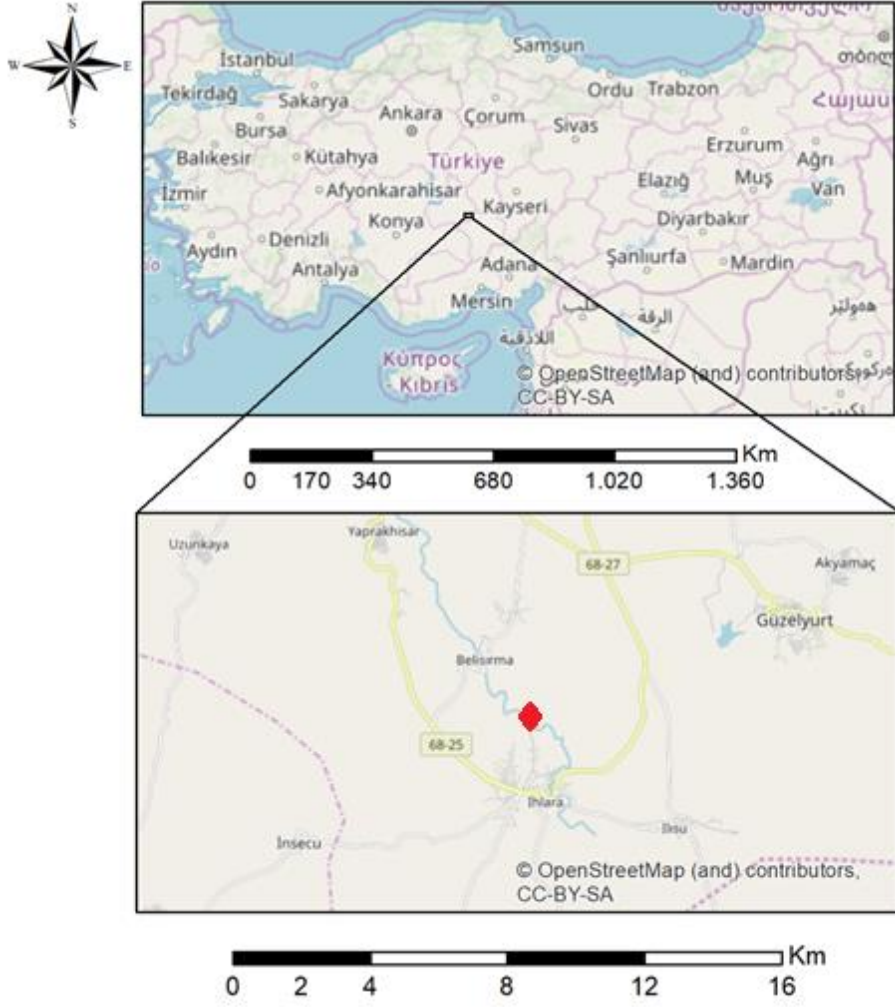
olacaklardır. Daha düzenli geometriye sahip olan seçilmiş üç açıklıkta yürütülen üç boyutlu nümerik analiz sonuçlarına göre, açıklıkların etrafındaki çekme gerilmesinden dolayı oluşan yenilme zonu, açıklığın duvarlarına paralel olarak gelişmiştir. Bu sonuç, asıl kabarmaların açıklığın duvarına paralel olarak gözlenmesiyle de doğrulanmıştır. Yazarlar bu çalışmanın, gelecekte müze için yapılacak olan restorasyon ve koruma işleri için, bazı temel bilgileri içerdiğinin altını çizmişlerdir.

3. ÇALIŞMA ALANININ ÖZELLİKLERİ

3.1. Çalışma Alanının Konumu

Tez sahası, Aksaray ilinin Güzelyurt ilçesi sınırlarında bulunmaktadır (Şekil 3.1). 18 km uzunluğa sahip olan Ihlara Vadisi, Aksaray şehir merkezine yaklaşık olarak 35 km uzaklıkta bulunmaktadır. İgnimbiritlerin soğuma sırasında meydana gelen büzülme nedeniyle sütunsal yapıların oluşmasıyla (Beekman, 1966) vadi etkileyici bir morfolojiye sahip olmuştur (Şekil 3.2). Eşsiz morfolojisi ve kültürel mirası ile Kapadokya bölgesinin en gözde arkeolojik alanlarından biridir. Çalışma alanı olarak, Ihlara Vadisi'nin yaklaşık 600 m uzunluğunda, 9000 m²'lik bir parçası seçilmiştir. Bu seçilen kısım, adını orada bulunan bir rahibin mezarından çıkan yilandan aldığı söylenen ve 9. yüzyıla ait olduğu bilinen tarihi Yılanlı Kilise'yi de içermektedir (<https://www.kapadokyadayim.com/yilanli-kilise/>). Yılanlı Kilise, bölgenin en fazla ziyaretçi alan kiliselerinden biridir. İnsanların ve diğer canlıların yoğunluğu fazla olduğundan çalışma alanı olarak bu kısım seçilmiştir.

Ihlara Vadisi, Orta Anadolu'da Kapadokya bölgesinde bulunan bir doğal miras alanıdır, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Müdürlüğü tarafından, 22.10.1990 tarihli ve 90/1117 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile özel çevre koruma bölgesi olarak ilan edilmiştir (<https://tvk.csb.gov.tr/ihlara-i-395>).



Şekil 3.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.



Şekil 3.2. Ihlara Vadisi'nden genel görünüm.

3.2. Çalışma Alanının ve Civarının Jeolojik Özellikleri

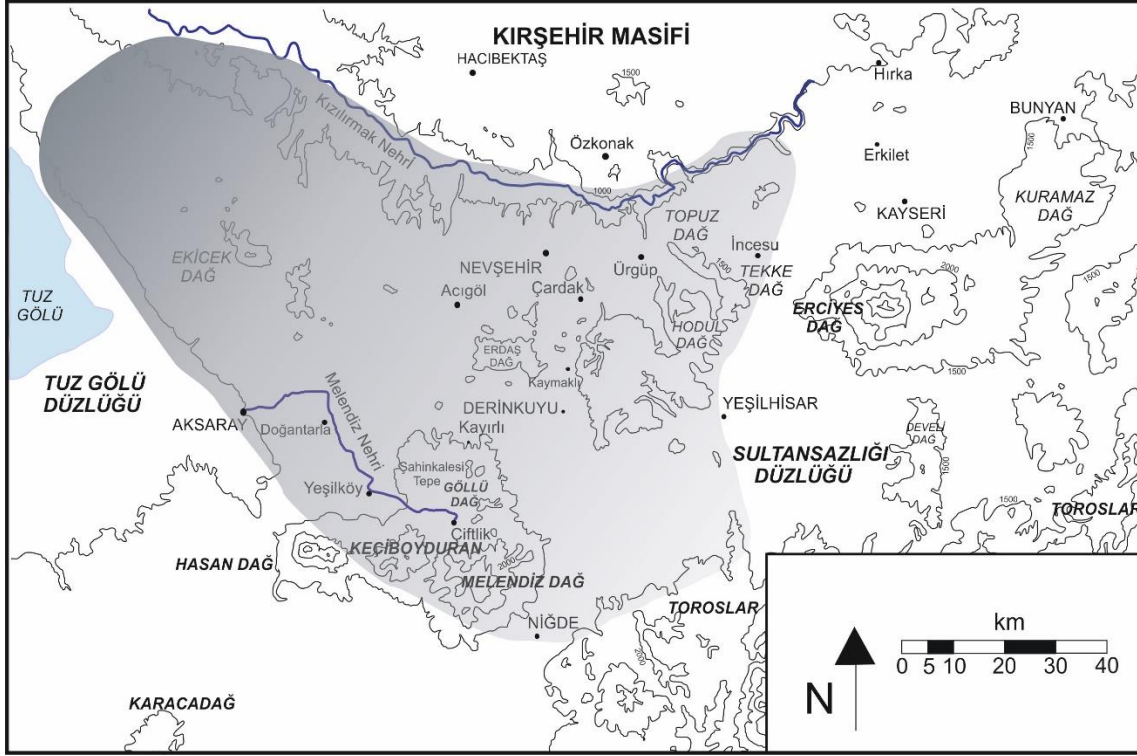
Türkiye Kretase ve Paleojen dönemlerinde mikro plakaların birleşimidir. (Le Pennec ve ark., 1994). Yakınlaşma, Afro-Arabistan levhasının Avrasya levhasına doğru ilerlemesiyle başlamıştır. Bu ilerleme sonucunda Pontid ve Torid gibi orojenik kuşaklar oluşmuş olup, bu iki orojenik kuşak Anadolu bloğuyla birbirinden ayrılmaktadır (Le Pennec ve ark., 1994).

Üst Miyosen'de Arabistan levhası ile Avrasya levhasının çarpışması Anadolu bloğunda tektonik hareketlere neden olmuştur, bu tektonik hareketler Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı gibi doğrultu atımlı fay hatlarının oluşmasına sebebiyet vermiştir (Le Pennec ve ark., 1994).

Bu sıkışma hareketlerinden sonra Üst Oligosen'de volkanizma başlamış olup, Şekil 3.3'te de görüldüğü üzere Türkiye üç ana volkanik alana sahiptir (Le Pennec ve ark., 1994). Bunlardan biri olan Orta Anadolu Volkanik Kuşağı (OAVK), iki büyük tektonik basen içeren (Tuz Gölü baseni ve Sultansazlığı baseni) yapısal olarak karmaşık bir alanda oluşmuştur (Şekil 3.4) ve bu iki baseni Nevşehir platosu ayırmaktadır. OAVK, kalk-alkalin türde volkanizmaya sahiptir. OAVK volkanizmasının Üst Miyosen'in erken zamanlarında başlayıp Kuvarterner'e kadar devam etmiş olduğu düşünülmektedir (Le Pennec ve ark., 1994).



Şekil 3.3. Türkiye'nin ana yapısal özellikleri (Le Pennec ve ark., 1994'ten değiştirilerek alınmıştır). Gri renkli kısımlar, yaşları Oligosen ile Kuvaterner arasında değişen volkanizmayı temsil etmektedir. OAVK: Orta Anadolu Volkanik Kuşağı. DAVK: Doğu Anadolu Volkanik Kuşağı. BAVK: Batı Anadolu Volkanik Kuşağı.



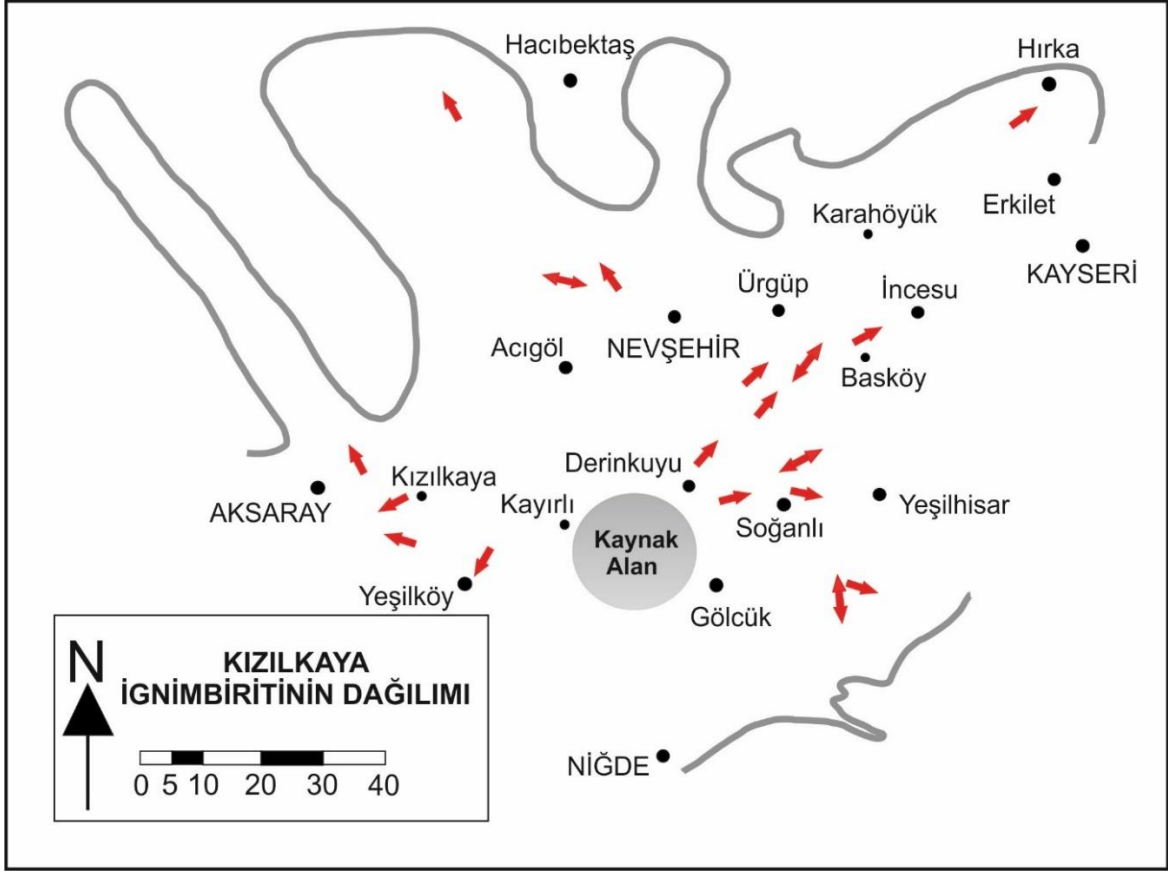
Şekil 3.4. Nevşehir platosu civarının ve OAVK'nın topoğrafik haritası (Le Pennec ve ark., 1994'ten değiştirilerek alınmıştır). Gri renk ile vurgulanmış alan Nevşehir platosu olarak tanımlanmıştır. Derinkuyu bölgesi, platoda sıkışmanın en fazla olduğu kesimdir.

Kıtasal Neojen serisi, Yeşilhisar konglomeraları ve Ürgüp Formasyonu olarak bölümlendirilmiştir (Le Pennec ve ark., 1994). İgnimbiritler ise Ürgüp formasyonunda bulunmaktadır. OAVK, çok sayıda maar, silisik domlar ve cüruf konileriyle birlikte stratovulkanlar ve ignimbirit birikintileri içermektedir (Le Pennec ve ark., 1994).

Çalışma alanı, iki büyük Kuvarterner yaşlı stratovulkan tarafından sınırlanmıştır; Erciyes Dağı (3917 m) ve Hasan Dağ (3257 m) (Sarı, 2009). İgnimbirit patlamalarında, kül ve lapilli içeren bulutlar da oluşmuştur, sonrasında bu kül ve lapilli karışımı tüm alana yayılmıştır (Beekman, 1966). Bu gevşek malzeme, sadece Nevşehir platosunun en genç Neojen ignimbirit serisi olan Kızılkaya ignimbiritlerinde gözlenmektedir, bunun nedenin ignimbirit patlamasından sonra ciddi bir erozyon sürecinin başlaması olduğu düşünülmektedir (Beekman, 1966).

Ihlara Vadisi'nin hakim litolojisini oluşturan Kızılkaya ignimbiritleri, Aksaray, Gelveri ve Hasan Dağ arasında bulunmakta, ilk oluştuklarında geniş bir plato üzerindeyken Melendiz Nehri'nin drenaj ağı ve aktif tektonizmanın etkisiyle geniş plato parçalanarak dar bir kanyon oluşmuştur (Beekman, 1966). İgnimbiritlerin sahip olduğu estetik görünümde ise, soğuma sırasında meydana gelen büzölme, fisürlerdeki su birikimi vb. etkenlerin payı vardır (Beekman, 1966).

Kızılkaya ignimbiritleri, 10.600 km²'yi aşan kaplama alanı ve 180 km³'lük hacmiyle Kapadokya' nın en geniş birimlerinden biridir (Le Pennec ve ark., 1994) (şekil 3.5). İgnimbiritlerin kalınlıkları ilk oluştukları topoğrafyanın da etkisiyle ani değişiklikler göstermektedir, Yaprakhisar'ın güneyinde maksimum kalınlık yaklaşık 50 m'ye kadar ulaşırken, ortalama kalınlıkları 2-5 m aralığında değişmektedir (Beekman, 1966). Yaşları ise 4,4 ila 5,5 my arasında değişmektedir (Temel ve ark., 1998).



Şekil 3.5. Kızilkaya İgnimbiriti'nin dağılımı (Le Pennec ve ark., 1994'ten değiştirilerek alınmıştır). Akış çizgileri (çift yönlü kırmızı oklar) ve akış yönü (tek yönlü kırmızı oklar) Le Pennec ve ark. (1994) tarafından yürütülen arazi çalışması sırasında gözlenen ayrılma çizgileri ile tanelerin dokularında yapılan ölçümlerden çıkarılmıştır.

3.3. Çalışma Alanı ve Civarının Stratigrafik Özellikleri

Bu bölümde, inceleme alanında ve civarındaki stratigrafi incelenmiştir. Dönmez ve ark., (2005) çalışmasından yararlanılmıştır. İnceleme alanı ve çevresinde, Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar (Kırşehir Masifi), Üst Kretase yaşlı ofiyolitik ve plütonik kayalar (Mamasun Ofiyolitik Karışığı, Orta Anadolu Granitoyiti), Eosen yaşlı denizel çökeller (Çayraz Formasyonu), Üst Eosen-Oligosen yaşlı karasal çökeller (İncik Formasyonu) ile Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal çökellerle bunlara eşlik eden ignimbiritler ve yoğun olarak Pliyosen-Kuvarterner aralığında etkin olmuş volkanik kayalar gözlenmektedir (Şekil 3.6).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	SİMGE	KAYA TÜRÜ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVARTERNER				Alüvyon Yamaç molozu Traverten		Qal Qym Qtr		Çakıl, kum, kil, mil Blok, çakıl, kum Traverten UYUMSUZLUK
					Hasandağ Volkanitleri	II.E.D.	Qht2		Kül, tüf, volkanik kum
						II.E.	Qhb2		Andezitik, çakıl, blok, kül
						Baz.	Qhb		Bazalt, bazaltik piroklastikler
						A.R.D.	Qhard		Andezit, riyolit
						I.E.D.	Qht1		Kül, tüf, volkanik kum
						Ak.	Qha		Riyolit
						I.Ev.	Qhb1		Andezitik çakıl, blok, kül
					Karataş Vol.	Qka		Bazalt, cüfuf konisi	
					Kuyulutalar Vol.	Qku		Bazalt, cüfuf konisi	
					Acıgöl Vol.	Qac		Bazalt, bazaltik piroklastikler	
					Göllüdağ Vol.	Qgö		Riyolit, riyolitik piroklastikler	
					Melendiz Vol.	Qm		Andezit, andezitik piroklastikler	
					Keçiboyduran Vol.	Qke		Andezit, bazaltikandezit, piroklastikler	
	İÇ ANADOLU	ÜST PLİYOSEN ALT PLİYOSEN	Kışladağ	plk		UYUMSUZLUK			
			Kızılkaya	plk1		Gösel kireçtaşı UYUMSUZLUK			
			Kulaklıdağ Vol.	Tmku		İgnimbirit UYUMSUZLUK			
			Erdaşdağ Vol.	Tme		Andezit, bazaltik andezit			
		Balcı Vol.	Tmb		Altere volkanik kayalar				
		ÜST MİYOSEN	Gör. Cem. Gel. Sar.	Ürgüp İnsuyu	Tmüg		İgnimbirit ve lav ara seviyeli gösel çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşı araldanması		
					Tmüc				
					Tmügl				
					Tmüsa				
					Tmke				
Tmke									
ORTA MİYOSEN		Keçikalesi Volkaniti	Tmke		Andezit, bazaltik andezit UYUMSUZLUK				
			İncik	Sekilli Evaporit	Toi		Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı		
				Tois		Jips			
EOSEN		Çayraz	Teç		Çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, kireçtaşı UYUMSUZLUK				
			MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE		Orta Anadolu Granitoyiti Mamasun Ofiyolitik Karışığı	Kog	
Ko		Diyabaz, gabro, serpantin							
PALEOZOYİK			KIRŞEHİR MASIFI	Bozçaldağ	Pzb		TEKTONİK DOKANAK		
					Kaleboynu	Pzka		Mermer	
								Kalkşist, kuvarsit, gnays	

Şekil 3.6. Çalışma alanı ve civarının stratigrafik dikme kesiti (Dönmez ve ark., 2005' ten değiştirilerek alınmıştır).

3.3.1. Kırşehir Masifi

Orta Anadolu' da Kırşehir Masifi olarak bilinen metamorfik kayalar bölgesinin en yaşlı kaya birimleridir (Dönmez ve ark., 2005). Kırşehir Masifi, magmatik katkı platform çökellerin metamorfizmaya uğramasıyla oluşmuştur (Dönmez ve ark., 2005). Aksaray ili kuzeyi, Yanlızceviz ve Narköy güneyinde sınırlı bir alanda yüzeylenmektedir. Kaleboynu Formasyonu (Dönmez ve ark., 2005) ve Bozçaldağ Formasyonu (Dönmez ve ark., 2005) olmak üzere iki birime ayrılarak incelenmiştir. Bunlar birbirleri ile yanal ve düşey geçişlidir. Kırşehir Masifi genelde yeşilşist, almandin-amfibolit ve yer yer granülit fasiyesinde metamorfizma özelliklerini gösterir ve gnays, şist, mermer, amfibolit, kuvarsit gibi kaya türlerinden oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Henüz, Kırşehir Masifi'nin yaşı kesin olarak saptanamamıştır (Dönmez ve ark., 2005). Bolkardağı birliğinin bir bölümü ile olan litostratigrafik benzerliği, Liyas-Kretase yaşlı Neotetis ürünü kayalarla farklı oluşum özellikleri sunması, birimin Paleozoyik yaşlı olduğunu düşündürmektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.1.1. Kaleboynu Formasyonu (Pzka)

Kırşehir Masifi'nde, mermer ara katkılı kuvarsit, kuvarşist, kalkşist, gnays vb. kaya türlerinden oluşan birim, Kaleboynu Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Dış görünümü yeşil, sarı ve kahverengi olup ince tabakalıdır (Dönmez ve ark., 2005). Kayalardaki başlıca mineraller albit, oligoklas, kuvars, biyotit, muskovit ve klorittir. Birimin tabanı gözlenmemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Yanlızceviz köyü civarında, mostra verdiği alanda, Üst Miyosen yaşlı Ürgüp Formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim Bozçaldağ Formasyonu ile yanal ve düşey yönden geçişlidir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.1.2. Bozçaldağ Formasyonu (Pzb)

Gri, beyaz renkli, orta-kalın tabakalı, yer yer erime boşluklu mermerler ve çok az oranda şistlerden oluşan birim Bozçaldağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Orta-iri kristalli olan mermerler, yer yer granitoyitik kayaçlarla kesilmiş ve ayrıca kontakt metamorfizmaya uğramıştır (Dönmez ve ark., 2005). Bu bölümlerde skarnlaşma ve yeniden kristalleşmeler gözlenmiştir (Dönmez ve ark., 2005). Sınırlı olmakla beraber, Aksaray ili kuzeyinde Yanlızceviz köyü ve Narköy yakınlarında yüzeylemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimin tabanı görülememektedir. Üst dokanağında ise uyumsuz olarak Ürgüp Formasyonu'na ait çökeller, ignimbiritler ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı volkanik kayaçlar yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.2. Mamasun Ofiyolitik Karışığı (Ko)

Gabro, pegmatitik gabro, diyabaz, çört ve serpantinit karmaşığında oluşan birim, Mamasun Ofiyolitik Karışığı olarak tanımlanmış olup birimin adı bölgede en iyi gözleendiği yer olan Mamasun Barajı'ndan alınmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Gabrolar, plajiyoklaz ve amfibol minerallerini içermektedirler (Dönmez ve ark., 2005). Plajiyoklazlarda hidrogranat ve zoisit dönüşümleri gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Mamasun Barajı, Akmezar, Delihebil, Ağzıkarahan, Demirci köyleri civarında geniş yayılıma sahiptir (Dönmez ve ark., 2005). Bu ofiyolitik kayaçlar, yer yer granitoyitik kayaçlarla kesilmiştir (Dönmez ve ark., 2005). Bu ilişki Delihebil, ve Akmezar köyleri arasındaki Çalarkaştepe'de izlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Net olmamakla beraber birimin, Kırşehir Masifi üzerinde yer aldığı bilinmekte olup Eosen, Miyosen ve Kuvarterner yaşlı çökel ve volkanik kayaçlarla uyumsuz olarak örtülüdür (Dönmez ve ark., 2005). Ofiyolitik karışık, bölgeye büyük olasılıkla Üst Kretase' de tektonik olarak yerleşmiştir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.3. Orta Anadolu Granitoyitleri (Kog)

Alandaki, granit, granodiyorit, mikrodiorit ve mikromonzogranit bileşimindeki derinlik ve yer yer yarı derinlik kayaçları, Orta Anadolu Granitoyitleri olarak

tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birimin kaya türünü, granit ve granodiyoritler oluşturmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Kayacı oluşturan başlıca mineraller, kuvars, oligoklaz, hornblend, plajiyoklaz, alkali feldispat ve biyotittir (Dönmez ve ark., 2005). Aksaray ili doğusunda geniş yayılıma sahip olan birim, Yanlızceviz ve Çağıl köyü arasında yüzeylemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Kırşehir masifini kesmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Granitoyitik kayalar, Eosen ve Üst Miyosen yaşlı çökel ve volkanik kayalar tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimin yaşı Senoniyen olarak tahmin edilmektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.4. Çayraz Formasyonu (Teç)

Denizel kumtaşı, kilitaşı, marn ve kireçtaşından oluşan birim, Çayraz Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birimin alt seviyelerinde kumtaşları, üst kesimlerinde ise, marn ve kireçtaşları egemendir (Dönmez ve ark., 2005). Formasyon yeşil, gri, sarı renklerde olup kumtaşları ve orta-kalın tabakalı marnlar ince tabakalı, kireçtaşları ise ince-orta tabakalıdır (Dönmez ve ark., 2005). Geyral köyü Kocadağ tepe ve Toptepe' de yüzeylemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Gözlenen fosillere göre birim Yipresiyen yaşlıdır (Dönmez ve ark., 2005). Çayraz Formasyonu, Geyral köyü ile bu köyün güneyindeki ofiyolitik kayaların üzerinde uyumsuz olarak bulunmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Formasyonun üzerinde, Üst Miyosen yaşlı gölsel çökeller ve ignimbiritik kayalar uyumsuz olarak yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.5. İncik Formasyonu (Toi)

Kırmızı, kirli sarı renkli karasal çakiltası ve kilitaşlarından oluşan, beyaz ve yeşil renkli jips seviyeleri içeren birim, İncik Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Formasyondaki çakiltaları kötü boylanmalı olup başlıca granit, gabro, diyabaz türü kayaların çakıllarını içermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Bölgede yapılan çalışmada formasyon içinde Lütisiyen yaşlı kireçtaşlarına ait çakılların bulunduğunu belirtmişlerdir (Dönmez ve ark., 2005). Kumtaşları da benzer kökenli kayalardan türemiş, kaba taneli olup, gevşek

çimentoludurlar (Dönmez ve ark., 2005). Birim içindeki kilitaşları ince tabakalı olup bazen laminalıdır (Dönmez ve ark., 2005). Göl ve akarsu ortamında çökelmiş olan İncik Formasyonu, yer yer kömür seviyeleri içermektedir (Dönmez ve ark., 2005).

İncik formasyonunun, kırmızı-kahverengi, gri, beyaz, yeşil renkli, orta-kalın katmanlı jips ve çamurtaşları aralanmasından oluşan kesimi Sekilli Evaporit Üyesi olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Üst Eosen sonunda, bölgeyi etkileyen regresyon sonucunda gelişen evaporitik ortamda çökelmiştir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.6. Keçikalesi Volkaniti (Tmke)

Gri, siyah renkli bazaltik andezit ve bazalt bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan birim Keçikalesi Volkaniti olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Hasandağı'nın güneybatısı, Keçikalesi köyü ile kuzeybatısında ve Dikmen köyünde yüzeylenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Keçikalesi Volkanitleri'nin kaynağı, yaklaşık 3-3.5 km çapındaki Keçikalesi kalderasıdır (Dönmez ve ark., 2005). Birimin tabanı çalışma alanı ve çevresinde izlenmemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Keçikalesi volkanitlerinden K/Ar yöntemiyle, yaptırılan radyometrik yaş tayininde 13.7-12.4±0.6 my yaşlar saptanmıştır. Buna göre birimin yaşı Orta Miyosen'dir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7. İç Anadolu Grubu (Ti)

İç Anadolu Bölgesi'ndeki Orta Miyosen-Pliyosen yaşlı ayrılmamış karasal fasiyesler Dönmez ve ark., (2005) tarafından İç Anadolu Grubu adı altında toplanmıştır. Daha önceki yıllarda da özdeş kaya birimleri, Kızılırmak Formasyonu adı altında toplanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). İç Anadolu Grubu'na ait çökeller Miyosen öncesi kayaçları uyumsuzlukla örtmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Üzerinde ise uyumsuz olarak Kuvarterner çökelleri yer almaktadır. İç Anadolu Grubu'nun yaşı Üst Miyosen-Pliyosen'dir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.1. İncisuyu Formasyonu (Tmi)

Beyaz, gri renkli kalın-orta katmanlı gösel kireçtaşı, marn, çakıltası, kumtaşı, kıltaşı ve yer yer volkanik ara katkılardan oluşan birim, İncisuyu Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Formasyon genel olarak, ince marn ve kil ara katmanlı kireçtaşları ile temsil edilmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Kireçtaşları, beyaz, gri renkli, mikritik ve sparitik dokulu, yer yer silisifiye ve bol gastropodludur (Dönmez ve ark., 2005). İncisuyu Formasyonu temel kayalar üzerinde diskordanslı olarak yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Üst Miyosen yaşlı olarak kabul edilen formasyon, karbonat çökelinin yoğun olduğu bir göl ortamının ürünüdür (Dönmez ve ark., 2005). Silisifiye düzeyler volkanik etkinin varlığını, marn ve kil ara katmanları karadan gelen malzemenin zaman zaman baskın olduğunu yansıtmaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.2. Ürgüp Formasyonu (Tmü)

Karasal çakıltası, kumtaşı, kıltaşı, kireçtaşı ile ignimbirit ara seviyeleri ve andezitik lav dilleri içeren birim, Ürgüp Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Tabanda, kırmızı ve kahverengi alüvyal yelpaze çökelleri ile başlayan birim, yanal ve düşey olarak kumtaşı, kıltaşı ve kireçtaşlarına geçiş göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimde ignimbiritik ve andezitik lav düzeyleri izlenmekte olup bunlar Sarımadentepe İgnimbirit Üyesi, Gelveri Lav Üyesi, Cemilköy ve Gördeles İgnimbirit Üyeleri olarak ayırtlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

Sarımadentepe İgnimbirit Üyesi (Tmüsa): Gri renkli, pomza, volkanik kayaç ve obsidiyen parçaları içeren ignimbiritik kayaçlar, Sarımadentepe İgnimbirit Üyesi olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Tepesidelik, İmampınarı, Doğantarla ve Kızılkaya köyleri civarında geniş yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Ürgüp Formasyonu'nda ara düzey olarak gözlenen birimin üzerine bazen doğrudan Cemilköy İgnimbiriti gelmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Obsidiyenler ara ara yoğunlaşarak ignimbiritin siyah bir renk almasına neden olmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Obsidiyenler Sarımadentepe İgnimbiriti için ayırtman özelliğidir (Dönmez ve ark., 2005). Diğer ignimbirit üyelerinde bu

özellik gözlenmemektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Beekman (1966)'ın Göstük İgnimbiriti ile eşdeğerdir.

Gelveri Lav Üyesi (Tmügl): Gelveri (Güzelyurt) köyünde sınırlı bir alanda yüzeyleyen gri, yer yer beyaz boşluklu, andezit bileşimli lavlar, Gelveri Lav Üyesi olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Üyenin başlıca fenokristallerini, plajiyoklaz ve piroksen (klinopiroksen) oluşturmaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

Cemilköy İgnimbirit Üyesi (Tmüc): Beyaz, pembe ve sarı renkli, yer yer peribacalarının geliştiği pomza, bazalt, obsidiyen ve andezit türü kayaç parçaları içeren birim, Cemilköy İgnimbiriti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Çalışma alanında Selime, Çeltek, Uzunkaya, Bozyurt köyleri civarında geniş yayılıma sahiptir (Dönmez ve ark., 2005). Ürgüp Formasyonu çökelleri ile ardalanmalı olarak izlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim üzerine bazen doğrudan Gördeles İgnimbirit Üyesi veya uyumsuz olarak Kızılkaya ignimbiriti ile Kuvarterner yaşlı volkanik kayaçlar yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Cemilköy İgnimbiriti'nde Schummacher ve Schummacher (1996) tarafından yapılan K/Ar yaş tayinine göre, birimin yaşı Üst Miyosen olarak saptanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Cemilköy İgnimbirit Üyesi Beekman (1966)'ın Selime Tüfü ile eşdeğerdir (Dönmez ve ark., 2005).

Gördeles İgnimbirit Üyesi (Tmüg): Gri, mor, yer yer pembe renkli, pomza, litik ve vitrik parçalar içeren ve tek bir piroklastik akıntıdan oluşan birim Beekman (1966) tarafından Gördeles İgnimbirit Üyesi olarak adlandırılmıştır. Gelveri (Güzelyurt), köyü civarında geniş yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Başlıca fenokristalleri, plajiyoklaz, biyotit, klinopiroksen, amfibol, kuvars ve opak mineraller ile pomza ve kayaç parçaları gözlenmiştir (Dönmez ve ark., 2005). Radyometrik yaş verilerine göre, Gördeles İgnimbirit Üyesi Üst Miyosen'de oluşmuştur (Dönmez ve ark., 2005).

Çalışma alanında geniş yayılıma sahip olan Ürgüp Formasyonu, özellikle Aksaray ili kuzeyinde, Taşpınar ilçesi civarında ve Aksaray ili Kızılkaya köyü arasında gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimin altında, ofiyolitik kayaçlar, granitoyitik kayaçlar ve İncik Formasyonu'na ait kayaçlar yer almaktadır. Bunlarla ilişkileri uyumsuzdur (Dönmez ve ark., 2005). Birimin

üzerinde ise Üst Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı volkanik kayalar gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Üst Miyosen kayaları ile yer yer geçişli olan Ürgüp Formasyonu, Pliyosen ve Kuvaterner kayaları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Ürgüp Formasyonu'nun en yaşlı ignimbiritinin (Kavak İgnimbiriti) yaşı 11.2 ± 2.5 my olarak saptanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Ayrıca formasyonun değişik düzeylerinden Üst Miyosen yaşı veren memeli fosilleri bulunmuştur (Dönmez ve ark., 2005). Bu fosillere göre birimin yaşı Üst Miyosen'dir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.3. Balcı Volkaniti (Tmb)

Sarı, kahverengi, mor ve yeşil renklerde limonitleşme ve hidrotermal alterasyona uğramış, lav, tüf ve çeşitli piroklastiklerden oluşan volkanitler Balcı Volkanitleri olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Melendiz Dağı güneyinde Altınhisar kasabasının kuzey kesimlerinde yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Balcı Volkanitleri, Melendizdağ Volkanitleri'nin çekirdeğini oluşturmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Birimin tabanı gözlenmemektedir. Üst dokanakta ise, Melendizdağ Volkanitleri, Keçidoyuran Volkanitleri ve Hasandağ Volkanitleri'nin piroklastikleri uyumsuz olarak yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005). K/Ar yöntemiyle yapılan radyometrik yaş tayini sonuçlarına göre, Üst Miyosen olarak saptanmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.4. Erdaşdağ Volkaniti (Tme)

Çalışma alanının kuzeydoğusunda gri, sarı, pembe renkli, andezitik bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan birim, Erdaşdağ Volkanitleri olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Karaçalı mevki kuzeyinde çok sınırlı bir alanda yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Mikroskobik incelemeler sonucunda kayaların porfirik dokuda oldukları ve fenokristal olarak, plajiyoklaz, ojit, biyotit, hornblend ve hipersten içerdikleri anlaşılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Hamur, bol plajiyoklaz ve piroksen mikrolitlerinden oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Alt dokanağı net olarak izlenememekle birlikte birim, Kızılkaya ignimbiriti tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Erdaşdağ Volkaniti'nden yapılan yaş tayininden yola çıkılarak birimin yaşı Alt Pliyosen

olarak düşünölmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Ayrıca birimin bölgesel stratigrafik konumu da göz önüne alındığında, volkanizmanın Üst Miyosen'de başladığı anlaşılmış olup bu nedenle de Erdaşdağ Volkanitleri'nin yaşı, Geç Miyosen-Erken Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.5. Kulaklıdağ Volkaniti (Tmku)

Siyah, gri, koyu kahve renkli, yer yer levha eklemlı, andezitik bileşimli lav ve piroklastikler, Kulaklıdağ Volkaniti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Mikroskopik incelemelere göre, kayaç porfirik dokulu olarak tanımlanmış olup, başlıca fenokristalleri plajiyoklazi klinopiroksen, ortopiroksen, hornblend ve opak minerallerdir (Dönmez ve ark., 2005). Birim Güzelyurt, Akyamaç, Sivrihisar köyleri ve Şahinkalesi tepede yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimin alt dokanağında, Ürgüp Formasyonu'na ait Gördeles ve Cemilköy İgnimbirit Üyeleri yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Kulaklıdağ Volkaniti, Kızılıkaya İgnimbiriti, Hasandağ Volkanitleri ve Göllüdağ Volkanitlerinin piroklastikleri tarafından uyumsuz olarak örtölmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birimden, Şahinkalesi Tepe civarından K/Ar yöntemi ile yaptırılan radyometrik yaş tayininden 3.9 ± 0.4 my yaş bulunmuştur (Dönmez ve ark., 2005). Ancak volkanizmanın Ürgüp Formasyonu ve Kızılıkaya İgnimbiriti ile olan stratigrafik ilişkileri, volkanik aktivitenin Üst Miyosen'de başladığını göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.6. Kızılıkaya İgnimbiriti (plkı)

Oluşum şekilleri ile birbirinden farklı en az beş seviyeden oluşan kırmızı, kahverengi ve beyaz renkli, üst kesimleri iyi kaynaklaşmış, yer yer sütunsal ayrışmalı ignimbiritler Kızılıkaya İgnimbiriti olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birim İmampınarı, Çağıl, Döğüz, Gürsu, Kızılıkaya, Yaprakhisar, Yeşilköy civarında geniş yayılıma sahiptir (Dönmez ve ark., 2005). Tez sahası olan İhlara Vadisi, büyük oranda Kızılıkaya İgnimbiriti üzerinde gelişmiştir. Kızılıkaya İgnimbiriti'nde taban akıntı ürünleri, havadan düşme ürünleri ve akma ürünlerini üst üste görmek mümkündür (Dönmez ve ark., 2005). Kayaç pomza ve volkanik kayaç parçaları içermekte olup bu parçalar volkanik cam hamurla

birbirlerine bağlanmış olup yaşı Alt Pliyosen olarak düşünülmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim kendinden önceki tüm kaya birimlerini, uyumsuz olarak üzerlerken, üzerinde Kışladağ Formasyonu'na ait gölsel kireçtaşları ile Hasandağ ve Göllüdağ Volkanitleri'ne ait piroklastikler uyumsuz olarak yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.7.7. Kışladağ Formasyonu (plk)

Sarı, beyaz renkli, genel olarak gölsel kireçtaşlarından oluşmakla birlikte kiltası ve killi kireçtaşını da barındıran birim, Kışladağ Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Kızılkaya köyü civarında, Taşpınar nahiyesi barı kesimlerinde, Aksaray ili kuzeyinde gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Yer yer gölsel gastropod kavkıları bulunmasına rağmen doğrudan yaş verecek fosile rastlanılmamıştır (Dönmez ve ark., 2005). Çökeller Kızılkaya İgnimbiriti'nin üzerinde uyumsuz olarak gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Stratigrafik konumu göz önüne alındığında, formasyonun Üst Pliyosen'de çökelmiş olduğu varsayılmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.8. Keçiboyduran Volkaniti (Qk, Qkp)

Keçiboyduran Tepe'yi oluşturan, kirli beyaz, sarı ve kahverengi renkli piroklastikler ile gri, siyah renkli andezit, bazaltik andezit bileşimli lavlar, Keçiboyduran Volkaniti olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Keçiboyduran Tepe aynı zamanda volkanizmanın başladığı yerdir (Dönmez ve ark., 2005). Mikroskopik incelemelere göre, porfirik dokulu olup, başlıca fenokristalleri, plajiyoklaz, piroksen, biyotit, hornblend ve ojittir. Keçiboyduran volkanizmasının yaşı Kuvarterner' dir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.9. Melendizdağ Volkaniti (Qm)

Gri, siyah renkli, andezitik lav ve piroklastiklerden oluşan birim, Beekman (1966) tarafından Melendizdağ Volkanitleri olarak tanımlanmıştır. Andezitler porfirik dokuya sahip olup başlıca fenokristalleri, plajiyoklaz, klinopiroksen ve biyotittir

(Dönmez ve ark., 2005). Birim altta Balcı Volkanitleri ile uyumsuz olarak yer alırken, üstte Göllüdağ ve Hasandağ Volkanitleri'ne ait piroklastikler tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Yürütülmüş olan radyometrik yaş tayinlerinden birimin yaşı, 1.1 ± 0.2 my olarak belirlenmiştir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.10. Göllüdağ Volkaniti (Qg, Qgp)

Göllüdağ Volkanitleri, kaldera çökmesi ve kaldera içindeki domların püskürmesiyle ilişkilidir. Qgp ifadesi birim içindeki piroklastikleri ifade etmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Ovalıbağ, Bozköy, Narköy, Bekarlar köyleri civarında yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Birim, Kuvaterner öncesi yaşlı birimlere ait tüm kayaları uyumsuz olarak üzerlemektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.11. Acıgöl Volkaniti (Qac)

Genellikle Acıgöl kalderası ürünlerinden oluşan kayaç topluluğu, Acıgöl Volkanitleri olarak bilinmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Volkanizma etkinlikleri kaldera öncesi, kaldera sırası ve kaldera sonrası olarak ayırtlanmıştır. Birim, Bekarlar ve Ağaçalı köyü kuzeyinde gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.12. Kuyulutatlar Volkaniti (Qku, Qkuc)

Bazaltik lavlar (Qku) ve cüruf konilerinden (Qkuc) oluşan birimdir. Bekarlar, Gösterli, Narköy civarından gözlenmektedir (Dönmez ve ark., 2005). Kuyulutatlar Volkanitleri lavlarında yapılan araştırmalar sonucunda, bazaltik bileşimli ve ofitik doku gösterdikleri anlaşılmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Birim kendinden önceki tüm kayaçları keserek çıkmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Doğrudan yaş verecek bir bulgu yoktur (Dönmez ve ark., 2005). Ancak genel stratigrafideki yeri göz önüne alındığında Acıgöl Volkanitleri ile eş zamanlı olarak etkin olduğu düşünülmektedir (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.13. Karataş Volkaniti (Qka, Qkac)

Bazaltik lavlar (Qka) ve cüruf konilerinden (Qkac) oluşan birimdir (Dönmez ve ark., 2005). Hasandağı' nın kuzeyinde, Karataş, Karaören köylerinde yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Lavlar, olivin bazalt olarak tanımlanmıştır, sert, kompakt ve yer yer gaz boşlukludur. Karataş Volkanitleri, Hasandağ Volkanitleri ile aynı dönemde etkin olmuştur (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.14. Hasandağ Volkanitleri (Qh)

Farklı evrelerde oluşmuş, kül-blok akmaları, döküntü ve akma tüfleri ile andezitik, bazaltik ve riyolitik lavlardan oluşan birim, Hasandağı Volkanitleri olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005). Hasandağı Aksaray'ın güneyinde, 3268 m yüksekliğe sahip olan bir stratovolkandır. Birim, yedi üyeye ayrılmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

I. Evre Kül-Blok Akmaları (Qhb1): Birim, egemen olarak andezitik bloklardan oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Bu andezitik bloklar Keçiboyduran Volkanitleri'ne ait olduğu düşünülmektedir (Dönmez ve ark., 2005).

Akçeşme Riyoliti (Qha): Hasandağı'nın kuzeyinde çok sınırlı bir alanda yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005). Kirli, gri, beyaz sarımsı renkli riyolitik kayalar, Akçeşme Riyolitleri olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

I. Evre Döküntü ve Akma Tüfleri (Qht1): Obsidiyen, andezitik-riyolitik parçalar ile pomza içeren beyaz renkli tüf ve kül birimleridir (Dönmez ve ark., 2005). Hasandağı'nın doğu ve güney kısımlarında yayılım göstermektedir (Dönmez ve ark., 2005).

Andezitik-Riyolitik Domlar (Qhard): Büyük Hasandağ, Küçük Hasandağ ve Kurt tepeden çıkan andezit ve dasit türde lav akıntıları ve daha az oranda piroklastiklerden oluşan birimdir (Dönmez ve ark., 2005). I. Evre Döküntü ve Akma Tüfleri üzerinde yer almaktadır (Dönmez ve ark., 2005). II. Evre Kül ve Blok Akma Çökelleri ise birimi üzerlemektedir (Dönmez ve ark., 2005).

Bazaltik Akıntılar (Qhb): Ulukışla köyü kuzeyinden çıkan bazaltik lav ve piroklastikler, Bazaltik Akıntılar olarak tanımlanmıştır (Dönmez ve ark., 2005).

II. Evre Kül-Blok Akmaları (Qhb2): Andezitik bileşimli çakıl ve blok boyutundaki parçalarla, kül ve tuf akmalarından oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005). Büyük Hasandağı'nın etrafından geniş yayılıma sahiptir (Dönmez ve ark., 2005).

II. Evre Döküntü ve Akma Tüfleri (Qht2): Andezit, riyolit, obsidiyen parçaları içeren tuf, kül ve volkanik kumdan oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

3.3.15. Traverten (Qtr), Yamaç Molozu (Qym), Alüvyon (Qal)

Traverten (Qtr), bölgeyi etkileyen genç tektonik oluşumlarla yüzeye çıkan sıcak sulara bağlı olarak çökelmiştir (Dönmez ve ark., 2005). Yamaç molozu (Qym), çoğunlukla gabro, diyorit ve granit çakıllı, çakıl, blok, kum ve kil boyutundaki malzemelerdir (Dönmez ve ark., 2005). Alüvyon (Qal), bölgede akarsu ve derelerin oluşturduğu, kum, çakıl, kil ve mil depolamalarından oluşmaktadır (Dönmez ve ark., 2005).

4. FOTOGRAMETRİK VERİ İŞLEME

Fotogrametri, temelde ışık yardımıyla ölçme anlamına gelmektedir. Luhmann ve ark. (2011), fotogrametrinin bir nesnenin konum ve şeklinin fotoğraflar yardımıyla çıkarılması amacıyla görüntü ölçüm ve yöntemlerini kapsadığını ifade etmişlerdir. Bir başka tanıma göre ise fotogrametri, iki boyutlu görüntüleri kullanarak üç boyutlu bir nesne uzayının modellenmesine imkan tanıyan ölçüm tekniğidir (Egels ve Kasser, 2002). Tek bir fotoğraftan, gerekli geometrik düzeltmeler yapıldıktan sonra, iki boyutlu koordinatlar elde edilebilmektedir. Ancak, üçüncü boyutu elde edebilmek için, en az iki fotoğrafa ihtiyaç duyulan stereoskopik bakış adı verilen bir prensip kullanılmaktadır (Linder, 2003). Bu prensibe göre, bir nesnenin farklı açılardan çekilmiş iki ya da daha fazla fotoğrafından, iki fotoğrafta da var olan herhangi bir noktanın üç boyutlu koordinatı kolaylıkla hesaplanmaktadır (Linder, 2003).

Fotogrametrinin ilk yıllarında, tüm süreç mekanik olarak işlemiştir. Büyük boyutlu, karmaşık ve pahalı cihazların yanında, fotogrametrik işlemleri gerçekleştirmek için tecrübe gerekmiştir (Linder, 2003). Görüntülerin yöneltmesi, ölçümler, haritalama gibi işler de mekanik olarak sürdürüldüğü bu dönem analog fotogrametri olarak adlandırılmıştır (Linder, 2003).

1950'li yılların ortaları, analitik fotogrametrinin eşiğidir (Luhmann ve ark., 2011). Bilgisayarların gelişmesiyle birlikte, parametreler ve formüller bilgisayarda depolanmaya başlanmıştır (Linder, 2003). Ancak analog görüntülerle çalışmaya devam edilmiştir (Linder, 2003).

Son yıllarda, bilgisayarların çok yüksek hıza ulaşması ile birlikte, dijital görüntüler kullanılarak, direkt olarak bilgisayarda işlemler yürütülmeye başlanılmıştır (Linder, 2003). Günümüzde, basit bir kişisel bilgisayar bile, yüksek çözünürlüklü dijital görüntülerin depolanması için yeterli güce ve kapasiteye sahiptir (Linder, 2003). Bu dönem ise dijital fotogrametri dönemidir.

Bilindiği üzere, bir kaya kütlelerini karakterize edebilmek için sahip olduğu süreksizliklerin özelliklerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bu özelliklerden en önemlilerinden biri de süreksizliklerin yönelimleridir. Yönelim, geleneksel olarak

süreksizlik yüzeyinden pusula ile eğim ve eğim yönünün ölçülmesi ile elde edilmektedir. Ancak bu durum her sahada hızlı ve pratik olmamaktadır. Tez sahası, eğimleri çoğunlukla 85-89° arasında değişen sütunsal yapılardan oluşmaktadır. Ayrıca sahanın ortasından Melendiz Nehri geçmektedir ve yapıdan ayrılan blok parçaları da vadi kenarlarının diplerinde yığınlar oluşturmuş durumdadır (Şekil 4.1). Bu nedenle, süreksizlik yüzeyine direkt olarak ulaşım pusula ile ölçüm yapmak çok zordur. Ölçüm yapılırsa dahi, geniş yüzeylerin ulaşılabilir konumlarından alınan ölçümlerin temsil ediciliği de az olacaktır.



Şekil 4.1. Sütunsal ignimbiritlerden ayrılan kaya blokları.

Sahadaki pusulayla ölçümü zorlaştıran etkenlerden dolayı, fotogrametri tekniğinden yararlanılmıştır. Çalışmanın ana amaçlardan bir tanesi de maliyeti mümkün olduğunca azaltmak olduğundan dolayı fotoğraf çekimleri akıllı telefon yardımıyla yapılmıştır (iPhone 6, Apple Inc.). Akıllı telefon kamerası, 8 MP (3264 x 2448 piksel) sensör boyutuna ve R-G-B (kırmızı – yeşil – mavi) spektral banda sahiptir. Üretici tarafından verilen bilgilere göre odak uzaklığı 4,15 mm ve odak düzlemindeki piksellerin boyutu 1,5 mikrondur.

Fotogrametrik yöntemlerle yüzeyin oluşturulması için toplam 677 fotoğraf çekilmiştir. Bu fotoğraflar arazi çalışması sırasında hem vadi tabanından hem de

vadinin yukarisından çekilmiştir. Vadi tabanından çekilen fotoğraflardan oluşturulan modelde istenilen nokta bulutu yoğunluğu elde edilememiştir. Bunun nedeni ise, mevsime de bağlı olarak ağaç dallarından, yapraklarından ve devrilen blokların oluşturdukları yığınlardan ötürü fotoğraflanmak istenen yapının kapatılmasıdır (Şekil 4.2). Dolayısıyla oluşturulan modelde, gölgelere denk gelen kısımlarda veri kaybı meydana gelmiştir ve süreksizliklerin yönelimlerinin ölçülmesi için gerekli olan yüzeyler görülememiştir.



Şekil 4.2. Vadi tabanından çekilen fotoğrafların kullanılmamasına neden olan ağaçlar ve ayrılan bloklar.

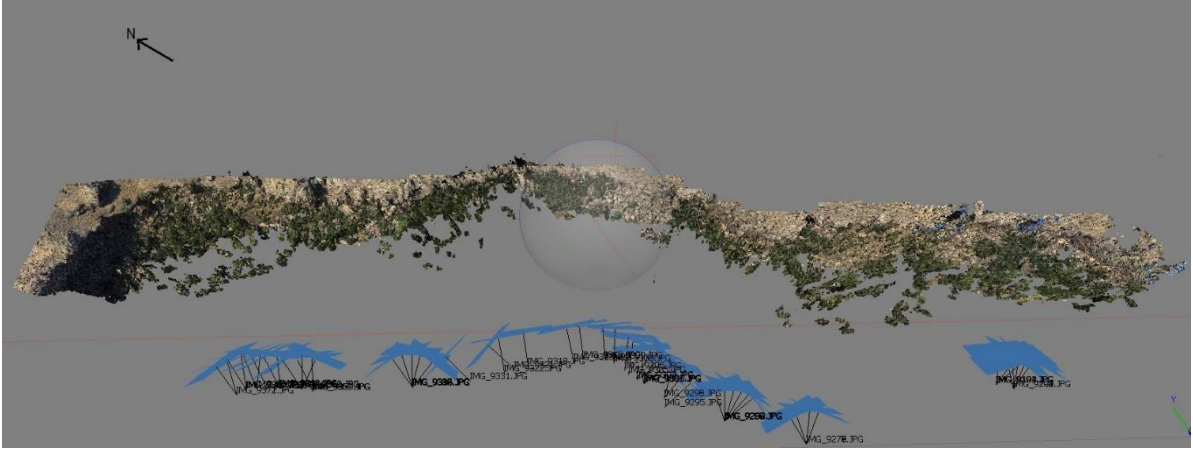
Çalışılan vadi kenarının karşısındaki kenarın üzerinde fotoğrafların çekilmesi için izlenen rota yaklaşık olarak Şekil 4.3'te verilmiştir. Vadi yukarisından çekilen fotoğraflar kullanılarak, en ayrıntılı ve yüzeylerin iyi görüldüğü modeli oluşturabilmek için çok kez deneme yapılmıştır. Bu doğrultuda elle 55 adet en iyi modeli oluşturan fotoğraf seçilmiştir. Bu işlem yapılırken, farklı konumlardan

alınan çoklu görüntülerde yapının görünür olması ve mümkün olduğunca yüzeylerin gölgelerden kurtarılması kriterlerine dikkat edilmiştir.

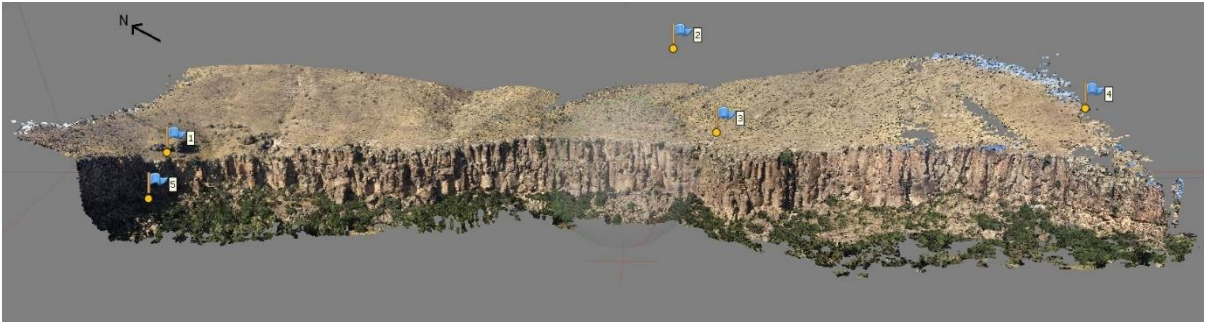


Şekil 4.3. Çalışma alanının hava ortofotosundan ve sayısal arazi modelinden üretilmiş olan genel bir görüntüsü (Mavi işaretler çalışma alanının başlangıç ve bitiş noktalarını, kırmızı kesikli çizgi ise fotoğrafların çekilmesi için yürünen mesafeyi yaklaşık olarak temsil etmektedir).

Şekil 4.4'te görüntülerin alındığı konumlar yer almaktadır. Perspektif merkezleri (kamera pozisyonları) açısından düzenli bir dağılım sağlanamamasına rağmen, üretilen modelden de görüleceği üzere çalışma alanı için yeterli görüntü bindirmeleri sağlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.4. Çalışma alanındaki görüntüler ve konumları.



Şekil 4.5. Yer kontrol noktalarının proje alanındaki dağılımının üretilmiş olan yüzey modeli üzerindeki gösterimi.

Kamera pozisyonlarının (görüntü perspektif merkezleri) kaya yüzeyine olan ortalama mesafesi 140 m'dir. Bu değere bağlı olarak yer örnekleme aralığı (GSD: Ground Sampling Distance, yerdeki piksel boyutu) 5 cm olarak hesaplanmıştır ($GSD = \text{obje mesafesi} \times \text{sensör piksel boyutu} / \text{odak uzaklığı}$).

Çalışma için kontrol noktası üretmek amacıyla ek veri seti Harita Genel Komutanlığı'ndan alınmıştır. Destek verisi, 2015 yılında gerçekleştirilen bir hava fotogrametrisi uçuşu esnasında büyük formatlı kamera (Ultracam Eagle, Vexcel Imaging GmBH, Avusturya) ile çekilmiş olup, 30 cm yersel çözünürlüğe sahip olan iki görüntüyü (%60 bindirmeli stereo görüntü çifti) kapsamaktadır. Bu görüntülerden ortofotolar ve 1 m grid aralığına sahip olan sayısal yüzey modeli üretilmiştir. Ek veri seti, kontrol noktalarının seçiminde kullanılmıştır. Kontrol

noktaları, oluşturulan modelin yeryüzüne göre konumlandırılması için kullanılmaktadırlar. Bu noktaların, hem modelde hem de yeryüzündeki koordinatları hata sınırları dahilinde aynıdır. Hem hava fotoğraflarında hem de akıllı telefon görüntülerinde görülebilen noktalar kontrol noktası olarak seçilmiştir. Noktalar belirlenirken, hem hava fotoğraflarında hem de telefon kamerasıyla çekilen fotoğraflarda ortak olarak görülen çalı kenarı, ignimbirit sütunlarının ucu, bir kaya parçasının kenarı gibi referanslar kullanılmıştır.

Kontrol noktalarının mekânsal olarak dağılımı özellikle görüntü yöneltme işleminin doğruluğu için kritiktir. Noktaların mümkün olduğunca proje alanının çerçevesini hem yatayda hem de düşeyde kapsaması gerekmektedir. Ancak bu noktaların gözle seçimi oldukça zorlayıcı olmuştur. Çünkü, hava fotoğraflarının alındığı tarihle telefonda elde edilen görüntülerin tarihleri arasında yaklaşık 3 yıl zaman farkı vardır. Bu zaman farkında da tez sahasının yüzeyi değişmiş ve özellikle vadi tabanında ortak nokta bulmak güçleşmiştir. Bir tanesi vadi tabanında olmak üzere toplam 5 adet kontrol noktası seçilmiştir.

Fotogrametrik görüntü yöneltme sürecinde 5 adet yer kontrol noktası ve otomatik olarak üretilmiş çok sayıda görüntüler arası bağlama noktası (tie point) kullanılmıştır. Çalışmada metrik olmayan (kalibrasyonu önceden yapılmış) bir kamera kullanıldığından, demet dengelemesi sürecinde ek parametreler yardımıyla self-kalibrasyon yapılmış ve kamera kalibrasyon parametreleri kestirilmiştir.

PS (PhotoScan) dengeleme raporunda, ek parametreler arasındaki korelasyon katsayılarına yer verilmektedir. Ancak, ek parametrelerin ağırlıklarına müdahale edilememiştir. Ayrıca bilinmeyenlerin standart sapmaları vb. önemli ölçütler raporda yer almamaktadır. Bu nedenle, dengeleme sonuçları yeterince yorumlanamayan kapalı bir yazılım çıktısı olarak düşünülmektedir. Ancak yine de raporda yer alan diğer bilgilerle sistemin ulaştığı hassasiyet seviyesi hakkında bilgi edinilmiştir.

Şekil 4.5'e bakıldığında, p2 yer kontrol noktası boşlukta kalmıştır. Bunun sebebi, noktanın bloğu oluşturan çoklu fotoğraflarda ve dengelemede kullanılmasına rağmen, yoğunlaştırılmış nokta bulutunun üretilmediği bölgede kalmasıdır. Şekil

4.6'da, p1 noktasının, cep telefonunu fotoğrafında, üretilmiş modelde ve uydu görüntüsündeki yakınlaştırılmış hali yer almaktadır. Yönelme işleminden sonra, süreksizlik ölçümleri için gereken, eğim ve eğim yönü değerlerinin sahaya gitmeden ve yüzleğe temasa gerek kalmadan alınmasını sağlayan yoğun nokta bulutu çıkartılmıştır. PS yazılımının algoritması tam olarak açıklanmamaktadır. Ancak yazılımın iş akışındaki adımları şu şekildedir (<https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0>):

1. Fotoğrafların arasındaki özelliklerin eşleştirilmesi.
2. Kameranın iç ve dış yönelme parametrelerinin çözülmesi.
3. Yoğunlaştırılmış yüzeyin oluşturulması.
4. Dokuların eşlenmesi.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.6. YKN-1'in (a) cep telefonu görüntüsünde; (b) üretilmiş olan yüzey modelinde; ve (c) 1 m çözünürlüğe sahip sayısal yüzey modeli üzerine giydirilmiş hava fotoğrafı üzerindeki konumu.

5. SÜREKSİZLİK DEĞERLENDİRMELERİ

5.1. Devrilme Duraysızlığı

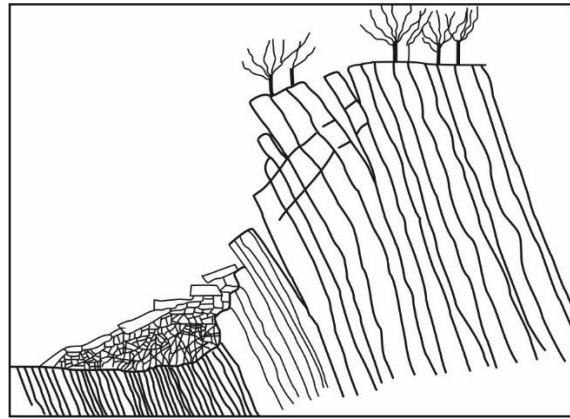
Devrilme duraysızlığı, bir taban üzerinde blok ya da sütunların dönel olarak hareket etmesidir. Bu özelliğiyle diğer duraysızlık türlerinden ayrılmaktadır. Ayrıca bir kayma yüzeyi üzerinde meydana gelen duraysızlıklarda süreksizlikler şev ile aynı yönde eğimli iken, devrilmede süreksizlikler şev ile zıt yönde eğimlidir (Şekil 5.1).



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.1. Eğimi yüksek olan süreksizlikler tarafından ayrılmış ve devrilmeye müsait olan bloklar, (a); süreksizlik yüzeyinden bir kaya parçası ile ayrılmış olan blok, (b); devrilme duraysızlığının bir diyagramda gösterimi (Wyllie, 2018'den değiştirilerek alınmıştır).

Devrilme, devamlılığı yüksek olan süreksizliklerde daha yüksek olasılıkla meydana gelmektedir. Düzlemsel kayma ve kama tipi kaymaya benzer şekilde devrilmede de potansiyel koşulları belirleyebilmek amacıyla öncelikle kinematik analiz ardından da devrilme yenilmesine özgü olan duraylılık analizi yapılmaktadır (Wyllie, 2018).

5.2. Süreksizliklerin Model Tabanlı Ölçümü

CC yazılımı, üç boyutlu nokta bulutlarının analizi ve işlenmesi için açık kaynaklı olan bir yazılımdır. Süreksizlik yüzeylerine temas edilmeden model üzerinden ölçülmesi için CC içindeki compass eklentisi kullanılmıştır. Söz konusu eklenti, 2017 yılında Thiele ve ark. tarafından nokta bulutundan süreksizlik yöneliminin çıkarılması amacıyla geliştirilmiştir.

Ölçümler alınırken modeldeki tüm yüzeyler kullanıcı tarafından seçilmiştir. Bir yüzeyin ölçümü alınırken imlecin içine o yüzeyi temsil eden en fazla noktanın dahil edilmesine dikkat edilmiştir (Şekil 5.2). Ayrıca ölçülenden başka bir yüzeye ait noktanın imlecin içinde olmaması gerekmektedir. Aksi takdirde ölçüm sonuçları hatalı çıkacaktır. Çünkü yazılım, imlecin içindeki noktaların farklı yüzeylere ait olduğunu ayırt edememektedir.

Pusula ile süreksizlik yüzeyinin erişilen daha küçük bir parçasından ölçüm alınırken, modelde yüzeyin tamamına yakın kısmı hesaplamaya dahildir. Bu da modelden ölçüm almanın pusula ile ölçümden daha hassas ve temsil edici olduğunu göstermektedir.



(a)



(b)

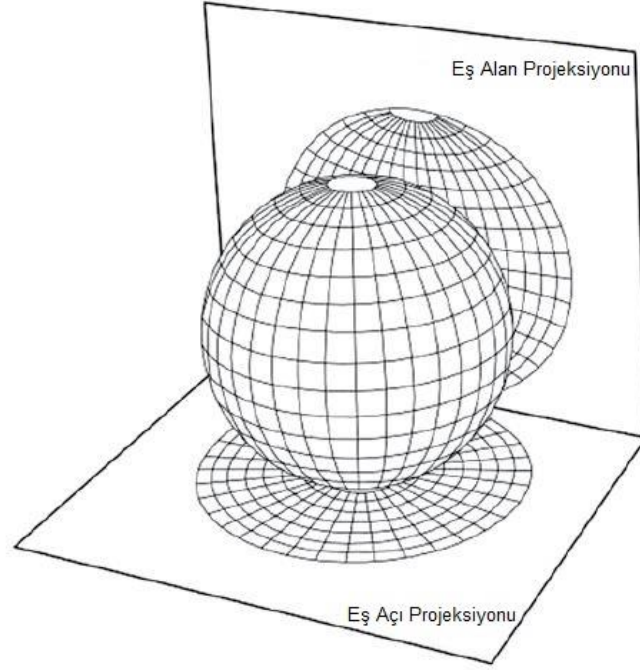


(c)

Şekil 5.2. Bir düzlemin yöneliminin ölçülmesinin aşamaları. (a); ölçülecek düzlemin görüntüsü, (b); yüzeye ait en fazla nokta içeren kısmın kullanıcı tarafından belirlenmesi, (c); ölçüm sonucu.

5.3. Model Üzerinden Ölçülen Süreksizliklerin Kinematik Analizi

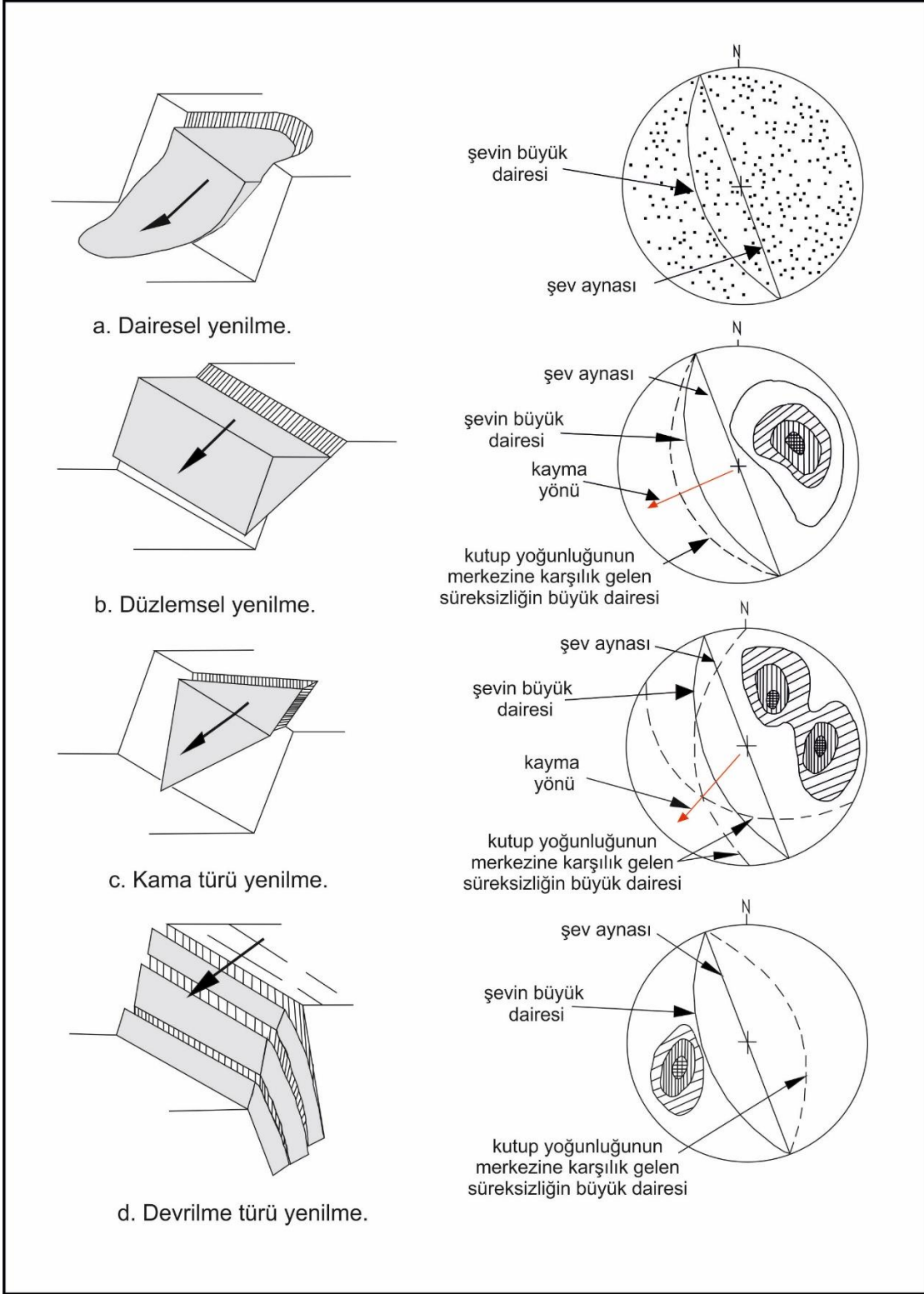
Stereografik projeksiyon tekniği, üç boyutlu olan yönelim verisini iki boyutlu şekilde temsil edilmesine ve analiz edilmesine olanak sağlamaktadır (Wyllie, 2018). İki adet projeksiyon tekniği öne çıkmaktadır (Şekil 5.3), eş alan (Lambert ya da Schmidt) ve eş açı (Stereografik ya da Wulff) projeksiyon teknikleri, yapısal verinin değerlendirilmesinde sıkça kullanılmaktadır (Gökçeoğlu ve ark., 2000).



Şekil 5.3. Eş alan ve eş açı projeksiyonları (Wyllie, 2018).

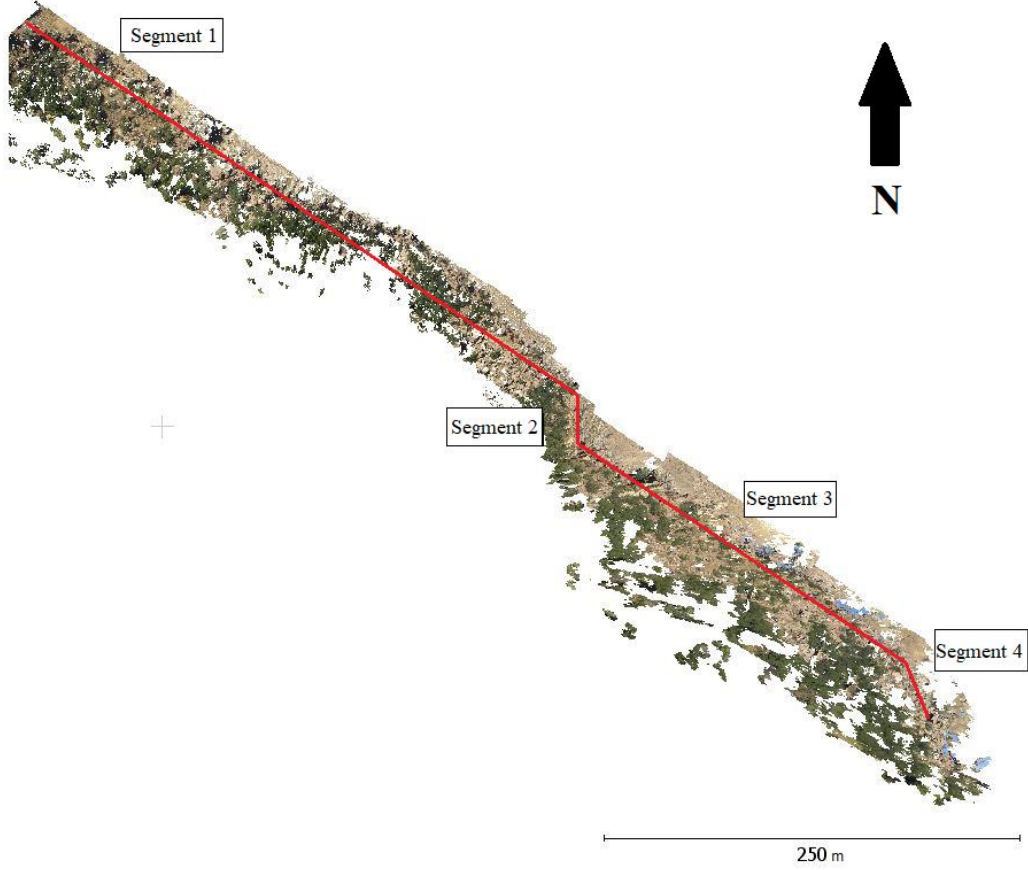
Kinematik analiz yöntemi, duraylılığın süreksizlik sistemleri tarafından denetlendiği kaya kütlelerinde duraylı ve duraysız olabilecek şevlerin ayırt edilmesi amacıyla, ayrıntılı analizlere başlanmadan önce yararlanılan bir tekniktir (Ulusay, 2010). Yöntemde, düzlemsel, kama ve devrilme türü duraysızlıklar incelenmektedir (Ulusay, 2010).

Analiz için gerekli olan parametreler, süreksizlerin içsel sürtünme açısı, şevin yönelimi ve süreksizliklerin yönelimleridir (Şekil 5.4). Bunların dışında kalan; kohezyon, dış yükler, yeraltısuyu koşulları, şev geometrisi, kayan kütlelerin ağırlığı ve dinamik yükler gibi faktörler ise gözardı edilmektedir. Bu nedenle kinematik analiz yöntemi daha çok bir ön değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir.



Şekil 5.4. Kaya şevlerinde gelişen başlıca duraysızlık türleri ve bu yenilmelerin yapısal koşullarının stereonette gösterilmesi (Hoek ve Bray, 1977).

Bu çalışmada bir genelleştirme yapılmıştır. Çalışma alanı şev yönelimine göre dört segmente ayrılmıştır (Şekil 5.5). Bu bölümlendirme hem CC yazılımında veri boyutunu azaltarak çalışmaya kolaylaştırmıştır hem de kinematik analizlere göre çalışma alanının hangi kısımlarının devrilme türü yenilme açısından daha tehlikeli olduğunu kolayca ifade edebilmeyi sağlamıştır.



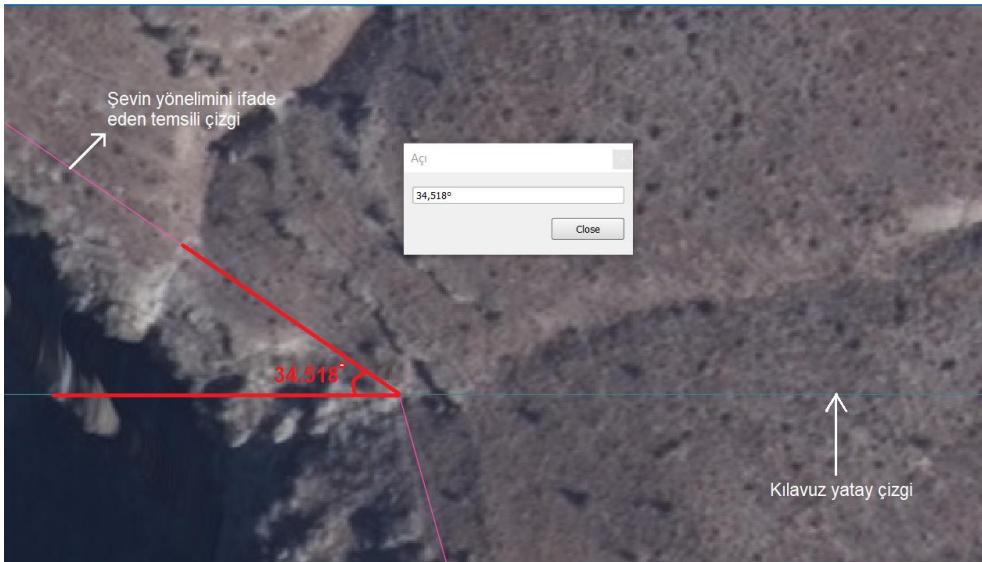
Şekil 5.5. Şev yönelimine göre ayrılmış segmentler.

Analizler için gerekli olan parametrelerden ilki süreksizliklerin içsel sürtünme açısıdır. Çalışma alanında hakim olan litoloji ignimbiritlerdir. İgnimbiritlerin içsel sürtünme açısı 35° olarak kabul edilmiştir. Aynı sahada çalışmış olan, Binal (1996)'ın gerçekleştirdiği kinematik analizlerde kullanılan içsel sürtünme açısı, 34° ile 37° arasında değişmektedir. Moon (1993), özellikleri farklı olan çok sayıda ignimbirit örneğinin jeoteknik özelliklerini ortaya koymuştur. Bu çalışmasını da ignimbirit litolojisinin jeolojik özellikleri için bir standart oluşturmak amacıyla yapmıştır. İgnimbiritlerin içsel sürtünme açısı, 32° ve 38° arasında değişmekte ve bu değerler arazi koşullarına bağlı olarak birkaç derece artıp azalabilmektedir (Moon, 1993).

Diğer önemli parametre olan şevin yönelimi ise her bir segment için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplama için her segment için temsil edici bir çizgi çizilmiştir (Şekil 5.6). Ardından kılavuz olarak yatay bir çizgi çizilmiştir ve aralarındaki açı azimuth olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama QGIS yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5). Segmentlerin eğim ve eğim yönleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Her segmentin yazılım üzerinden hesaplanmış eğim ve eğim yönü değerleri.

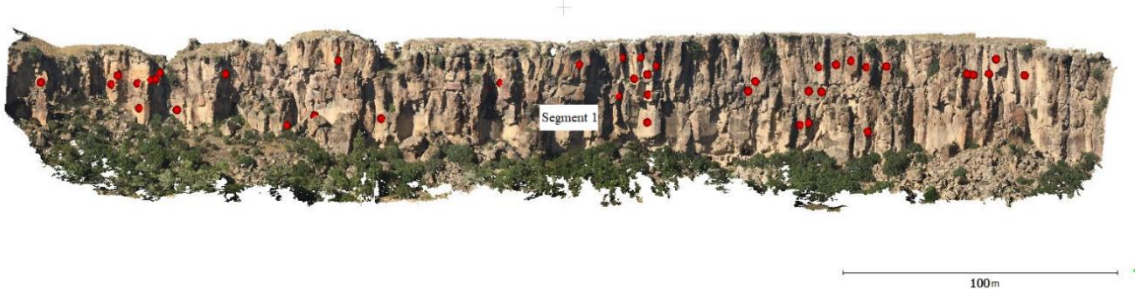
Segment No	Eğim (°)	Eğim Yönü (°)
Segment 1	87	214
Segment 2	87	254
Segment 3	87	214
Segment 4	87	241



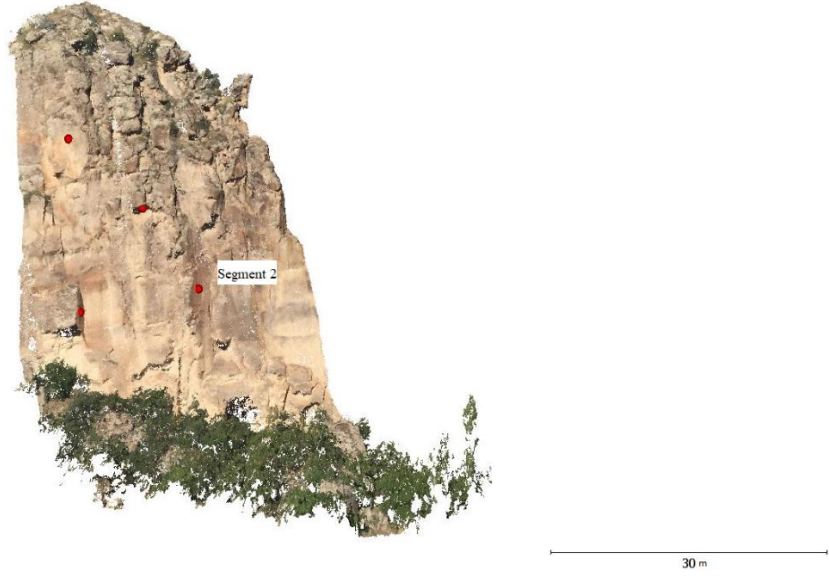
Şekil 5.6. Segment 1’in yöneliminin QGIS yazılımında hesaplanması.

Diğer kritik parametre olan süreksizliklerin yönelimleri ise CC yazılımından elde edilmiştir. Her bir segmentte ölçüm alınan yüzeyler Şekil 5.7’de gösterilmiştir.

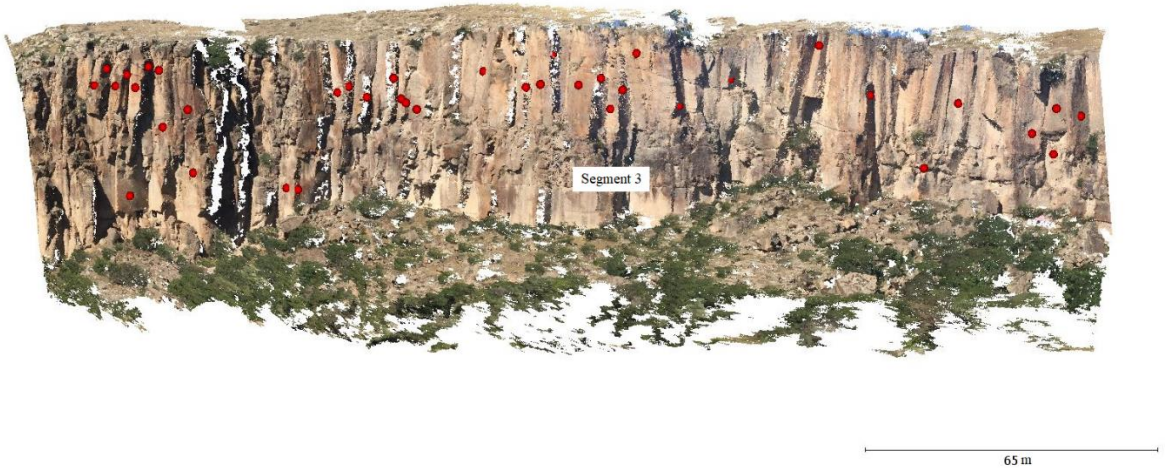
Devrilme duraysızlığı, süreksizliklerin eğimi şevin içine doğru olduğu durumda gerçekleşmektedir. Ancak yazılımın Compass eklentisi bu durumu ayırt edememekte sadece yüzeyin eğim ve eğim yönünü ölçmektedir. Şev kabaca güneybatıya doğru eğimlidir, dolayısıyla kritik süreksizlikler kuzeydoğuya doğru eğimli olanlardır.



(a)



(b)



(c)

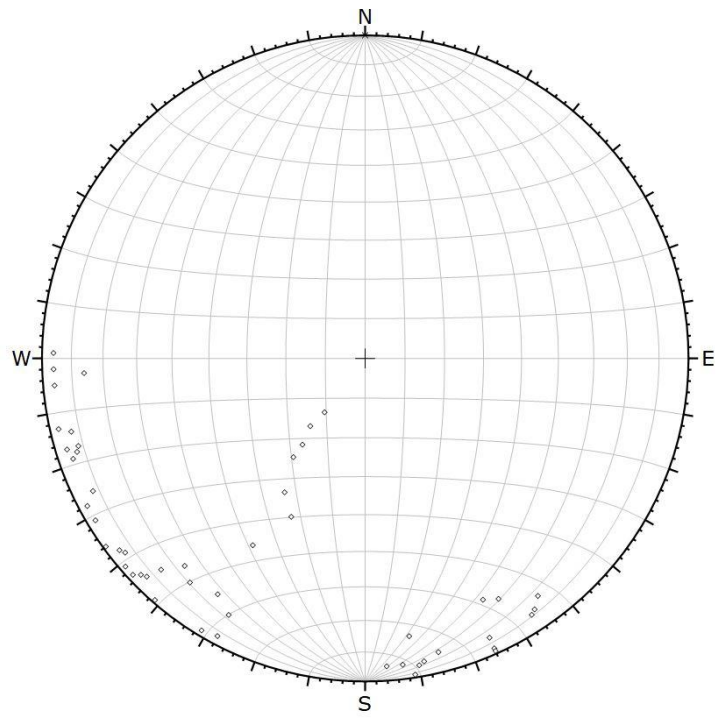


(d)

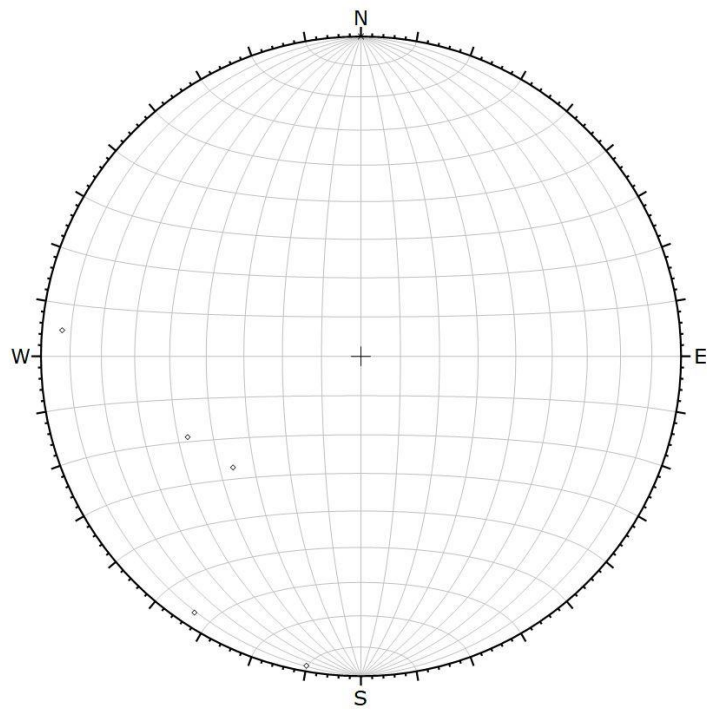
Şekil 5.7. Her bir segmentten alınan ölçümlerin model üzerindeki gösterimi.

Süreksizlik yüzeylerinin eğim ve eğim yönleri, elde edilen nokta bulutundan ölçüldükten sonra DIPS yazılımına aktarılmıştır. Burada öncelikle her bir segment için eş alan stereonet üzerine o segmentte ölçülen süreksizliklerin yönelimleri girilmiştir ve kutup noktaları elde edilmiştir. Her bir segmente ait süreksizliklerin kutup noktalarının gösterimi Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

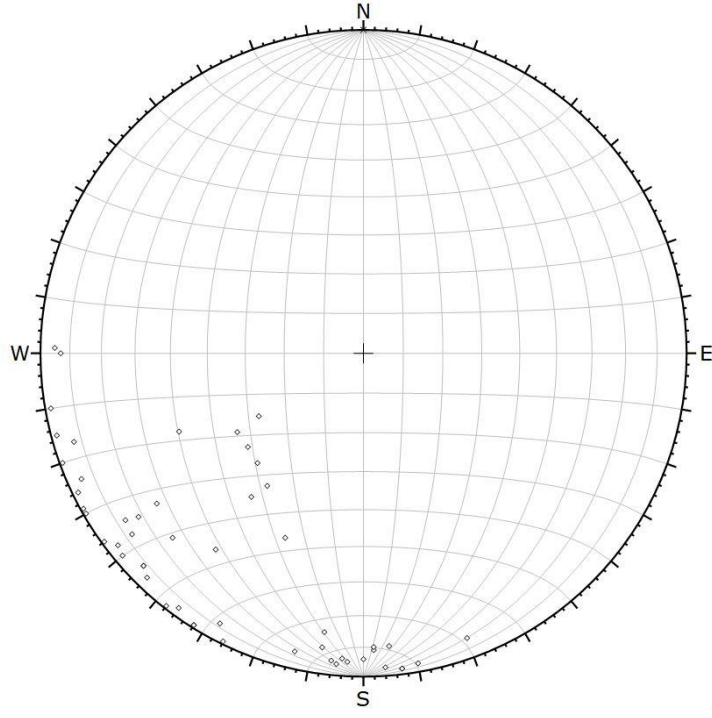
Kutup noktalarının ardından her bir segment için kinematik analiz yapılmıştır (Şekil 5.9). Ölçümler nokta bulutu üzerinden yapıldığı için, pusula ile ölçümde kaçırılan bir süreksizlik seti yakalanmıştır (Set 2). Bu set, çalışılan vadi kenarının yaklaşık olarak ortasından geçmektedir. Destek yapısı olmadan bu setin ölçümünün yapılması çok zordur. (Şekil 5.10).



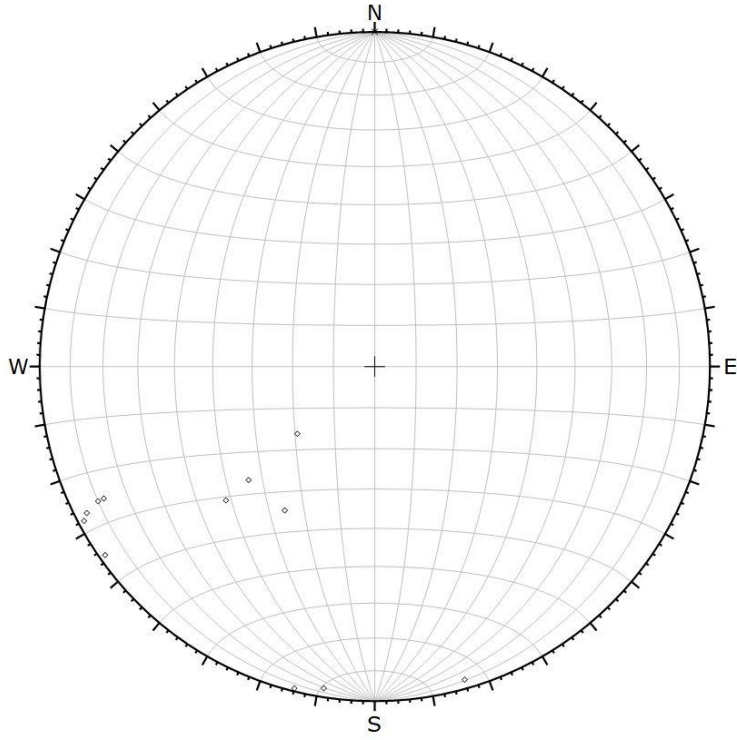
(a)



(b)

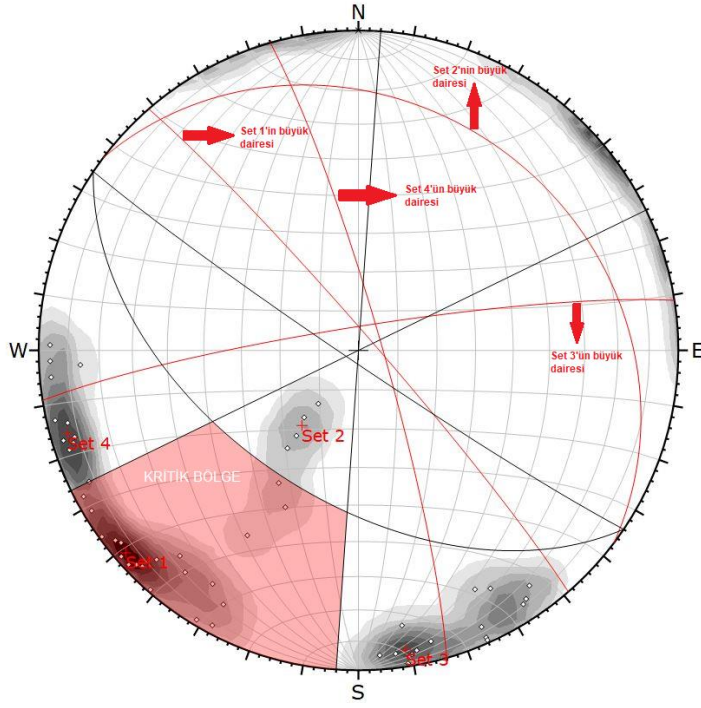


(c)



(d)

Şekil 5.8. Her bir segmentte ölçülen süreksizlik yönelimlerinin kutup noktalarının stereonet üzerinde gösterimi. (a); segment 1, (b); segment 2, (c); segment 3, (d); segment 4.



Symbol	Feature
○	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0,00 - 1,60
	1,60 - 3,20
	3,20 - 4,80
	4,80 - 6,40
	6,40 - 8,00
	8,00 - 9,60
	9,60 - 11,20
	11,20 - 12,80
	12,80 - 14,40
	14,40 - 16,00

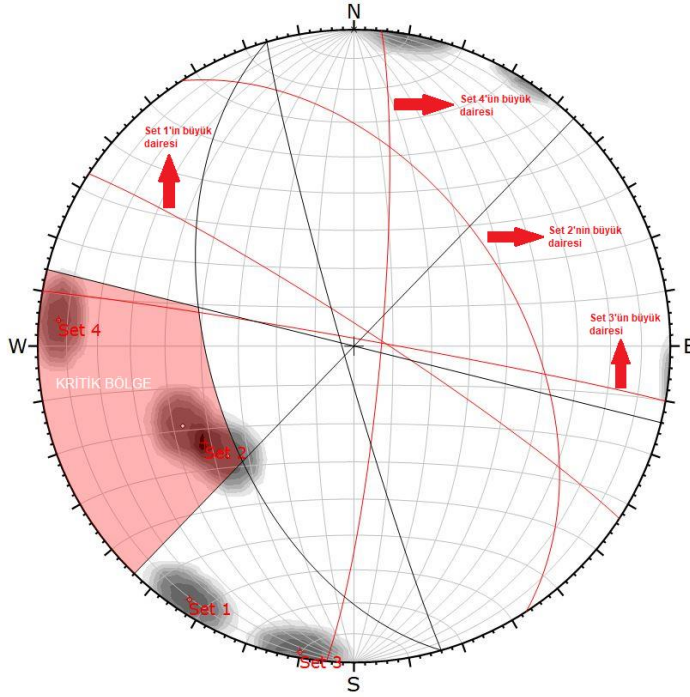
Maximum Density	15,65%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1,0%

Kinematic Analysis	Flexural Topping
Slope Dip	87
Slope Dip Direction	214
Friction Angle	35°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	21	50	42,00%
Flexural Topping (Set 1)	8	8	100,00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	50 (50 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

(a)



Symbol	Feature
○	Pole Vectors

Color	Density Concentrations
	0,00 - 3,00
	3,00 - 6,00
	6,00 - 9,00
	9,00 - 12,00
	12,00 - 15,00
	15,00 - 18,00
	18,00 - 21,00
	21,00 - 24,00
	24,00 - 27,00
	27,00 - 30,00

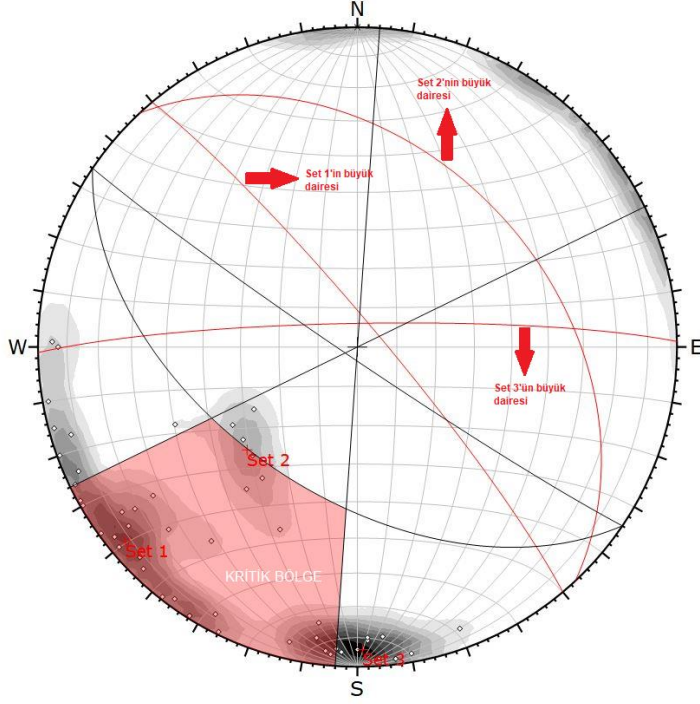
Maximum Density	29,06%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1,0%

Kinematic Analysis	Flexural Topping
Slope Dip	87
Slope Dip Direction	254
Friction Angle	35°
Lateral Limits	30°

	Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	3	5	60,00%
Flexural Topping (Set 2)	2	2	100,00%
Flexural Topping (Set 4)	1	1	100,00%

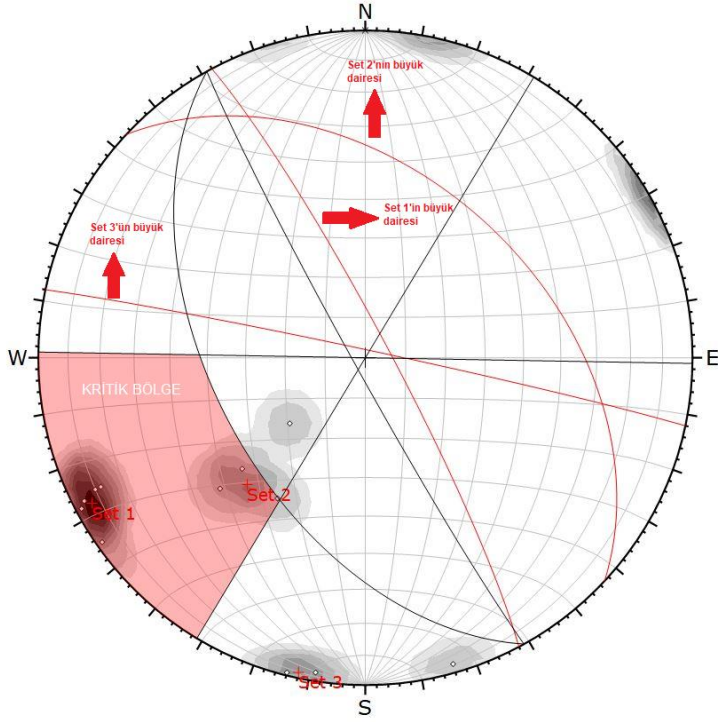
Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Area

(b)



Symbol	Feature		
o	Pole Vectors		
Density Concentrations			
Color	0.00 - 1.90		
	1.90 - 3.80		
	3.80 - 5.70		
	5.70 - 7.60		
	7.60 - 9.50		
	9.50 - 11.40		
	11.40 - 13.30		
	13.30 - 15.20		
	15.20 - 17.10		
	17.10 - 19.00		
Maximum Density	18.27%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis			
	Flexural Toppling		
Slope Dip	87		
Slope Dip Direction	214		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	31	52	59.62%
Flexural Toppling (Set 1)	8	8	100.00%
Flexural Toppling (Set 2)	3	6	50.00%
Flexural Toppling (Set 3)	3	11	27.27%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	52 (52 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Area		

(c)



Symbol	Feature		
o	Pole Vectors		
Density Concentrations			
Color	0.00 - 3.50		
	3.50 - 7.00		
	7.00 - 10.50		
	10.50 - 14.00		
	14.00 - 17.50		
	17.50 - 21.00		
	21.00 - 24.50		
	24.50 - 28.00		
	28.00 - 31.50		
	31.50 - 35.00		
Maximum Density	34.47%		
Contour Data	Pole Vectors		
Contour Distribution	Fisher		
Counting Circle Size	1.0%		
Kinematic Analysis			
	Flexural Toppling		
Slope Dip	87		
Slope Dip Direction	241		
Friction Angle	35°		
Lateral Limits	30°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	8	12	66.67%
Flexural Toppling (Set 1)	5	5	100.00%
Flexural Toppling (Set 2)	3	3	100.00%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	12 (12 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Area		

(d)

Şekil 5.9. Kinematik analiz sonuçları. (a); segment 1, (b); segment 2, (c); segment 3, (d); segment 4.



(a)



(b)

Şekil 5.10. Set 2 süreksizliğinin konumu. (a); arazide çekilen fotoğraftaki konumu, (b); elde edilen nokta bulutundaki konumu.

6. SONUÇLAR

6.1. Fotogrametrik Veri İşleme

55 görüntü içeren bir blok için, PS yazılımından toplamda 167.556 adet görüntüler arası bağlama noktası çıkartılmıştır. Tüm bloğun geometrik hassasiyetini analiz edebilmek için dengeleme sonuçları irdelenmelidir. Kontrol, bağımsız denetim noktaları (independent check points) ve self-kalibrasyon işleminden kaynaklanan ek parametreler farklı eşleştirmelerle incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 6.1.'de sunulmuştur. Ancak, PS yazılımının sağlamış olduğu dengeleme raporları kapsamlı değildir. Bu nedenle Çizelge 6.1.'deki yorumlamalar fotogrametrik terminolojiye göre yapılmıştır.

Çizelge 6.1.'de bulunan ilk sütun, üçgenleme sürecinin (TP) sayısını göstermektedir. İkinci sütun, TP' de kullanılan sağlama ve kontrol noktalarının sayısını göstermektedir. Bağımsız denetim noktaları, dengeleme hassasiyetinin değerlendirilmesi için dış ölçüm olarak kullanılmaktadır. RMSE (root mean square error) değeri, bağımsız denetim noktalarının yersel koordinatlarından hesaplanmıştır, X, Y, Z ve planimetri (XY) için ayrı ayrı sağlanmıştır. Kontrol ve bağımsız denetim noktalarının artık değerleri de Çizelge 6.1'de yer almaktadır.

Yer kontrol noktalarının doğrulukları değişkendir. Bu değişkenliğin sebebi, arazideki yaklaşık üç yılda meydana gelmiş olan farklılaşmadan, görüntü tanımlama problemleri ile karşılaşmış olmasıdır. Arazideki sütunsal yapıların eğimleri çoğunlukla 87° , 89° olup yer yer 90° 'ye kadar ulaşmaktadır. Dolayısıyla küçük bir etkenle (şiddetli rüzgar, eklemlere su dolması vb.), değişik boyutlara sahip olan blokların ağırlık merkezlerinin boşa kalmasından ötürü sıklıkla devrilmeler gerçekleşmektedir. Düşen bloklar morfolojiyi değiştirmektedir. Kontrol noktası seçiminin dengeleme üzerindeki etkisi, TP-1 ve TP-2'den elde edilen bağımsız denetim noktası görüntü artık değerleri ve bağımsız denetim noktalarından elde edilen RMSE değerleri de gözlenmektedir. TP-1 ve TP-2'de iki farklı nokta kontrol noktası olarak seçilmiş olup, geriye kalan noktalar bağımsız denetim noktası olarak kullanılmıştır. TP-3, TP-4, TP-5 ve TP-6 sonuçlarına bakıldığında, ek parametrelerin tanımlanmasının önemli bir değişikliğe sebep

olmadığı görülmektedir. Bu durumda, dengelemede bu değerlerin kestirilmediği çıkarımı yapılmaktadır, bunun olası sebebi ise kamera kalibrasyonu için yeterli kadar yer kontrol noktasının verilmemesidir.

Elde edilen tüm sonuçları özetlemek gerekirse, yöneltme işleminden 2 m mutlak hassasiyet elde edilmiştir, bu hassasiyet değeri, TP-12' den de görüldüğü üzere, 3 yer kontrol noktası kullanılarak elde edilmiştir. TP-14 ile alakalı daha detaylı bilgi, Çizelge 6.2.'de yer almaktadır.

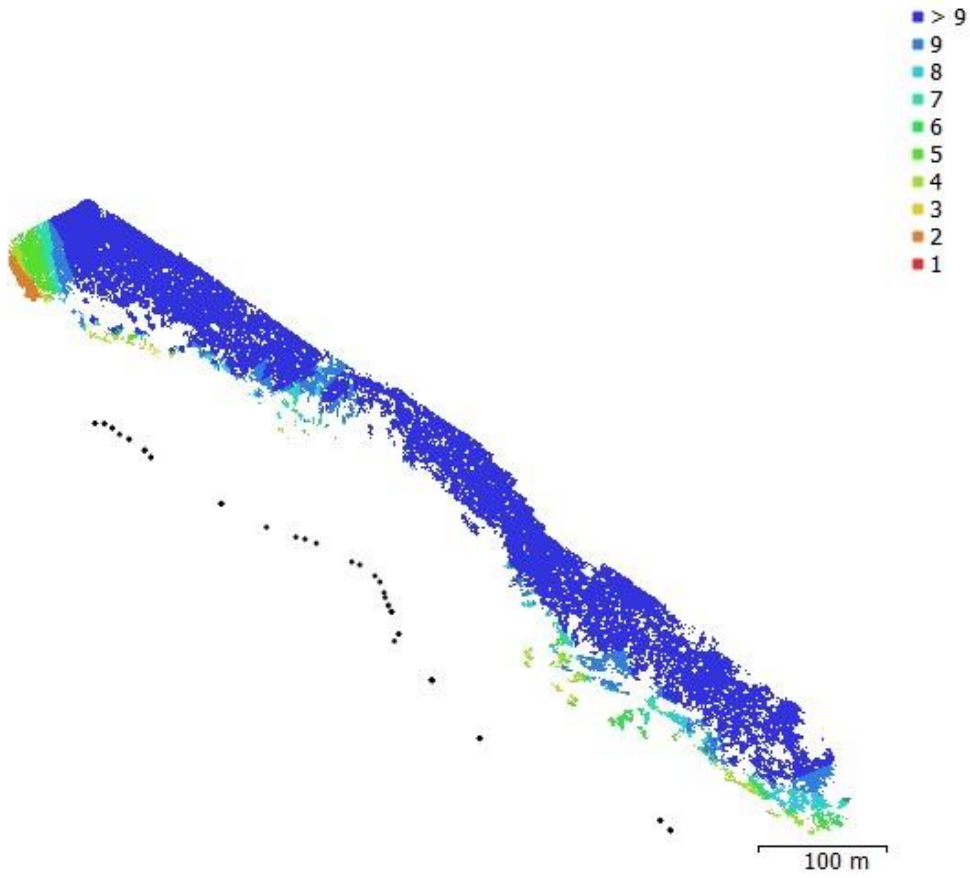
Yoğun nokta bulutu, dengelemeden sonra üretilmiştir, kaya yüzeylerine sahip olan nokta bulutunun bir kısmı, süreksizlik yönelimlerinin ölçüm işlemi için CC yazılımına aktarılmıştır. Renklendirilmiş nokta bulutu yaklaşık 26 milyon nokta içermektedir. Yersel koordinat hesaplaması için kullanılan görüntülerin sayısı Şekil 6.1.' de gösterilmiştir. Şekil 6.1. yazılımın bir çıktısıdır.

Çizelge 6.1. Dengeleme sonuçları.

TP	Yer Kontrol Noktası/Bağımsız Denetim Noktası	Kamera Kalibrasyonu İçin Ek Parametreler	RMSE X (m)	RMSE Y (m)	RMSE XY (m)	RMSE Z (m)	Bağımsız Denetim Noktaları Görüntü Artık Değerleri (pixel)	Kontrol Noktaları Görüntü Artık Değerleri (pixel)
1	1 / 4 (1. versiyon)	-	4,6	1,6	4,9	0,8	1,4	2,8
2	1 / 4 (2. versiyon)	-	2,7	0,8	2,9	2,8	0,7	2,7
3	2 / 3	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2	4,4	1,7	4,8	1,1	1,9	1,4
4	2 / 3	f, cx, cy	4,7	1,0	4,8	1,0	2,2	1,2
5	2 / 3	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2	4,7	1,0	4,8	1,0	2,2	1,2
6	2 / 3	-	4,7	1,0	4,8	1,0	2,2	1,2
7	3 / 2	f, cx, cy	2,7	1,1	2,9	0,8	2,5	1,2
8	3 / 2	f, cx, cy, k1	3,0	1,3	3,3	0,9	2,5	1,1
9	3 / 2	f, cx, cy, k1, k2	3,0	1,3	3,3	0,9	2,5	1,1
10	3 / 2	f, cx, cy, k1, p1	3,0	1,3	3,3	0,9	2,5	1,1
11	3 / 2	f, cx, cy, k1, p2	3,0	1,3	3,3	1,0	2,5	1,1
12	3 / 2	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2	2,1	0,5	2,2	0,8	2,6	1,6
13	4 / 1	f, cx, cy, k1-k3, p1, p2	0,5	0,0	0,5	0,3	2,7	2,0
14	5 / 0	f, cx, cy, k1, k2, p1, p2	-	-	-	-	-	2,2

Çizelge 6.2. 5 adet kontrol noktası kullanıldığında (bağımsız denetim noktası kullanılmadığında) blok üçgenlemesi sonuçları.

	Doğuya Yönelim (m)	Kuzeye Yönelim (m)	Yükseklik (m)	Hassasiyet (m)	Hata (m)	Projeksiyonlar	Hata (piksel)
<input checked="" type="checkbox"/> 1	613620.471025	4236932.073854	1238.573364	0.005000	2.835082	12	2.332
<input checked="" type="checkbox"/> 2	614080.603046	4236912.595823	1281.166992	0.005000	2.531250	21	1.714
<input checked="" type="checkbox"/> 3	613989.784744	4236719.394755	1255.046631	0.005000	0.432230	16	6.265
<input checked="" type="checkbox"/> 4	614235.343060	4236576.176684	1277.213135	0.005000	1.416786	8	0.786
<input checked="" type="checkbox"/> 5	613605.704008	4236913.141813	1208.062256	0.005000	1.490406	10	4.202
Toplam Hata							
Kontrol Noktaları					1.942181		3.739
Bağımsız Denetim Noktaları							



Şekil 6.1. Elde edilmiş sayısal yüzey modeli ve oluşturulmuş olan her bir nokta için kullanılmış olan ışınların sayısı.

6.2. Jeoteknik Değerlendirme

Şekil 5.9'daki kinematik analiz sonuçları incelendiğinde, segment 1 için, set 1 kritik bölgede yer almaktadır. Segment 2 için, set 2 ve set 4 kritik bölgede yer almaktadır. Segment 3 için, set 1 ve set 2 kritik bölgede iken set 3'e ait olan 3 adet süreksizlik de kritiktir. Set 2 için, şev eğiminin 87° olması sınırdır. Şev eğimi eğer 86° olursa set 2 kritik bölgeden çıkmaktadır. Ancak çalışmada en tehlikeli durum göz önüne alındığından şev eğimi 87° olarak kabul edilmiştir. Segment 4 için ise, set 2 ve set 1 kritik bölgede yer almaktadır.

Kinematik analizler sonucunda elde edilen ana eklem takımları Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Süreksizlik setlerinin ana eklem yönelimleri.

Segment No	Süreksizlik Set No	Eğim ($^\circ$)	Eğim Yönü ($^\circ$)
Segment 1	1	84	048
	2	25	036
	3	83	350
	4	84	075
Segment 2	1	85	033
	2	47	058
	3	88	010
	4	83	095
Segment 3	1	84	050
	2	38	047
	3	85	359
Segment 4	1	84	061
	2	45	043
	3	86	012

Çalışmada, saha çalışması fazla zaman ve çaba gerektiren ve erişimi zor kayalık alanların analizi için bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde, fotogrametrik kurallar dahilinde görüntüler basit bir şekilde elde edilip üzerinde çalışılmıştır. Ayrıca bu çalışma bir mühendislik jeoloğu tarafından rahatlıkla uygulanabilmektedir. İhlara

Vadisi'nin sık ziyaret edilen kısmında yapılan uygulama, süreksizliklerin kontrol ettiği şev yenilmelerinin ve kaya düşmelerinin olduğu alanlarda kullanılması mümkün olduğu gibi şev hareketinin izlenmesinde de tercih edilebilmektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında çalışılmasa da, sökülmüş blokların hacminin ve şekillerinin belirlenmesi de olasıdır.

7. TARTIŞMA VE YORUM

Çalışmada Ihlara Vadisi'nin bir parçasının devrilme duraysızlığına uğrama durumu incelenmiştir. Sahanın üç boyutlu modelinde kullanılacak olan fotoğrafların çekilmesi için gölgenin daha az olmasından dolayı öğle saatleri tercih edilmiştir. Yürüme hızına ve alanın uzunluğuna bağlı olarak fotoğrafların çekimi yaklaşık 30 dakika sürmüştür. Uygun fotoğraflarla oluşturulan model üzerinden süreksizlik yüzeylerinin konumları belirlenmiştir.

Belirlenen konumlar kullanılarak kinematik analizler yürütülmüştür. Vadide yüksek eğimdeki yüzeylerden pusula ile ölçüm almak zaman zaman çok güç olabilmektedir. Ayrıca, büyük boyutlu bir bloğa ait yüzeyin sadece erişilen küçük bir kısmından pusula ile ölçüm alınsa bile, modelde blok yüzeyinin mümkün olan en büyük alanından ölçüm alındığı için modelden alınan ölçümün temsil ediciliğinin daha yüksek olacağı açıktır.

Segment 1'de ölçülen 50 süreksizlikten 21'i (Şekil 5.9a); Segment 2'de ölçülen 5 süreksizlikten 3'ü (Şekil 5.9b); Segment 3'te ölçülen 52 süreksizlikten 31'i (Şekil 5.9c); Segment 4'te ise ölçülen 12 süreksizlikten 8'i (Şekil 5.9d) kritiktir. Ayrıca Segment 1, 3 ve 4'te ölçülen Set 1'e ait süreksizliklerin tamamı devrilmeye uygun olup, çalışma sahasında set 1'e ait olan süreksizliklerin devrilme türü yenilme açısından kritik olduğunu göstermektedir.

Süreksizlik konumlarının fotogrametrik teknikler aracılığıyla yüzeylere fiziksel olarak temas etmeden, daha kısa zamanda ve güvenli bir şekilde belirlenmesinin yanı sıra, modeli oluşturan fotoğrafların ek bir ekipmana gerek duyulmadan akıllı telefon ile çekilen fotoğrafların kullanılması çalışmayı özgün kılan en önemli faktördür.

Cep telefonu günümüzde neredeyse herkeste bulunan bir aygıt olduğundan ve standart bir bilgisayar da uygulama için gerekli işlemleri yapacağından çalışmanın donanımsal maliyeti çok düşüktür. Kullanılan QGIS ve CC açık kaynaklı ve ücretsiz yazılımlardır. Uygulamada ArcGIS yazılımının kullanıldığı

işlemede QGIS yazılımı kullanılarak yazılım maliyeti daha da azaltılabilir. PS yazılımının araştırma lisansı 500 USD karşılığında edinilmiştir. Uygulama, mühendislik jeolojisi pratiğinde kullanımına uygun ve oldukça ucuz bir yaklaşımdır.

Bu uygulama, Ihlara Vadisi'nin topoğrafik koşullarına benzer şekilde, süreksizlik denetimli şevlerin yenilmeye uğradığı, pusula ile ölçüm yapmanın güç olduğu, kaya düşmelerinin görüldüğü çalışma alanlarında da oldukça kullanışlı olacaktır. Her ne kadar, bu amaçla kullanılmak üzere üretilmiş lazer teknolojileri mevcutsa da, bu yöntemlerin kullanımı hem zaman alıcı ve pahalı hem de özel uzmanlık gerektirmektedir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan yöntemin pratik ve düşük maliyetli olması nedeniyle, belirli aralıklarla sahanın modeli yeniden oluşturularak, modeller arasında referans alınan noktalardaki farklılık ile çeşitli yorumlar yapmak mümkündür. Bunlar, noktaların konumlarına göre, şevdeki hareketliliğin izlenmesi, duraysızlığa neden olabilecek tehlikeli blokların tespit edilebilmesi ve blokların olası hareketlerine karşı önlem projelerinin geliştirilmesi mümkündür.

8. KAYNAKLAR

- Assali, P., Grussenmeyer, P., Villemin, T., Pollet, N., Surveying and modelling of rock discontinuities bu terrestrial laser scanning and photogrammetry: Semi-automatic approaches for linear outcrop inspection, *Journal of Structural Geology*, 66, **2014**, 102-114.
- Aydan, Ö., ve Ulusay, R., Geotechnical and geoenvironmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey, *Engineering Geology*, 69, **2003**, 245-272.
- Aydar, E., Schmitt, A.K., Çubukçu, H.E., Akın, L., Ersoy, O., Şen, E., Duncan, R.A., Atıcı, G., Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 213-214, **2012**, 83-97.
- Beekman, P., The Pliocene and Quarternary volcanism in the Hasan Dağ-Melendiz Dağ Region, **1966**.
- Binal, A., Aksaray-Ihlara Vadisindeki Volkanosedimanter Kayaçlarda Görülen Duraysızlık Mekanizmalarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **1996**.
- Bonnaffe, F., Jennette, D., Andrews, J., A method for acquiring and processing ground-based lidar data in difficult-to-access outcrops for use in three-dimensional, virtual-reality models, *Geosphere*, 3 (6), **2007**, 501–510.
- Chen, J., Zhu, H., Li, X., Automatic extraction of discontinuity orientation from rock mass surface 3D point cloud, *Computers and Geoscience*, 95, **2016**, 18-31.
- Dönmez, M., Akçay, A.E., Kara, H., Türkecan, A., Yergök, A.F., Esentürk, A.F., 1/100 000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Aksaray - L32 Paftası, MTA, Ankara, **2005**.
- Egels, Y., Kasser M., Digital Photogrammetry, Taylor and Francis e-Library, London, **2002**.
- Ergüler, Z.A., Field-based experimental determination of the weathering rates of the Cappadocian tuffs, *Engineering Geology*, 105, **2009**, 186-199.

- Feng, Q.H., Röshoff, K., In-situ mapping and documentation of rock faces using a full- coverage 3D laser scanning technique, SINOROCK Symposium, 18-21 Mayıs, Çin, **2004**.
- Firpo, G., Salvini, R., Francioni, M., Ranjith P.G., Use of Digital Terrestrial Photogrammetry in rocky slope stability analysis by Distinct Elements Numerical Methods, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48, **2011**, 1045-1054.
- Fisher, J.E., Shakoor, A., Watts, C.F., Comparing discontinuity orientation data collected by terrestrial LiDAR and transit compass methods, Engineering Geology, 181, **2014**, 78-92.
- Ge, Y., Tang, H., Xia, D., Wang, L., Zhao, B., Teaway, J.W., Chen, H., Zhou, T., Automated measurements of discontinuity geometric properties from a 3D-point cloud based on a modified region growing algorithm, Engineering Geology, 242, **2018**, 44-54.
- Gigli, G., Casagli, N., Semi-automatic extraction of rock mass structural data from high resolution LIDAR point clouds, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 48, **2011**, 187-198.
- Gökçeoğlu, C., Sönmez, H., Ercanoğlu, M., Discontinuity controlled probabilistic slope failure risk maps of the Altındağ (settlement) region in Turkey, Engineering Geology, 55, **2000**, 277-296.
- Guo, J., Wu, L., Zhang, M., Liu, S., Sun, X., Towards automatic discontinuity trace extraction from rock mass point cloud without triangulation, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 112, **2018**, 226-237.
- Haneberg, W.C., Using close range terrestrial digital photogrammetry for 3-D rock slope modelling and discontinuity mapping in the United States, Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 67, **2008**, 457-469.
- Hoek, E., Bray, J., Rock Slope Engineering, Revised Second Edition, The Institution of Mining and Metallurgy, London, **1977**.
- Idrees, M.O., Pradhan, B., Geostructural stability assessment of cave using rock surface discontinuity extracted from terrestrial laser scanning point cloud, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 10, **2008**, 534-544.
- Kaşmer, Ö., Ulusay, R., Geniş, M., Assessments on the stability of natural slopes prone to toe erosion, and man-made historical semi-underground

openings carved in soft tuffs at Zelve Open-Air Museum (Cappadocia, Turkey), *Engineering Geology*, 158, **2013**, 135-158.

Linder, W., *Digital Photogrammetry Theory and Applications*, Springer, Berlin, **2003**.

Lato, M.J., Vöge, M., Automated mapping of rock discontinuities in 3D lidar and photogrammetry models, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 54, **2012**, 150-158.

Le Pennec, J.L., Bourdier, J.L., Froger, J.L., Temel, A., Camus, G., Gourgaud, A., Neogen ignimbrites of the Nevşehir plateau (central Turkey): stratigraphy, distribution and sources constraints, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 63, **1994**, 59-87.

Le Pennec, J.L., Temel, A., Froger, J.L., Sen, S., Gourgaud, A., Bourdier, J.L., Stratigraphy and age of the Cappadocia ignimbrites, Turkey: reconciling field constraints with paleontologic, radiochronologic, geochemical and paleomagnetic data, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 141, **2005**, 45-64.

Luhmann, T., Robson, S., Kyle, S., Harley, I., *Close Range Photogrammetry principles, techniques and applications*, Whittles Publishing, Scotland, **2011**.

Moon, V., Geotechnical characteristics of ignimbrite: A soft pyroclastic rock type, *Engineering Geology*, 35, **1993**, 33-48.

Riquelme, A.J., Abellan, A., Tomas, R., Jabodeyoff, M., A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds, *Computers and Geosciences*, 68, **2014**, 38-52.

Sarı, M., The stochastic assessment of strength and deformability characteristics for a pyroclastic rock mass, *International Journal of Rock Mechanics and Rock Mining*, 46, **2009**, 613-626.

Schumacher, R., Schumacher, U.M., The Kızılıkaya ignimbrite-an unusual low-aspect-ratio ignimbrite from Cappadocia, central Turkey, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 70, **1996**, 107-121.

Slob, S., Knapen, B.V., Hack, R., Turner, K., Kemeny, J., Method for Automated Discontinuity Analysis of Rock Slopes with Three-Dimensional Laser Scanning, *Journal of the Transportation Research Board; Geology and Properties of Earth Materials*, 1913, **2005**, 187-194.

- Sturzenegger, M., Stead, D., Close-range terrestrial digital photogrammetry and terrestrial laser scanning for discontinuity characterization on rock cuts, *Engineering Geology*, 106, **2009a**, 163-182.
- Sturzenegger, M., Stead, D., Quantifying discontinuity orientation and persistence on high mountain rock slopes and large landslides using terrestrial remote sensing techniques, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, **2009b**, 267-287.
- Temel, A., Gündoğdu, M.N., Gourgaud, A., Le Pennec, J.L., Ignimbrites of Cappadocia (Central Anatolia, Turkey): petrology and geochemistry, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, **1998**, 447-471.
- Thiele, S.T., Grose, L., Samsu, A., Micklethwaite, S., Vollgger, S.A., Cruden, A.R., Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data, *Solid Earth*, 8, **2017**, 1241-1253.
- Topal, T., Doyuran, V., Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff, *Engineering Geology*, 47, **1997**, 175-187.
- Tuncay, E., Rock rupture phenomenon and pillar failure in tuffs in the Cappadocia region (Turkey), *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 46, **2009**, 1253-1266.
- Tunusluoğlu, M.C., Zorlu, K., Rockfall hazard assessment in a cultural and heritage (Ortahisar Castle, Cappadocia, Turkey), *Environmental Geology*, 56, **2009**, 963-972.
- Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Topal, T., Sönmez, H., Tuncay, E., Ergüler, Z.A., Kaşmer, Ö., Assessment of environmental and engineering geological problems for the possible re-use of abandoned rock-hewn settlement in Ürgüp (Cappadocia), Turkey, *Environmental Geology*, 50, **2006**, 473-494.
- Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 5. Baskı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara, **2010**.
- Zhang, P., Du, K., Tannant, D.D., Zhu, H., Zheng, W., Automated method for extracting and analysing the rock discontinuities from point clouds based on digital surface model of rock mass, *Engineering Geology*, 239, **2018a**, 109-118.

Zhang, P., Li, J., Yang, X., Zhu, H., Semi-automatic extraciton of rock discontinuities from point clouds using the ISODATA clustering algorithm and deviation from mean elevation, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 110, **2018b**, 76-87.

Zorlu, K., Tunusluoğlu, M.C., Görüm, T., Nefeslioğlu, H.A., Yalçın, A., Türer, D., Gökçeoğlu, C., Landform effect on rockfall and hazard mapping in Cappadocia (Turkey), Environmental Earth Sciences, 62, **2011**, 1685-1693.

Wyllie, D.C., Rock Slope Engineering Civil Applications, Fifth Edition (Based on the third edition by Evert Hoek and John Bray), CRC Press, Boca Raton, **2018**.

Çalışma alanı ve civarının jeolojik kesitinin renklendirilmesi, <http://www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale> (**Erişim Tarihi: 01. 05. 2019**).

Yılanlı Kilise'nin ait olduğu yüzyıl hakkında bilgi, <https://www.kapadokyadayim.com/yilanli-kilise/> (**Erişim Tarihi: 26. 04. 2019**).

Ihlara Vadisi'nin özel çevre koruma bölgesi olarak ilan edilmesi <https://tvk.csb.gov.tr/ihlara-i-395> (**Erişim Tarihi: 22. 04. 2019**).

Agisoft PS yazılımının algoritması hakkında bilgi, <https://www.agisoft.com/forum/index.php?topic=89.0> (**Erişim Tarihi: 28. 06. 2019**).

EKLER

EK 1: Tezden Üretilmiş Yayınlar

EK 2: Tez Orijinallik Raporu

EK 1: Tezden Üretilmiş Yayınlar

Ozturk, H.S., Kocaman, S., Gokceoglu, C., A low-cost approach for determination of discontinuity orientation using smartphone images and application to a part of Ihlara Valley (Central Turkey). *Engineering Geology*, 254, **2019**, 63-75.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 28/06/2019

Tez Başlığı: **Ihlara Vadisinde (Aksaray) Devrilme Duyarlılığının Fotogrametrik ve Kinematik Analizlerle İncelenmesi**

Yukarıda başlığı gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 76 sayfalık kısmına ilişkin, 28/06/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 7 'dir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden 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.

İmza
28/06/2019

Adı Soyadı: Hacer Selin ÖZTÜRK
Öğrenci No: N16222205
Anabilim Dalı: Jeoloji Mühendisliği
Programı:
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Prof. Dr. Candan GÖKÇEOĞLU

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Hacer Selin ÖZTÜRK

Doğum Yeri :Ankara

Doğum Tarihi :03. 07. 1994

Medeni Hali :Bekar

E-posta :hacselin@gmail.com

Eğitim Durumu

Lise :Gaziçiftliği Lisesi (2008-2012)

Lisans :Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü (2012-2016)

Yüksek Lisans :Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı (2017-...)

Yabancı Dil :İngilizce

Yayınlar

Ozturk, H.S., Kocaman, S., Gokceoglu, C., A low-cost approach for determination of discontinuity orientation using smartphone images and application to a part of Ihlara Valley (Central Turkey). Engineering Geology, 254, **2019**, 63-75.

