



**HEYELAN VE KAYA DÜŞMESİ TÜRÜ KÜTLE
HAREKETLERİNİN İHA VE LAZER TARAYICILARLA
MODELLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

AYDIN ALPTEKİN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
MAYIS - 2024**

**HEYELAN VE KAYA DÜŞMESİ TÜRÜ KÜTLE
HAREKETLERİNİN İHA VE LAZER TARAYICILARLA
MODELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

AYDIN ALPTEKİN
ORCID ID: 0000-0002-5605-0758

MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
PROF. DR. MURAT YAKAR
ORCID ID: 0000-0002-2664-6251

MERSİN
MAYIS - 2024

ÖZET

HEYELAN VE KAYA DÜŞMESİ TÜRÜ KÜTLE HAREKETLERİNİN İHA VE LAZER TARAYICILARLA MODELLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Mersin İli ekonomik gelişme sürecini olumsuz etkileyen pek çok doğal afetle karşılaşmıştır. Bu çalışmada Mersin İli'nde görülen 4 adet heyelan ve 2 adet kaya düşmesi bölgesinin Sayısal Yüzey Modelleri (SYM) ve ortofotoları İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) kullanılarak yüksek hassasiyette ve çözünürlükte oluşturulmuştur. İHA kullanılarak çalışma alanlarının resimleri çekilmiş ve GPS kullanılarak koordinat bilgileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler bilgisayar ortamında modellenmiştir. SYM verilerine göre yöredeki rakımlar Çukurkeşlik Mahallesi'nde 440-540 metre, Değirmençay Mahallesi'nde 582-688 metre, Karahacılı Mahallesi'nde 136-244 metre, Bağcılar Mahallesi'nde 164-223 metre, Emirler-Değirmendere Yolu'nda 385-477 metre ve Karahıdırlı Mahallesi'nde 640-1140 metre aralığındadır. Meteorolojiden elde edilen 2015-2022 yıllarına ait yıllık ortalama yağış miktarı 922.7 kg/m^2 'dir. Çalışma alanlarının Akdeniz Bölgesi'nde olması nedeniyle yağışların oldukça fazla olduğu görülmektedir. 2019 yılında ortalama yağış 98.9 kg/m^2 'dir. Emirler-Değirmendere Yolu üzerindeki kayalık alanda İHA ve YLT ile elde edilen nokta bulutları Discontinuity Set Extractor programına aktararak bölgede egemen olan 10 adet süreksizlik seti belirlenmiştir. Bunların doğrultuları K70D- K63B aralığında olup, eğim açıları ise 3.87° - 85.16° aralığındadır. Çalışma alanlarının jeoloji haritaları oluşturulmuştur. Heyelan bölgelerinde resifal kireçtaşı özellikli Karaisalı Formasyonu, peridotit kayaç özellikli Mersin Ofiyoliti, kıltaşı-şeyl özellikli Yavca Formasyonu ve yamaç molozu görülmektedir. Emirler-Değirmendere Yolu üzerinde peridotit ve serpantin özellikli Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı ile yamaç molozu görülmektedir. Karahıdırlı yöresinde ise kumtaşı, çakıltası özellikli Karataş Formasyonu ve peridotit-dunit özellikli Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı görülmektedir. Bu veriler ışığında çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Kaya düşmesi, İHA, YLT, SYM

Danışman: Prof. Dr. Murat Yakar, Mersin Üniversitesi, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

MODELING AND EVALUATION OF LANDSLIDE AND ROCKFALL TYPE MASS MOVEMENTS WITH UAVS AND LASER SCANNERS

Mersin Province has encountered many natural disasters that negatively affected the economic development process. In this study, Digital Surface Models (DSM) and orthophotos of 4 landslides and 2 rockfall areas seen in Mersin Province were created with high precision and resolution using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and Terrestrial Laser Scanner (TLS). Pictures of the study areas were taken using UAV and coordinate information was obtained using GPS. The obtained data were modeled in computer environment. According to SYM data, the altitudes in the region are 440-540 meters in Çukurkeşlik District, 582-688 meters in Değirmençay District, 136-244 meters in Karahacılı District, 164-223 meters in Bağcılar District, 385-477 meters in Emirler-Değirmendere Road. meters and in Karahıdırlı District it is between 640-1140 meters. The average annual rainfall for the years 2015-2022 obtained from meteorology is 922.7 kg/m². Since the study areas are in the Mediterranean Region, it is seen that there is quite a lot of precipitation. The average rainfall in 2019 is 98.9 kg/m². Point clouds obtained by UAV and YLT in the rocky area on Emirler-Değirmendere Road were transferred to the Discontinuity Set Extractor program and the discontinuity set dominant in the region was determined. Their directions are in the range of N70E-N63W, and their dip angles are in the range of 3.87°- 85.16°. Geological maps of the study areas were created. Karaisalı Formation with reef limestone features, Mersin Ophiolite with peridotite rock features, Yavca Formation with claystone-shale features and hillside rubble are seen in the landslide areas. Pozantı-Karsantı Ophiolitic Nappe with peridotite and serpentinite features and hillside debris are seen on the Emirler-Değirmendere Road. In the Karahıdırlı region, the Karataş Formation with sandstone and conglomerate features and the Pozantı-Karsantı Ophiolitic Nappe with peridotite-dunite features are observed. In the light of this data, solution suggestions are presented.

Keywords: Landslide, Rockfall, UAV, TLS, DEM

Advisor: Prof. Dr. Murat Yakar, Department of Geomatics Engineering, Mersin University, Mersin.

TEŞEKKÜR

Doktora tezim sürecince, tez konusu seçiminden tezin hazırlanmasına kadar bana yardımcı olan hocam Prof. Dr. Murat Yakar'a çok teşekkür ederim.

Tez izleme komitesi üyeleri Prof. Dr. Ali Rıza Söğüt ve Dr. Öğr. Üyesi Lütfiye Kuşak'a tez çalışmam sürecince tezin olgunlaşması yönündeki katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Tez jüri üyelerim Prof. Dr. Hacı Murat Yılmaz ve Doç. Dr. Vahdettin Demir'e katkılarından dolayı çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca beni her zaman destekleyen, bugünlere gelmemde çok katkıları olan anneme, erkek kardeşime ve rahmetli babama çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Mersin Üniversitesi BAP tarafından 2023-1-TP3-4846 numaralı proje ile desteklenmiştir.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	i
ONAY	ii
ETİK BEYAN	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Doğal Afetler	3
2.2. Kütle Hareketleri	3
2.2.1. Kaya Düşmesi	4
2.2.1.1. Süreksizlik Setleri	7
2.2.2. Heyelan	8
2.2.2.1. Heyelan Oluşumuna Etki Eden Faktörler	9
2.2.2.1.1. Akarsu Etkisi	9
2.2.2.1.2. Yağış Etkisi	9
2.2.2.1.3. Bakının Etkisi	9
2.2.2.1.4. Eğimin Etkisi	9
2.2.2.1.5. Yükseltinin Etkisi	9
2.2.2.1.6. Tektonik Yapı ve Fayların Etkisi	10
2.2.2.1.7. Bitki Örtüsünün Etkisi	10
2.2.2.1.8. Killi Malzeme Etkisi	10
2.2.2.2. Heyelan Sonucu Oluşabilecek Zararlar	10
2.2.2.3. Heyelan Harita Çeşitleri	11
2.2.2.3.1. Heyelan Envanter Haritaları	11
2.2.2.3.2. Heyelan Risk Haritaları	11
2.2.2.3.3. Heyelan Tehlike Haritaları	11
2.2.2.3.4. Heyelan Duyarlılık Haritaları	12
2.3. Sayısal Yükseklik Modeli	12
2.3.1. Sayısal Yüzey Modeli	12
2.3.2. Sayısal Arazi Modeli	13
2.4. Ortofoto	13
2.5. Önceki Çalışmalar	13
2.5.1 Doğal Afet Çalışmaları	13
2.5.2. Jeoloji Çalışmaları	16
2.5.3. İHA Çalışmaları	18
2.5.4. Lazer Tarayıcı Çalışmaları	18
2.6. İnsansız Hava Araçları (İHA)	19
2.7. Lazer Tarayıcılar	21
3. MATERYAL ve YÖNTEM	23
3.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	23
3.2. Türkiye Jeolojisi	24
3.2.1. Toroslar	25
3.2.2. Tektonizma	26
3.2.3. Hidrojeolojik Koşullar	26
3.3. Çalışma Alanları	28
3.3.1. Karahıdırlı Mahallesi	29
3.3.2. Emirler-Değirmençay Yolu	30

	Sayfa
3.3.3. Bağcılar Mahallesi	32
3.3.4. Çukurkeşlik Mahallesi	33
3.3.5. Değirmençay Mahallesi	34
3.3.6. Karahacılı Mahallesi	34
3.4. Çalışma Alanı Jeolojisi	35
3.4.1. Litostratigrafik Birimler	39
3.4.1.1. Yamaç Molozu (Kuvaterner)	40
3.4.1.2. Kaliş (Kuvaterner)	40
3.4.1.3. Handere Formasyonu (Geç Miyosen-Pliyosen)	40
3.4.1.4. Güvenç Formasyonu (Orta Miyosen)	40
3.4.1.5. Karataş Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)	40
3.4.1.6. Karaisalı Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)	40
3.4.1.7. Kaplankaya Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)	41
3.4.1.8. Gildirli Formasyonu (Erken Miyosen)	41
3.4.1.9. Mersin Ofiyoliti (Geç Kretase)	41
3.4.1.10. Pozanti-Karsanti Ofiyolitik Napı (Geç Kretase)	41
3.4.1.11. Yavça Formasyonu (Geç Kretase)	41
3.4.1.12. Çamlık Formasyonu (Jura-Kretase)	41
3.4.1.13. Kızılcaadağ Ofiyolitik Melanj ve Olistostromu (Geç Senoniyen)	42
3.4.2. Fay Hatları	42
3.5. Çalışmada Kullanılan İnsansız Hava Aracı (İHA)	42
3.5.1. İHA Fotoğraflarının Modellenmesi	43
3.6. Yersel Lazer Tarayıcı (YLT)	44
3.6.1. Lidar Verilerinin Modellenmesi	45
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	47
4.1. Heyelan Bölgelerinin Modellenmesi	47
4.1.1. Çukurkeşlik Mahallesi Heyelanı	47
4.1.2. Değirmençay Mahallesi Heyelanı	49
4.1.3. Karahacılı Mahallesi Heyelanı	51
4.1.4. Bağcılar Mahallesi Heyelanı	53
4.2. Kaya Düşmesi Bölgelerinin Modellenmesi	60
4.2.1. Karahıdırlı Mahallesi Kaya Düşmesi	60
4.2.2. Emirler-Değirmençay Yolu Kaya Düşmesi	62
4.3. Kaya Düşmesine Karşı Alınabilecek Önlemler	67
4.3.1. Aktif Yöntemler	68
4.3.1.1. Ankrajlı Çelik Kafesler	68
4.3.1.2. Çivi	69
4.3.1.3. Bulon	69
4.3.1.4. Püskürtme Beton	70
4.3.1.5. Payanda	70
4.3.1.5. Drenaj	71
4.3.1.6. Kablo ile Sabitleme	71
4.3.2. Pasif Yöntemler	72
4.3.2.1. Hendek	72
4.3.2.2. Sabit ve Esnek Bariyerler	72
4.3.2.3. Ağlar	73
4.3.2.4. Kaya Sundurmaları ve Tüneller	74
4.4. Heyelana Karşı Alınabilecek Önlemler	75
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	97

TABLÖLER DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Doğal afetlerin sınıflandırılması (Çellek, 2013)	3
Tablo 2.2. Kaya düşmesinden etkilenen yerler	4
Tablo 2.3. Kaya düşmesi çalışmalarında 3B modellemede kullanılan programlar (Kalender, 2017; Guzzetti vd., 2002; Volkwein vd., 2011, Çapar, 2018)	5
Tablo 2.4. Kaya kütle sınıflamasında kullanılan parametreler	7
Tablo 2.5. Nokta bulutundan süreksizlik setleri elde eden programlar (Alptekin ve Yakar 2022)	7
Tablo 2.6. Heyelan terminolojisi (Anaçali ve Şirin, 2015)	8
Tablo 2.7. İHA kullanım alanları	20
Tablo 2.8. İHA uçuşlarında dikkat edilecek konular	20
Tablo 2.9. İHA ile 3B modelleme yapabilen programlar	20
Tablo 2.10. Lazer tarayıcı kullanım alanları	21
Tablo 2.11. Lazer tarama verilerini işleyen yazılımlar (Polat ve Uysal, 2016)	22
Tablo 3.1. Toroslarda bulunan birliklerin yaşları (Özgül, 1976; Özgül ve Kozlu, 2002)	25
Tablo 3.2. MTA'dan temin edilen 1/100.000 ölçekli haritaların hazırlandığı yıl	35
Tablo 3.3. Formasyonların yaşları	39
Tablo 3.4. Anafi Parrot teknik özellikleri	42
Tablo 3.5. Yersel lazer tarayıcı teknik özellikleri (Faro, 2018)	44
Tablo 4.1. Çukurkeşlik Mahallesi yer kontrol noktaları	47
Tablo 4.2. Çukurkeşlik Mahallesi uçuş planı	48
Tablo 4.3. Değirmençay Mahallesi yer kontrol noktaları	49
Tablo 4.4. Değirmençay Mahallesi uçuş planı	50
Tablo 4.5. Karahacılı Mahallesi yer kontrol noktaları	52
Tablo 4.6. Karahacılı Mahallesi uçuş planı	52
Tablo 4.7. Bağcılar Mahallesi yer kontrol noktaları	54
Tablo 4.8. Bağcılar Mahallesi 1. uçuş planı	54
Tablo 4.9. Bağcılar Mahallesi 2. uçuş planı	54
Tablo 4.10. Bağcılar Mahallesi 3. uçuş planı	54
Tablo 4.11. Bağcılar Mahallesi 4. uçuş planı	55
Tablo 4.12. Karahıdırlı Mahallesi uçuş planı	60
Tablo 4.13. Emirler-Değirmençay Yolu Agisoft Metashape raporu	63
Table 4.14. Uyumsuzluk düzlemleri	64
Tablo 4.15. Kaya düşmesine karşı alınabilecek önlemler (Nasery ve Çelik, 2020; Çapar, 2018).	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1. Mersin İli'nin ve ilçelerinin lokasyon haritası	23
Şekil 3.2. Kızılbağ istasyonu yıllık yağış miktarları	27
Şekil 3.3. Kızılbağ istasyonu 2019 yılı aylık yağış miktarı	27
Şekil 3.4. Kızılbağ istasyonu 2020 yılı aylık yağış miktarı	27
Şekil 3.5. Kızılbağ istasyonu 2021 yılı aylık yağış miktarı	28
Şekil 3.6. Kızılbağ istasyonu 2022 yılı aylık yağış miktarı	28
Şekil 3.7. Afet bölgelerinin lokasyon haritası	29
Şekil 3.8. Karahıdırlı Mahallesi yer bulduru haritası	29
Şekil 3.9. Karahıdırlı kaya düşmesi bölgesi	30
Şekil 3.10. Emirler-Değirmençay Yolu yer bulduru haritası	31
Şekil 3.11. Emirler-Değirmençay Yolu kaya düşmesi bölgesi	31
Şekil 3.12. Bağcılar Mahallesi yer bulduru haritası	32
Şekil 3.13. Bağcılar Mahallesi heyelan bölgesi	32
Şekil 3.14. Çukurkeşlik Mahallesi yer bulduru haritası	33
Şekil 3.15. Çukurkeşlik Mahallesi heyelan bölgesi	33
Şekil 3.16. Değirmençay Mahallesi yer bulduru haritası	34
Şekil 3.17. Karahacılı Mahallesi yer bulduru haritası	34
Şekil 3.18. Değirmençay Mahallesi jeoloji haritası	36
Şekil 3.19. Bağcılar Mahallesi jeoloji haritası	36
Şekil 3.20. Karahacılı Mahallesi jeoloji haritası	37
Şekil 3.21. Çukurkeşlik Mahallesi jeoloji haritası	37
Şekil 3.22. Karahıdırlı Mahallesi jeoloji haritası	38
Şekil 3.23. Emirler-Değirmençay yolu jeoloji haritası	38
Şekil 3.24. Genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit.	39
Şekil 3.25. Anafi Parrot	43
Şekil 3.26. Agisoft Metashape işlem adımları	43
Şekil 3.27. Faro Focus S350	45
Şekil 3.28. SCENE Programı işlem adımları	45
Şekil 4.1. Çukurkeşlik Mahallesi sayısal yükseklik modeli	48
Şekil 4.2. Çukurkeşlik Mahallesi ortofoto	49
Şekil 4.3. Değirmençay Mahallesi sayısal yükseklik modeli	50
Şekil 4.4 Değirmençay Mahallesi ortofoto	51
Şekil 4.5. Karahacılı Mahallesi sayısal yükseklik modeli	52
Şekil 4.6. Karahacılı Mahallesi ortofoto	53
Şekil 4.7. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-1	55
Şekil 4.8. Bağcılar Mahallesi ortofoto-1	55
Şekil 4.9. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-2	56
Şekil 4.10. Bağcılar Mahallesi ortofoto-2	56
Şekil 4.13. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-3	57
Şekil 4.14. Bağcılar Mahallesi ortofoto-3	58
Şekil 4.15. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-4	59
Şekil 4.16. Bağcılar Mahallesi ortofoto-4	59
Şekil 4.17. eBee marka İHA	60
Şekil 4.18. Karahıdırlı Mahallesi sayısal yükseklik modeli	61
Şekil 4.19. Karahıdırlı ortofoto	62
Şekil 4.20 Emirler-Değirmendere Yolu Sayısal yükseklik modeli (DSE)	63
Şekil 4.21 Sıcaklık haritası (a) ve yoğunluk haritası (b)	64
Şekil 4.22 3D point Cloud (a) ve 3D PPal (b)	64
Şekil 4.23. Kutup yoğunluğu (a), Vektör kutupları (b) Temel kutuplar (c)	64
Şekil 4.24. Emirler-Değirmendere yolu lazer tarama	65
Şekil 4.25. Lazer taramadan elde edilen 3B model	66
Şekil 4.26. SCENE programından üretilen ortofoto	66

	Sayfa
Şekil 4.27. Ankrajlı çelik kafes	68
Şekil 4.28. Çivi	69
Şekil 4.29. Bulon	69
Şekil 4.30. Püskürtme beton	70
Şekil 4.31. Payanda	70
Şekil 4.32. Drenaj	71
Şekil 4.33. Kablo ile sabitleme	71
Şekil 4.34. Hendek	72
Şekil 4.35. Sabit toprak bariyer	73
Şekil 4.36. Esnek bariyer	73
Şekil 4.37. Ağ	74
Şekil 4.38. Kaya Sundurmaları	74
Şekil 4.39. Tünel	75



SİMGELER VE KISALTMALAR

Kısaltma/Simgesi	Tanım
SYM	Sayısal Yüzey Modeli
SAM	Sayısal Arazi Modeli
3B	Üç Boyutlu
GPS	Küresel Konumlandırma Sistemi
CORS	Gerçek Zamanlı Ulusal Sabit İstasyonları
İHA	İnsansız Hava Aracı
YLT	Yersel Lazer Tarayıcı
LIDAR	Lazer Görüntüleme Tespiti ve Değişimi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
MTA	Maden Tetkik ve Arama
TUREF	Türkiye Ulusal Referans Ağı
YKN	Yer Kontrol Noktası
SfM	Structure from Motion
DSE	Süreksizlik Takımı Çıkarıcısı
RMR	Kaya Kütle Sınıflandırması
UA	Uzaktan Algılama
EFZ	Ecemiş Fay Zonu
m	Kaya Kütle
g	Yer Çekimi İvmesi
h	Yamaç Yüksekliği
v	Kayacın Hızı

1. GİRİŞ

Genel olarak yer yüzeyinin pek çok bölgesinde afet riski bulunmaktadır. Yerkürenin fiziksel özellikleri ve iklim şartları afetlerin derecesini belirlemektedir. Türkiye, sahip olduğu jeomorfolojik, jeolojik, hidrojeolojik ve klimatolojik özelliklerinden dolayı sıklıkla doğal afetlere maruz kalmaktadır. Bu afetlerin başında heyelan, kaya düşmesi, sel, deprem, kum fırtınası ve çığ gelmektedir.

İnsanlara zarar veren doğal olaylara afet denilmektedir. Doğal afetlerden en az zarar ile kurtulmak için bütün yer bilimleri ile ilgilenen disiplinlerin birlikte çalışması gerekmektedir. Jeoloji, jeofizik, harita, maden ve inşaat mühendisleri ile şehir bölge planlayıcılar mühendislik projelerinde birlikte yer almalıdır. Planlamanın düzgün bir şekilde yapılması ile pek çok doğal afet herhangi bir zarar yaratmayacaktır.

Fay hatlarına yakınlık, karstik boşlukların varlığı, yer altı madencilik faaliyetleri ve yumuşak zeminli havzalar doğal afet çalışmalarında önemli kriterlerdir (Arca, 2015). Türkiye’de pek çok yerleşim yerleri oluşturulurken doğal afet durumu dikkate alınmamıştır. Karayolu, demiryolu, bina, tünel ve baraj gibi önemli mühendislik projelerini yapmadan önce bölgenin doğal afetlere karşı durumunun tespit edilmesi gerekmektedir. Bu durum Türkiye’de pek çok bölgede ihmal edilmiştir.

Doğal afetler dünyanın oluşumundan günümüze kadar devam etmiştir ve gelecekte de olmaya devam edecektir. 2023 yılında doğal afetlerden dünya genelinde 74000 kişi hayatını kaybetmiş ve 250 milyar \$ maddi hasar oluşmuştur (Munich RE, 2024). Afetler olmaya başladıktan sonra insanlar tarafından afetlere müdahale edilememektedir. Doğal afetler ile mücadelede temel amaç doğal afet tehlikesini önceden belirlemek ve gerekli önlemleri almak olmalıdır. Böylece sonradan oluşabilecek pek çok sorunun çözümüne katkı sağlanmış olacaktır.

Doğal afetler Türkiye’nin ekonomik büyümesini olumsuz yönde etkilemekte ve etkisi uzun yıllar süren ekonomik kayıplara yol açmakta, toplumda huzursuzluğa sebep olmaktadır. Yoksul insanlar zengin insanlara göre daha kötü şartlarda inşa edilmiş evlerde yaşamakta ve bu durum afetlerden daha fazla etkilenmelerine neden olmaktadır (Dikmen, 2019).

Türkiye sismik açıdan çok aktiftir ve iklim değişikliği sorunundan dolayı düzensiz yağışlar görülmektedir. Bu iki durum kütle hareketlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Arazinin jeomorfolojik yapısı da doğal afetlerin etki derecelerini belirlemektedir. Arazinin eğimi kaymanın hızını ve enerjisini belirlemektedir. Kaymanın önemli sebeplerinden birisi de suyun varlığıdır. Suyu doymuş hale gelen malzeme eğime karşı duraylılığını kaybetmekte ve heyelan meydana gelmektedir. Suyun kayganlaştırıcı bir etkiye sahip olduğu düşünülmektedir.

Türkiye’de afet bölgelerinin haritalandırılması genellikle uzman deneyimi ve saha gözlemlerine dayanmaktadır. Türkiye’de doğal afet çalışmalarının önemi her geçen gün daha çok anlaşılmaktadır. Afetlere karşı gerekli önlemleri alabilmek için onları iyi tanımamız ve hassas bir şekilde modellememiz gerekmektedir. Teknolojik gelişmelerle birlikte çevre olaylarını algılama, yorumlama ve çözüm üretme yeteneğimiz artmaktadır (Çellek, 2013). Doğal afetlere karşı önlem alabilmek için afet bölgelerinin

bilgisayar ortamında yüksek çözünürlük ve hassasiyette modellenmesi gerekmektedir. Afet bölgelerinin haritalandırılmasında teknolojik gelişmeleri kullanmak çözüm önerileri sunma aşamasında karar vericilere büyük kolaylık sağlayacaktır.

Mersin, Türkiye'nin güneyinde Akdeniz'e kıyısı olan bir şehirdir. Mersin İli'nde sıklıkla heyelan ve kaya düşmesi afetleri gözlenmektedir. Mersin İli'nin güney kesimleri düz bir topografyaya sahipken kuzey kesimleri engebeli bir topografyaya sahiptir. Şehir Akdeniz iklimi tarafından karakterize edilmektedir.

Toros Dağları'nda kaya düşmesi olayları sıklıkla görülmektedir, pek çok kaya düşmesi çevreye zarar vermediği için raporlanmamaktadır. Risk taşıyan alanları önceden tespit etmek ve gerekli önlemleri almak için afete maruz alanların tespit edilmesi ve duraysız alanların haritalandırılması gerekmektedir.

Mersin İli'nin kuzey kesimlerinde eğim fazladır ve sahil kesimine göre daha fazla yağış almaktadır. Nüfus artışı şehirdeki konut sayısını da arttırmakta ve hızla yeni yerleşim yerleri açılmaktadır. Artan nüfus bilinçsizce afete duyarlı alanlara yerleşmektedir. Bu durum heyelan oluşması için uygun koşulları sağlamaktadır. Heyelanlar deprem kadar kamuoyunun dikkatini çekmemektedir.

Son yıllarda Uzaktan Algılama (UA) teknikleri çok gelişmiş ve geniş kullanım alanlarına ulaşmıştır. Bu çalışmada Mersin İli'nde kaya düşmesi görülen 2 bölge ve heyelan afeti görülen 4 bölge UA teknikleri kullanılarak modellenmiştir. Afet modellemesinde sıklıkla kullanılan girdi parametrelerinden olan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ortofoto yüksek hassasiyet ve çözünürlükte elde edilmiştir. Hazırlanan modellere uygun çözüm önerileri sunulmuştur. Oluşturulan bir modelin doğruluğu girdi parametrelerinin doğruluğuna ve kullanılan verinin kalitesine bağlıdır.

UA yöntemlerinden İnsansız Hava Aracı (İHA) ve Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) son yıllarda sıklıkla bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır. UA teknikleri ile güncel veriler hızlı bir şekilde toplanmakta ve sağlıklı bir şekilde yorumlanmaktadır. İHA ve YLT yüksek çözünürlükte veri sağlayan önemli kaynaklardır. Tekrarlı ölçümler ve uzaktan veri alabilme özellikleri ile sarp topografyaya sahip alanlarda bile yüksek çözünürlüklü ve yüksek hassasiyetli veriler sunmaktadırlar.

Bu çalışmada afet bölgeleri için çözüm üretmede kullanılan altlık haritalar yüksek çözünürlükte ve hassasiyette üretilmiştir. Bu altlık haritalar ileride hazırlanılacak çözüm yöntemlerinin daha hassas olmasını sağlayacaktır. Afet bölgelerinin yaratabileceği potansiyel tehlikeler doğru bir şekilde yönetilebilecektir. İnsanların can ve mal güvenliğini sağlamada çok faydalı olacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Doğal Afetler

Türkiye sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve iklimsel özelliklerinden dolayı sıklıkla doğal afetlere maruz kalmaktadır. Doğal afetler ekonomik kayıplara, can kaybına ve toplumda psikolojik sorunlara yol açmaktadır. Doğal afetleri jeolojik ve meteorolojik kökenli olarak sınıflandırabiliriz (Tablo 2.1). Jeolojik kökenli afetlerin kaynağı yer kabuğu iken meteorolojik kökenli afetlerin kaynağı atmosferik koşullardır (Çellek, 2013). Bazı afetler başka bir afetin oluşmasına neden olmaktadır.

Tablo 2.1. Doğal afetlerin sınıflandırılması (Çellek, 2013).

Jeolojik kökenli	Meteorolojik kökenli
Deprem	Sel
Heyelan	Fırtına
Kaya düşmesi	Don
Volkan patlaması	Sis
Tsunami	Kuraklık
	Hortum
	Orman yangını
	Çığ
	Kum/Toz fırtınası
	Yıldırım
	Erozyon

Doğal afetler tarih boyunca pek çok can kaybına ve maddi hasara sebep olmuştur. Afetlerin verebileceği zararlardan en az zararla kurtulabilmek için afetlerin mekanizmasını, nasıl oluştuğunu ve nelerin onları tetiklediğini bilmemiz gerekmektedir. Risk taşıyan alanları belirlemek için tehlike ve duyarlılık haritalarını üretmemiz gerekmektedir. Afet bölgelerinin bilgisayar ortamında modellerini oluşturduktan sonra çözüm önerileri getirilmelidir. Afet bölgelerinin belirli periyotlarda izlenmesi gerekmesi afet yönetiminde bize kolaylık sağlayacaktır.

Toprak ve kaya kütlelerinin hareket etmesi doğal afete neden olmaktadır. Bu hareketin ne gibi sonuçlara yol açabileceği arazinin düzenli olarak takip edilmesi sayesinde bulunabilmektedir. Nokta bulutu verisi kullanarak hareketin yönü ve miktarı hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Doğal afet çalışmalarında hassas sonuçlar almak için veri kalitesi çok önemlidir. Nokta bulutu verisi hassas veriyi elde etmemize olanak sağlamaktadır.

2.2. Kütle Hareketleri

Zemin veya kaya türü malzemeden oluşan arazi parçasının yer çekimi etkisi altında eğim yönünde hareket ederek yer değiştirmesine kütle hareketi denilmektedir. Jeolojik birimlerin özellikleri, fay, çatlak, tabakalanma gibi süreksizlikler ve yer altı suyu etkisi ile farklı geometrik yapıda ve hızda

yayılm gösterirler. Bu sayede yer yüzeyinin morfolojisi yeniden şekillenmektedir. Bu dinamik süreçte kütle hareketinin şiddeti insanlara etkisini hissettirir. Kütle hareketlerinin sebepleri; şev açısının değiştirilmesi, şev aşırı yüklenme, yamaç topuklarının aşındırılması, malzemenin makaslama dayanımının zamanla değişmesi, artan su miktarı, bitki örtüsündeki değişim ve depremlerdir. Kaydırıcı kuvvetlerin kaymayı engelleyen kuvvetlerden daha büyük duruma geldiği anda kütle hareketi gözlenmektedir. Kütle hareketleri 3 başlık altında sınıflandırılabilir:

- Hareketin hızı (mm/yıl – km/saat)
- Hareketin türü (Düşme, kayma, akma, devrilme)
- Malzeme türü (Kaya, Zemin, Moloz)

Yer yüzeyinde pek çok bölgede kütle hareketleri görülmektedir ve bunlardan insanlara zarar verenler doğal afet olarak adlandırılmaktadır. Kütle hareketlerine karşı gerekli mühendislik önlemlerinin alınabilmesi için gerekli verilerin hassas bir şekilde toplanması gerekmektedir.

2.2.1. Kaya Düşmesi

Kaya düşmesi, kayalık bölgelerde sıklıkla görülen bir doğal afettir. Kaya kütlelerinin üzerindeki kuvvetlerin değişmesi sonucu kayada açıklıklar oluşmakta ve kaya parçaları ana kayadan ayrılarak yer çekiminin etkisiyle eğim yönünde farklı enerjilerle düşmektedir. Düşme anında potansiyel enerji kinetik enerjiye dönüşmekte ve enerji sönümlenip durana kadar kaya hareketine devam etmektedir (Kalender, 2017). Kayaların düşerken izleyeceği güzergâh yamaç geometrisine, kayaların büyüklüğüne, şekline ve dayanımına bağlıdır (Pradhan ve Fanos, 2017).

Kaya düşmesi olayı binalara, ulaşım koridorlarına ve alt yapı hizmetlerine zarar vermekte böylece insan yaşamı için risk oluşturmaktadır. Türkiye’de kaya düşmesi sıklıkla görülmektedir. Dağlık araziye yeni yerleşim yerlerinin kurulması kaya düşmesinin önemini arttırmaktadır. İnsanlara zarar vermeyen kaya düşmesi olayları çoğunlukla raporlanmamaktadır. Bu durum envanter haritası oluşturma ve istatistiksel olarak çalışma yapabilme açısından engel olmaktadır. Kaya düşmesinden etkilenen araziler Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Kaya düşmesinden etkilenen yerler.

Arazi	Etkilenen yer	Kaynak
Arkeolojik bölge	Kültürel miras	Dinçer vd., 2016; San vd., 2020; Ağca vd., 2020
Demiryolları	Ulaşım koridoru	Kayabaşı, 2018
Karayolları	Ulaşım koridoru	Sakız vd., 2021; Canal ve Akın, 2016; Keskin vd., 2020
Köy	Bina	Keskin, 2013; Polat vd., 2016
Maden ocakları	İş makinaları	Effeindzourou vd., 2017

Kaya düşmesinin başlıca sebepleri; deprem, aşırı yağış, süreksizlik setleri, donma-çözünme, erozyon, ayrışma, bitki köklerinin büyümesi, insan ve hayvan etkisi, sıcaklık farkları, kontrolsüz kazılar ve uygun olmayan şev tasarımıdır (Sakız vd., 2021). Kaya kütleleri üzerindeki kuvvetlerdeki küçük değişimler eklem yerlerinde açıklıkların oluşmasına sebep olmaktadır. Kaya bloğu düşme anında etrafına çarparak ilerleyecektir (Alizadeh, 2021) ve çarptığı yüzey ne kadar sertse ilerleme enerjisi o kadar çok olacaktır. Yumuşak bir yüzeye çarpma durumunda daha çabuk duracaktır. Dayanımı sert olan kayalar büyük tehlike oluştururken, dayanımı zayıf olan kayalar az tehlike oluşturmaktadır. Kaya kütlelerinden ayrılmış kaya parçaları serbest düşme, kayma, sıçrama ve yuvarlanma tiplerinde düşmektedir. Ani gelişmesi tehlikeli olabilmekte ve can ve mal kaybına sebep olmaktadır.

Kaya düşmesinin kökeninin ve kaya düşmesi sonucunda etkilenebilecek alanların belirlenmesi, hangi önlemlerin alınabileceğinin tespit edilebilmesi için gerekmektedir. Kaya düşmesi çalışmalarında klasik yöntem 2B ve 3B modelleme çalışmalarıdır. 3B modellemede arazi daha hassas bir şekilde modellendiği için son yıllarda sıklıkla kullanılmaktadır (Şener, 2019). Bu yöntem uygulanarak kaya düşmesi görülen arazide tabakalı yapılar ve tabakaların doğrultuları tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte yapay objeler de tespit edilmiştir. Bu modellerle kayaların izleyeceği yol, ulaşabileceği en uzak mesafe, sıçrama yüksekliği, kayaların hızı ve kinetik enerjisi tespit edilebilmektedir. Kaya düşmesi yayılım parametrelerinin belirlenmesi ile uygun yer seçimi ve mevcut yapıların güvenliği için korunma yöntemi seçmede kullanılabilmektedir (Kalender, 2017). Kaya düşmesi analizlerinde girdi parametreleri olarak SYM ve kayaların dayanım parametreleri kullanılmaktadır. En sık kullanılan programlar Tablo 2.3'te gösterilmektedir.

Tablo 2.3. Kaya düşmesi çalışmalarında 3B modellemede kullanılan programlar (Kalender, 2017; Guzzetti vd., 2002; Volkwein vd., 2011, Çapar, 2018).

Programın Adı	Yaklaşım	Kaynak
HY-Stone	Hibrit	Diñer, 2016; Ağca vd., 2020; Lanfranconi vd., 2020
Rockyfor 3D	Hibrit	Corona vd., 2017; Şener, 2019
Rocfall	Öbek kütle	Erfen vd., 20222
Stone	Öbek kütle	Guzzetti vd., 2002
Conefall	-	Hepdeniz 2019; Keskin ve Polat 2022
Rotomap	Öbek kütle	Cappadonia vd., 2021
Rockfall analyst	Öbek kütle	Ansari vd., 2018
PICUS-ROCKnROLL	Hibrit	Woltjer vd., 2008
QPROTO	-	Castelli vd., 2021; Scavia vd., 2020
RAMMS 3D	Öbek kütle	Borella vd., 2019; Utlu vd., 2020
Pierre 3D	Öbek kütle	Preh vd., 2015
Pir3D	Öbek kütle	Cottaz vd., 2010
RocPro3D	Hibrit	Jiang vd., 2021; Fanos vd., 2020
CRSP-3D	SYM	Nugraha vd., 2017
Georock 3D	Öbek kütle	Mineo vd., 2017;
Eboul	Öbek kütle	Abbruzzese ve Labiouse 2020
3D Geotest	Hibrit	Perret vd., 2004
STAR3-D	Öbek kütle	Leine vd., 2014

Bu modellerde girdi parametresi olarak Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve laboratuvar deney sonuçları kullanılmaktadır. Genel olarak SYM 1/25000 ölçekli topografik haritalardan üretilmektedir (Bozdağ, 2022). Bu ölçekteki bir haritadan elde edilen SYM’de 1 cm 250 m’ye karşılık geleceği için topografyaya ait gerçek detayları yansıtamayacak ve hassas bir modelleme gerçekleştirilemeyecektir. İHA sisteminden elde edilen veriler yaklaşık 7 cm çözünürlüğe sahip olup araziye ait en ufak detayları bile yansıtabilmektedir (Ağca vd., 2020).

Duraylılığını uzun yıllar koruyan kaya şevleri aniden kütle olarak düşebilmektedir. Kayalık bölgedeki engebeli yapı, bitki durumu ve insan müdahalesi ile değişen geometri kayacın izleyeceği güzergahı değiştirecektir. Bu nedenle modellerde güncel SYM kullanmak daha gerçekçi model elde etmemizi sağlayacaktır.

Düşen kaya bloğu küçük boyutlu olsa bile, sahip olacağı kinetik enerjiden kaynaklı çevreye ve insanlara çok zarar verebilirler. Kaya kütlelerin hızları (v) Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2’den bulunmaktadır. Yamacın yüksekliği (h) arttıkça kaya kütlelerinin hızı da artacaktır.

Yuvarlak geometriye sahip kayalar daha uzağa gidebilecektir. Sıçrama yüksekliği fazla olan kaya blokları için kaya tutma bariyerleri yapısı inşa etmek kullanışlı bir çözüm olmayacaktır.

$$mgh = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2.1.)$$

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2.2.)$$

Kayalık bölgenin eğimi 70°’den fazla ise düşme, 70° ile 45° arasında ise sıçrama, 30° ile 45° arasında ise yuvarlanma, 30°’den küçük ise kayma olarak adlandırılmaktadır (Ritchie, 1963). Şev açısı ve sevi oluşturulan malzeme kaya düşmesi olayındaki en önemli iki parametredir.

Kaya düşmesi hareketini etkileyen faktörler; yamaç/şev yüksekliği, yamaç/şev açısı, yamaç/şev pürüzlülüğü, bitki durumu, jeolojik yapı, topografik yapı, kaya dayanımı (sertliği), blok boyutu, bloğun geometrik özellikleri ve kayanın elastik özellikleridir (AFAD, 2020).

Kaya düşmeleri genel olarak bölgenin jeolojik koşulları tarafından kontrol edilmektedir. Litoloji, süreksizlik setleri ve sismik hareketler kaya düşmesi mekanizmasının önemli bileşenleridir. Kaya düşmesi tehlikesi olan yerlerde detaylı jeolojik araştırmalar yapılmalıdır. Faylar, eklem setleri, erozyon ve yağış miktarı tespit edilmelidir.

Kaya bloklarının düşme hareketine ilk başladıkları bölge kaynak zonu, hareketin tamamlandığı bölgeye yuvarlanma zonu denilmektedir (AFAD, 2020). Oluşturulacak jeolojik model kayaların kökeninin bulunduğu alandan başlamalı ve kayaların ulaşabileceği en uzak noktaya devam etmelidir.

Kaya düşmesinde kama, dairesel, düzlemsel ve devrilme olmak üzere 4 çeşit yenilme türü bulunmaktadır. Kayacın içsel sürtünme açısı ve eğim yönü ile süreksizlik setlerinin eğim yönü ve yönelimi parametreleri kullanılarak yenilme türleri kinematik analiz ile belirlenmektedir. Bu işlem için stereonet kullanılmaktadır. Kinematik analiz ayrıntılı incelemelere başlamadan önce uygulanan çok basit bir tekniktir. Bu yüzden bir ön değerlendirme yöntemi olarak kabul edilmektedir.

Kaya düşmesi modellemelerini titiz bir şekilde yapabilmek için çalışma alanının özelliklerini hassas bir şekilde belirlemeliyiz. Süreksizlik setleri kaya düşmesinde önemli bir belirleyicidir.

2.2.1.1 Süreksizlik Setleri

Kaya kütlelerinde çekilme dayanımına sahip olmayan zayıflık düzlemelerine süreksizlik denilmektedir. Kaya kütleleri homojen ve sürekli değildir. Eklem, fay, tabakalanma ve şistozite gibi süreksizlik setlerine sahiptir. Jeoteknik problemlerin başında su, süreksizlik ve kil gelmektedir (Leventeli, 2002). Kaya kütlelerindeki duraysızlıkları kontrol eden en önemli faktör süreksizliklerdir. Bu sebepten dolayı kaya kütlelerinin davranışlarını inceleyebilmek için süreksizlik setlerini belirlememiz gerekmektedir.

Kaya şevlerinin duyarlılığına etki eden faktörler: şev yüksekliği/şev açısı ilişkisi, kohezyon ve içsel sürtünme açısı, süreksizlikler ve özellikleri, süreksizlik dolgu maddesi ve süreksizliklerdeki suyun etkisidir (Tarhan, 1996). Kaya şev çalışmalarında RMR ve Q sınıflama sistemleri kullanılmaktadır. Bu sınıflama sistemlerinde kullanılan parametreler Tablo 2.4'te verilmiştir. Bu parametrelerden eğim yönü ve eğim açısı parametrelerini nokta bulutundan tespit edebilmekteyiz.

Tablo 2.4. Kaya kütle sınıflamasında kullanılan parametreler.

Q (Barton vd., 1974)	RMR (Bieniawski 1989)
RQD	Sağlam kayacın dayanımı
Eklem takımı sayısı	RQD
Eklem pürüzlülük sayısı	Süreksizlik aralığı
Eklem alterasyon sayısı	Süreksizliklerin durumu
Eklem su azaltma faktörü	Yer altı suyu
Gerilim azaltma faktörü	Eklem eğim ve eğim yönü

Tablo 2.5. Nokta bulutundan süreksizlik setleri elde eden programlar (Alptekin ve Yakar, 2022).

Program	Kaynak
Matterocking	Jaboyedoff vd., 2004
DSE	Riquelme vd., 2014
ShapeMetrix 3D (3GSM GmbH)	Buyer vd., 2020
Sirovision (Datamine and CSIRO)	Kim vd., 2015
Split-FX	Slob vd., 2005
Coltop-3D	Jaboyedoff vd., 2009
Plane Detect	Voge vd., 2013
RockScan	Ferrero vd., 2009
3DM Analyst	Pack vd., 2021
CloudCompare	Menegoni vd., 2019
DiAna	Gigli ve Casagli, 2011

Süreksizlikler ile ilgili veriler genellikle jeolojik pusula ile elde edilmektedir. Bu durum insan kaynaklı hatalara ve pusuladan kaynaklı hatalara sebep olmaktadır. Ulaşılması zor yerlerden veri elde edebilmek tehlikelidir. Modern ölçme tekniklerinde süreksizlikler ile ilgili veriler İHA ve LiDAR

kullanarak elde edilen nokta bulutundan temin edilmektedir. Nokta bulutlarından eğim ve yönelimin bulunması kaya mühendisliği çalışmalarına yeni bir vizyon kazandırmıştır. Nokta bulutu verisinden süreksizlik setlerini çıkartan pek çok program bulunmaktadır (Tablo 2.5).

2.2.2. Heyelan

Toprak, kaya ve moloz malzemenin yer çekimi etkisi ile yamaç aşağı hareketine heyelan denilmektedir. Heyelanlar arazinin jeolojik, hidrojeolojik, morfolojik, fiziksel ve çevresel özellikleri kontrolü altında meydana gelmektedir (Cruden ve Varnas, 1996). Ayrıca, yanlış arazi kullanımı heyelanların sıklıkla görülmesine neden olmaktadır. Heyelana uygun şartlar bir araya geldiğinde ve bir tetiklenme olduğunda malzeme kaymaktadır. Bu tetikleme genellikle aşırı yağışlar, sismik hareketler ve insan kaynaklı hatalardan kaynaklanmaktadır. Heyelan yarattığı ekonomik sorunlar ve can kaybından dolayı depremden sonra en önemli doğal afettir. Oluşan doğrudan ve dolaylı ekonomik kayıpların hesaplanması çok güçtür.

Zemin kütlelerinin üzerindeki statik dengenin bozulması sonucu malzeme eğim yönünde hareket etmektedir. Deprem, aşırı yağış, erozyon ve insan kaynaklı sebepler heyelan oluşmasına neden olmaktadır. Yamaç eğimindeki değişim, yer altı suyu seviyesindeki yükselme ve kohezyondaki azalma zeminin yenilmesine sebep olmaktadır. Heyelan mekanizmasının tam olarak anlaşılabilmesi için zemin kütlelerinin yataydaki ve düşeydeki hareketinin belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için heyelan tehlikesi görülen arazinin düzenli aralıklar ile izlenmesi gerekmektedir. Nokta bulutu verisinden 3B mekânsal bilgiler elde edilebilmektedir. Hareketin yönü farklı zamanlarda elde edilen nokta bulutları ile belirlenebilmektedir. Heyelan afetinde kullanılan terimler Tablo 2.6’da gösterilmektedir.

Tablo 2.6. Heyelan terminolojisi (Anaçali ve Şirin, 2015).

Terim	Anlamı
Ana ayna	Heyelanın üst ucunda heyelandan etkilenmemiş kısma verilen isimdir.
Tali ayna	Heyelan bölgesinde yer değiştiren kütle içinde farklı hareketlerden oluşmuş düşey veya düşeye yakın yüzeye verilen isimdir.
Taç	Ana aynanın en yüksek bölümüne en yakın ve hareket etmemiş malzemenin bulunduğu yer.
Heyelan gövdesi	Kayma yüzeyi üzerinde, ana ayna ile kayma yüzeyi burnu arasında kalan kütle.
Heyelan eteği	Heyelanın topuğu ötesine hareket ederek doğal arazi üzerine oturmuş bölümü
Heyelan ucu	Heyelan tepesinden topuğuna gelen nokta.
Topuk	Hareket eden kütlelerin genellikle eğrisel olan alt ucu. Bu nokta ana aynadan en uzaktaki noktadır.
Ayrılma yüzeyi	Doğal arazi yüzeyinin heyelanın eteği altında kalan bölümü.
Birikim bölgesi	Heyelan kütlelerinin başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üstünde kalan alanı.
Kayıp bölgesi	Heyelan kütlelerinin doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan alanı.
Çöküntü kütlesi	Kayma yüzeyi üzerinde, ancak başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi seviyesi altında kalan heyelan kütlesi.
Kabarma	Başlangıçtaki doğal arazi yüzeyi üzerine yükselen yer değiştirmiş heyelan hacmi.
Doğal arazi yüzeyi	Kütle hareketi oluşmadan önce arazinin kesitte görülen yüzeyi göstermektedir.

2.2.2.1. Heyelan Oluşumuna Etki Eden Faktörler

Heyelan oluşumuna etki eden doğal, jeomorfolojik, meteorolojik ve insan kaynaklı pek çok faktör vardır. Bu sebeplerden bazen bir tanesi bazen de birden fazla sebep heyelan oluşmasına sebep olmaktadır.

2.2.2.1.1. Akarsu Etkisi

Havza içerisinde akarsuyun uzunluğu, sıklığı, yoğunluğu ve toplanma alanı gibi özellikler flüvyal süreçleri etkilemekte ve topuk erozyonuna bağlı yenilmelere sebep olmaktadır (Cihangir, 2018). Akarsular yamaç topuğunu aşındırarak ve yamaç altındaki malzemeyi suya doymun hale getirerek yamaçtaki şev açısını değiştirmektedir. Böylece yamacın stabilitesi bozulmakta ve heyelana sebep olmaktadır.

2.2.2.1.2. Yağış Etkisi

Şiddetli yağışlar ve karların erimesi hidrostatik basıncı arttırmakta ve zemin kütlelerinin dengesini bozmaktadır. Su toprağın kaymasını kolaylaştırmakta, kohezyonu ve sürtünme katsayısını azaltmakta, plastisite limitini arttırmakta böylece heyelana sebep olmaktadır (Sür, 1972).

2.2.2.1.3. Bakının Etkisi

Bakı heyelan oluşumuna doğrudan sebep olan süreksizlikler, güneş ışığına maruz kalma, yağış ve rüzgâr gibi meteorolojik olaylar ile bağlantılı olduğu için önemlidir (Kaçka, 2019). Kuzey Yarımkürede kuzeye bakan yamaçlar güneye bakan yamaçlara göre daha az güneş ışığına maruz kaldıkları için daha nemli olmaktadır ve karın yerde tutunma süresi daha uzundur (Cihangir, 2018).

2.2.2.1.4. Eğimin Etkisi

Yüksek eğimli araziler düşük eğimli arazilere göre kaymaya daha çok meyillidirler (Biçer, 2017). Fay hatları tarafından, insanlar tarafından yapılan müdahaleler veya yağış ve akarsuyun etkisiyle yamaçtaki eğimin değişmesi heyelana sebep olmaktadır.

2.2.2.1.5. Yükseltinin Etkisi

Göreceli olarak yüksek eğimli bölgelerin alçak bölgelere göre heyelana daha duyarlı olduğu düşünülmektedir. Yüksek eğim doğrudan bir etken olmamasına karşılık, diğer parametrelerle birlikte

değerlendirildiğinde önemi artmaktadır (Biçer, 2017). Yükseklik arttıkça iklim ve bitki örtüsü değişecektir. Dolayısıyla yağış miktarı ve süresi de değişecektir.

2.2.2.1.6. Tektonik Yapı ve Fayların Etkisi

Sismik hareketler, zemin kütlelerinin hareket etmesine sebep olmaktadır. Deprem dalgaları zemin ve kaya kütlelerinin yerinden oynamasına ve eğim yönünde hareket etmesine neden olabilmektedir.

2.2.2.1.7. Bitki Örtüsünün Etkisi

Bitki örtüsü olmayan alanlarda ormanlık alanlara göre heyelan oluşumu daha azdır. Bunun sebebi bitki köklerinin derinlere inerek yamaca ağırlık yüklemesi ve stabilizeyi bozmasıdır (Cihangir, 2018).

2.2.2.1.8. Killi Malzeme Etkisi

Killer yüksek miktarda su tutma özelliğine sahiptir. Bu durum zeminde hacim artışına, sürtünmenin ve kayma direncinin azalmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle heyelan, kil içeriği yüksek formasyonlarda sıklıkla görülürken, kil içeriği düşük formasyonlarda daha az görülmektedir.

2.2.2.2. Heyelan Sonucu Oluşabilecek Zararlar

Heyelan sonucunda can ve mal kaybı oluşabilmektedir. Heyelan sonucu oluşabilecek potansiyel zararlar (Ulusay, 2007) şunlardır:

- Heyelandan etkilenen alanlarda üretim kayıpları
- Ulaşım yollarının kapanmasıyla trafikte oluşacak aksaklıklar
- Afet bölgesindeki evlerin değerlerinin düşmesi
- Turistik bölgelerde turizm gelirlerinin azalması
- Afet bölgesindeki akarsu ve kanallarda su kalitesinin düşmesi
- Yeni afetlere karşı alınacak iyileştirme ve koruma çalışmaları
- Ölüm, yaralanma veya psikolojik travmalardan dolayı iş gücü kaybı
- Heyelana bağlı gelişebilecek su baskınları

2.2.2.3. Heyelan Harita Çeşitleri

Genel olarak dört çeşit heyelan haritası bulunmaktadır. Bu haritaların ortak noktası Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak üretilmeleridir. Bir arazinin yerleşime açılmasından önce bu haritaların hazırlanması gerekmektedir. Potansiyel riskli alanlar belirlenerek doğal afetten en az zarar ile kurtulmak mümkündür. Etkin bir planlama yapılabilmesi ve afet zararların en az seviyeye indirilebilmesi için riskli bölgelerin haritalarının oluşturulması önceliklidir. Bu haritalar doğru yer seçimi ve doğru arazi kullanımı konusunda yardımcı olacaktır. Arazi hakkında ne kadar ayrıntılı bilgi elde edilirse hazırlanacak harita o kadar hassas ve güvenilir olacaktır (Çellek, 2013). Bu yüzden veri kalitesi çok önemlidir. Heyelanlar ile etkin bir şekilde mücadele edebilmek için geniş bir veri tabanı oluşturmak gerekmektedir. CBS programlarının gelişmiş olması bize harita hazırlamada kolaylıklar sunmaktadır.

2.2.2.3.1. Heyelan Envanter Haritaları

Heyelan envanter haritaları, arazideki mevcut heyelan alanlarının alansal dağılımlarını, özelliklerini, jeolojik özelliklerini, tetikleyici etmenlerini, yarattığı ekonomik kayıpları ve tarihsel kayıtlarını gösteren önemli veri tabanlarıdır. Bu haritalar pek çok analiz için altlık olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden heyelan çalışmalarının başlangıcındaki en önemli aşama olarak nitelendirilmektedir. Geçmişte olmuş heyelanlar gelecekte olabilecek heyelanlar hakkında bilgi vermektedir. Heyelanların tekrarlanma periyotlarının belirlenmesinde büyük katkı sağlayacaktır. Envanter haritası ile bir bölgedeki heyelan tehlikesi belirlenebilir ve karar alıcılara güvenilir ve güncel veriler sunulabilir. Heyelan envanter haritası oluşturulurken kullanılan yöntemler uydu görüntüleri, literatür çalışmaları, saha gözlemleri, yerel halkla yapılan görüşmeler, gazeteler ve hava fotoğraflarıdır.

2.2.2.3.2. Heyelan Risk Haritaları

Heyelan risk haritaları heyelan sonucu oluşabilecek can ve mal kaybını, ekonomik ve çevresel zararların derecesini araştıran haritalardır. Heyelan afetinden oluşabilecek potansiyel zararı çalışılan bölgedeki nüfus ve ekonomik faaliyetlerini de inceleyerek araştıran haritalardır.

2.2.2.3.3. Heyelan Tehlike Haritaları

Heyelan tehlike haritaları tetikleyici olaylarla heyelanın tekrar olma olasılığını gösteren haritalardır. Afet öncesi potansiyel riskli olan yerleri tespit etmek, zararı en aza indirebilmek için gereklidir. Mekânsal ve zamansal olasılık hesabı üzerine yamaç hareketinin yerini, tipini sunan haritalardır. Heyelanın nerede ne büyüklükte ve ne zaman olacağını araştırır. Heyelanın belirli bir bölgede olma olasılığını gösterirler ve istatistiksel temele dayanmaktadırlar.

2.2.2.3.4. Heyelan Duyarlılık Haritaları

Heyelan duyarlılık haritası bir bölgenin heyelana karşı olan eğilimini göstermektedir. Bir bölge içindeki alanların göreceli olarak heyelana karşı hassasiyetini zonlara ayırarak gösteren haritalardır. Duyarlılık haritası ile heyelanın gerçekleşebileceği potansiyel alanlar tespit edilebilmektedir. Etkin bir planlama yapılabilmesi için heyelan duyarlılık haritasının yüksek doğrulukla hazırlanması gerekmektedir. Muhtemel duraysız alanlar belirlenerek heyelanların etkileri azaltılabilmektedir.

Duyarlılığa etki eden faktörler bölgeden bölgeye değişiklik göstermektedir. Heyelanda etkili olan parametrelere CBS ortamında önem dereceleri verilerek duyarlılık haritaları oluşturulmaktadır. Duyarlılık haritasında genellikle kullanılan parametreler; eğim, jeoloji, bakı, yükseklik, yola olan uzaklık, topografik nemlilik indeksi, toprak yapısı, yağış miktarı ve drenaj özellikleridir.

Heyelan duyarlılık haritası üretmede sıklıkla kullanılan yöntemler; Olasılık yöntemi, Analitik Hiyerarşi Yöntemi, İki değişkenli, Çok değişkenli, Lojistik Regresyon, Bulanık mantık, Yapay Sinir Ağları, Frekans Oranı Metodu, Destek Vektör Makinesi, Koşullu Olasılık ve Derin Öğrenme yöntemleridir (Çellek, 2013; Biçer, 2017; Şahin, 2017).

2.3. Sayısal Yükseklik Modeli

Sayısal yükseklik modeli (Digital Elevation Map, DEM), bir arazinin yükseklik verilerinden faydalanarak 3B olarak bilgisayar ortamında gösterilmesidir. DEM modern teknikler kullanarak yer yüzeyinin fiziksel özelliklerini anlamamıza ve onları yorumlamamıza olanak sağlamaktadır. Yer yüzeyini dijital ortamda göstermekte ve pek çok mühendislik bilimi tarafından kullanılmaktadır. Yüksek çözünürlüklü DEM sayesinde topografya gerçekçi ve berrak görünmektedir. Böylece sorunlar sağlıklı yorumlanabilmekte, basit sorunlar çözümlenebilmekte ve yenilikçi fikirler üretilebilmektedir.

DEM pek çok heyelan ve kaya düşmesi analizinde girdi parametresi olarak kullanılmaktadır. Topografyayı analiz etmekte, blok hareketlerinin analizinde ve eğim farklarının belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. DEM sayesinde arazinin görsel 3B modeli, eğim haritası, bakı haritası, kabartma haritası ve kontür çizgileri belirlenebilmekte ve su akım modeli oluşturabilmektedir.

DEM verisi topografik haritalar sayısallaştırılarak, uydu görüntüsü ve İHA verileri kullanılarak oluşturulabilmektedir. Uzaktan algılama teknikleri sayesinde kolay ulaşılamayan yerlerin DEM verisi rahatlıkla elde edilebilmektedir. İHA günümüzde düşük maliyet, alçak uçuş yeteneği ve güvenlik sebeplerinden dolayı DEM üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir (Arif, 2018).

2.3.1. Sayısal Yüzey Modeli

Sayısal yüzey modeli (Digital Surface Map, DSM) araziye bütün objeleri kapsayacak şekilde modellemektedir. Arazide bulunan bitki örtüsü, binalar, elektrik direkleri ve arabalarda modelde

görülmektedir. DSM, hava araçlarının güzergahlarının belirlenmesinde, bitki örtüsü gelişiminin takibinde, sel afetinin modellenmesinde ve şehir planlaması işlemlerinde kullanılmaktadır.

2.3.2. Sayısal Arazi Modeli

Sayısal arazi Modeli (Digital Terrain Map, DTM) çıplak yer yüzeyi modeli olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde her türlü yapay obje yok sayılmaktadır ve sadece çıplak toprak ve kaya görülmektedir. Arazi kullanım çalışmaları, doğal afet modellemeleri, hidrolojik analizler, hacim belirleme ve şehir modelleme gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Arazide gözlem yoluyla belirlenemeyen jeolojik özellikler DTM sayesinde bilgisayar ortamında tespit edilebilmektedir. Mühendislik projelerinde karşılaşılabilecek muhtemel problemler belirlenebilmektedir.

2.4. Ortofoto

Ortofotolar (Ortomosaik), eğrilik, dönme ve yükseklik farklarının düzeltildiği, dik izdüşüm haline getirilmiş sayısal haritalardır. DSM kullanılarak üretilen ortofotolar, arazinin gerçek durumunu gösteren 2B haritalardır. Yer bilimleri ilgili bütün alanlarda, madencilikte, tarımda ve şehircilik başta olmak üzere birçok alanda altlık görüntü olarak kullanılmaktadır.

2.5. Önceki Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında önceki çalışmalar doğal afetler, jeoloji, İHA ve lazer tarayıcı başlıkları olmak üzere değerlendirilmiştir. YÖK Tez Merkezi'nden 2024 yılında indirilen tezler kronolojik sırayla açıklanmıştır.

2.5.1 Doğal Afet Çalışmaları

Akçalı (2011) yağışların belirli bir eşik değeri aştıktan sonra heyelanları tetiklediğini belirtmiştir. Bu eşik değeri belirlemek için heyelan ve yağış istatistiksel verilerini kullanmıştır. Elde edilen eşitliğin güvenilirliğini sayısal modeller ve zemin parametrelerini kullanarak test etmiştir. Bu eşitlikten faydalanan bir erken uyarı sistemi veri tabanı oluşturmuştur.

Çellek (2013) Analitik Hiyerarşi Yöntemi (AHY) kullanarak heyelan duyarlılık haritası oluşturmuştur. Jeoloji ile ana yola uzaklık parametrelerinin heyelan duyarlılık haritası üretiminde diğer parametrelere göre daha etkili olduğunu belirlemiştir. Çalışmasında altlık olarak Quickbird uydu görüntüsünü, 1/25000 ölçekli jeoloji haritalarını, 1/5000 ölçekli hali hazır paftasını ve imar planlarını

kullanmıştır. Heyelan duyarlılık analizi sonucu elde edilen verileri heyelan envanter haritası ile karşılaştırılmış ve doğruluk analizi yapmıştır.

Canoglu (2015) yüzey sularının heyelan duyarlılığına etkisini araştırmıştır. Yüzeysel akış ilkesini temel alan SMDR (Soil Moisture Distribution and Routing) modelini kullanmıştır. SMDR modelinde meteorolojik, drenaj, evapotranspirasyon, lateral flow ve sızma bileşenlerini kullanmıştır. Doygunluk derecesi İndeksi (SDI) yeni bir parametre olarak önerilmiştir. SDI ile geleneksel olarak kullanılan Topografik Nemlilik İndeksi (TWI) karşılaştırılmış ve SDI ile üretilen heyelan duyarlılık haritasının daha gerçekçi sonuç verdiği sonucuna varılmıştır. Aylık ortalama meteorolojik veriyi kullanarak, aylık heyelan duyarlılığı haritalarını oluşturan yeni bir yöntem önermiştir.

Arca (2015) Çok Kriterli Karar Analizi (ÇKKA) ve Benzerlik Oranı (BO) yöntemleri kullanarak heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Üretilen haritalar heyelan envanteri haritası ile karşılaştırılmış ve ÇKKA ile üretilen heyelan duyarlılık haritalarının BO ile üretilenlere göre iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Analitik hiyerarşi süreci (AHP) ile risk duyarlılık haritası üretmiştir. Risk duyarlılık haritasının doğruluğu tespit etmek amacıyla TerraSAR-X verisiyle heyelan envanter haritası karşılaştırmıştır. Duyarlılık haritalarında yüksek doğruluk oranına ulaşıldığını belirtmiştir.

Kalender (2017) kaynak alan haritası ve SYM kullanan konik yayılım yaklaşımıyla kaya düşmesi modelleri oluşturmuştur. Kayaların ulaşabileceği en uzak mesafeyi belirlemeye yönelik Maksimum Menzil Puanı önermiştir. Ayrıca kaya düşmesi tehlike puanlaması önermiştir. Konik yayılım yaklaşımında kullanılan gölge açısı ve enerji çizgisi parametrelerinin seçimindeki geniş aralığın bir miktar inmesini amaçlamıştır. İHA kullanarak arazinin SYM'si, CONEFALL programı kullanılarak kaya düşmesi yayılım zonları oluşturmuştur. CBS ortamında enerji çizgi açısına karşılık kayaların yayılım zonu içerisinde kalan yüzde değerlerini hesaplamıştır.

Biçer (2017) Lojistik Regresyon (LR), frekans oranı (FR) ve AHP yöntemleri ile heyelan duyarlılık haritaları üretmiştir. Relative Operating Characteristics (ROC) yöntemi ile performans değerlendirmesi yapmıştır. Area Under Curve (AUC) değerinin en yüksek hesaplandığı FR yöntemi ile üretilen heyelan duyarlılık haritasını, tehlike analizlerinde girdi olarak kullanmıştır ve risk haritasını üretmiştir.

Şahin (2017) heyelan duyarlılık haritası üretiminde Ki-kare, Fisher, Gini indeksi ve rastgele orman gibi seçim algoritmaları kullanarak, optimum faktör sayısına sahip modeli bulmayı amaçlamıştır. Oluşturulan modellerin performansları McNemar's testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Heyelan duyarlılık haritasında çok sayıda faktörü kullanmak yerine az sayıda faktörün kullanılmasının daha doğru olacağını belirtmiştir.

Zeybek (2017) İHA, YLT ve MLT verileri kullanarak heyelan bölgesini modellemiştir. Yüksek çözünürlüklü nokta bulutlarına filtreleme ve enterpolasyon işlemlerini uygulamıştır. 3B deformasyon analizi yapılmıştır. Heyelan sonucu kayan malzemenin hacmini, yönünü ve deplasman miktarını R programlama dilinde belirlemiştir. Nokta bulutlarının heyelan tespiti ve izlenmesindeki avantajlarını ve dezavantajlarını araştırmıştır.

Cihangir (2018) heyelanların oluşum sebeplerini jeomorfolojik açıdan değerlendirmiştir. Çalışmada stereo hava fotoğrafları, jeoloji haritaları, toprak haritaları, uydu görüntüleri, Google Earth görüntüleri ve meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışma alanında tespit edilen 462 adet heyelanın envanter haritası oluşturulmuş, heyelanların karakteristik ve zamansal dağılım özellikleri belirlenmiştir. Modifiye edilmiş Analitik Hiyerarşi Süreci (M-AHP) yöntemine zarar görebilirlik dereceleri araştırılmıştır.

Çömert (2018) Karadeniz Bölgesi'ndeki heyelan bölgelerinde İHA kullanmış ve sık heyelan yerlerini belirlemiştir. İHA'dan elde edilen verilere nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılarak heyelan bölgelerinin haritalanmasına yönelik modeller geliştirilmiştir. Geliştirilen modellere doğruluk analizi uygulanmış ve başarısı test edilmiştir. Uzman tarafından üretilen harita ile modelden üretilen harita büyük oranda uyum sağlamıştır.

Eker (2018) heyelan bölgelerinde uzaktan algılama tekniklerinden İHA, Lidar, uydu ve optik sayısal fotogrametri yöntemlerini kullanmıştır. Farklı zamanlarda alınan nokta bulutlarından DEM farkları ve M3C2 yöntemi kullanılarak heyelan izleme çalışması yapılmıştır. Ayrıca deformasyon izlemek için Persistent Scatterer Interferometry (PSI) ve Small Baseline Subset (SBAS) çalışması yapmıştır.

Çapar 2018 RocFall programı ve N-TEK yazılımı arasındaki benzerlikler ve farklılıkları araştırmıştır. Her iki programı da kullanarak geriye dönük analizler yapmış ve normal ve teğet geri sıçrama katsayıları belirlenmiştir. Cloud Compare programı kullanarak kayaların hacimlerini belirlemiştir. Kaya düşmesine karşı alınabilecek önlemler detaylıca anlatılmıştır.

Kaçka (2019) Kuzey Anadolu Fayı etkisinde bulunan Kocaeli İli'ndeki 38 adet heyelanın statik ve dinamik koşullarda sismik deformasyon analizleri yapılmıştır. Arazide Heyelanların kayma yüzeyini belirlemek, yeraltı suyu seviyesini ölçmek, kayan malzemenin ve kayma yüzeyindeki zeminin türünü incelemek amacı ile araştırma çukurları açılmıştır. İvme zaman kayıtları incelenerek sismik deformasyon miktarları belirlenmiştir. Ayrıca heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Janbu yöntemine göre şev duyarlılık analizi yapılmıştır.

Tekin (2019) Mersin Göksu Nehri Havzası'nda MaxEnt yöntemi kullanarak kaya düşmesi duyarlılık haritası oluşturmuştur. Bölgenin jeomorfometrik analizi ve kaya düşmesi tehlikesi değerlendirmeleri yapılmıştır. Duyarlılık değerlendirmeleri Yapay sinir Ağacı (YSA), Karar Ağacı ve Mantıksal Regresyon yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Gelecekte heyelanın nerede olabileceği değerlendirilmiştir. Yağış-frekans analizleri ve ekstrem yağışların tekrarlanma aralıkları hesaplanarak heyelanların zamansal olabilirlik parametresi belirlenmiştir.

Uçar (2020) heyelan bölgelerinde zaman atlamalı elektrik öz direnç görüntüleme yöntemi uygulamıştır. Araziden veri alma işlemi 5 ay boyunca sürmüş ve zaman içerisindeki değişim modellenmiştir. Heyelanın kayma yönü ve miktarı belirlenmiştir.

Akın (2020) jeofizik yöntemlerden MASW ve mikrotremör kullanmış ve jeoteknik sondaj verileri ile zemin sınıflaması yapmışlardır. Nakamura ve Rayleigh Love yöntemleri kullanmışlardır.

Zemin kayma gerilmesi, zemin baskın periyodu, kesme dalgası hızları, zemin büyütmesi ve ana kaya derinliği belirlenmiştir.

Taşkanat (2020) Kayseri İli Özvatan İlçesi için heyelan duyarlılık haritası üretmiştir. Yapay sinir ağı (YSA) modelinin performansının artırılması için hangi algoritmaların kullanılması gerektiği araştırılmıştır. 13 faktör kullanılarak oluşturulan duyarlılık haritasının istatistiksel hesap ile doğruluğu belirlenmiş ve yapay zekâ yöntemlerinin etkinliği araştırılmıştır.

Yüreğir (2021) bir barajın yamaçlarında meydana gelen kütle hareketlerini incelemiştir. Heyelan sonucu oluşabilecek itki dalgalarını laboratuvar deneyleri ve sismik çalışmaların sonuçları kullanılarak iki boyutlu nümerik analizlerle modellenmiştir. Rezervuara akacak malzeme kalınlığı ve itki dalgalarının yayılımı araştırılmıştır.

Alizadeh (2021) kaya düşmesi tehlikesi görülen bölgede yersel lazer tarayıcı kullanarak araziye modellemiştir. DSE algoritmasını kullanarak süreksizlik takımlarını çıkartmış ve laboratuvar deneyleri ile kayaların mekanik özelliklerini tespit etmiştir. Rocfall programında 2B, Rockfall Analyst programında 3B kinematik analiz yaparak kaya kütlelerinin kinetik enerjilerini ve ilerleme mesafeleri belirlenmiştir. Kaya düşmesine karşı alınabilecek önerilerde bulunmuştur. Ayrıca, Lojistik Regresyon analizi ile kaya düşmesi duyarlılık haritası üretilmiştir. Topografik haritaları kullanarak DEM, eğim ve bakı haritaları üretmiştir.

Başalan (2022) heyelan duyarlılık haritası üretmek için Derin Öğrenme (DÖ), Frekans Oranı (FO) ve Lojistik Regresyon (LR) yöntemlerini kullanmıştır. Üretilen haritaların doğruluğunu test etmek için Göreceli Çalışma Karakteristiği ve Area Under Curve değerlerini belirlemiştir. DÖ ile üretilen duyarlılık haritasının en güvenilir harita olduğunu belirtmiştir.

2.5.2. Jeoloji Çalışmaları

Yılmaz (2004) Alp-Orojenik Kuşağı'nın Türkiye'deki önemli bir kolu olan Toros Dağları'nın Doğu Toroslar kısmının Prekambriyen-Kuvaterner dönemleri arasındaki geçirmiş olduğu jeolojik evrimi incelemiştir. Çalışma alanındaki deformasyon gelişiminin belirlenebilmesi için ince kesitlerden elde edilen bulgular kullanılarak gül ve kontur diyagramları hazırlanmıştır. Bölgenin yapısal jeolojik özelliklerinin ortaya çıkartılması amacıyla 3-Boyutlu morfolojik yapı oluşturulmuştur. Bölgede bulunan fay hatlarının özelliklerini çalışmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen sedimantolojik ve tektonik bulgular sayesinde çalışma alanının havza gelişim modelleri ve bölgenin tektonik tarihçesi ortaya konulmuştur.

Görücü (2011) Orta Toroslar'ın stratigrafik, sedimantolojik ve tektonik verilerini değerlendirerek bölgenin jeolojik evrimini incelemiştir. Bölgenin tektonik yapısını 3 etkenin belirlediğini belirtmiştir. Bunlar; Neo-Tetis Okyanusu'nun güney kolunun kapanması, kapalı bir iç denizel havzanın oluşması ve bölgesel sıkışma sebebiyle bu iç denizin kapanmasıdır. Çalışmasında

bölgede bulunan formasyonları detaylıca çalışmıştır. Bölgedeki karasal ve denizel çökellerin özelliklerini ve okyanus kapanmasının formasyonlar üzerindeki etkilerini araştırmıştır.

Kalelioglu (2013), Landsat ve Aster uydu görüntülerini kullanarak Mersin İli Erdemli İlçesi'nin tektono-stratigrafik özelliklerini ortaya çıkartmıştır. Uydu görüntülerine zenginleştirme işlemi uygulamış ve uygun bant kombinasyonları seçerek bölgenin jeoloji haritasını oluşturmuş ve jeolojik birimleri ayırt etmiştir. Uydu görüntülerine temel bileşenler analizi uygulayarak arazideki çizgiselliği belirlemiştir. Çizgisellik analizinden elde edilen antitetik ve sentetik fay çiftleri arasındaki açı, teorik modellerle uyumluluk göstermiştir.

Dokuz (2015) Göksu Deltası'nın hidrojeolojik modelini oluşturmak için bölgede jeolojik ve hidrojeolojik incelemelerde bulunmuş ayrıca sondaj çalışmaları gerçekleştirmiştir. MODFLOW programında yer altı akım modelini oluşturmuştur. Deltanın kireçtaşı akiferinden ve Göksu Nehri'nden beslendiğini belirtmiştir. Bölgede yeraltı suyu kirliliği olduğunu belirtmiştir.

Usta (2016) Anamur ve civarında bulunan kaya birimlerini incelemiştir. Kayaların petrografik özellikleri belirlenmiştir. Bölgenin Pre-Kambriyen'den günümüze kadar geçirmiş olduğu jeolojik evrimi çalışmıştır. Formasyonların özelliklerini detaylıca açıklamıştır. Bölgede bulunan kuvarsit ve dolomit yataklarının rezervlerini belirlemiştir.

Aldemir (2016) Seyhan ve Ceyhan Havzaları'nın hidrojeolojisini çalışmıştır. Bölgedeki akarsular hidrojeolojik olarak sınıflandırılmış ve akifer özellikleri belirlenmiştir. Bu işlem için jeofizik verilerden ve kimyasal analizlerden faydalanılmıştır, su kimyası haritaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada Seyhan ve Ceyhan nehirlerinden gelen alüvyonlardan oluşmuş olan Çukurova'nın yer altı suyu akım yönleri araştırılmış, akifer sisteminin beslenme-boşalma ilişkileri belirlenmiş ve yeraltı suyunun içme, kullanma ve sulama özellikleri araştırılmıştır. Yeraltı sularında kirlilik, tuzluluk ve ağır metal içeriği olduğu tespit edilmiştir.

Keçeli (2016) Mersin İli'nin kuzeybatısında yer alan, Geç Kretase döneminde oluşmuş olan Mersin Melanjı'nı çalışmıştır. Bölgeden stratigrafik kesitler ve numuneler alarak formasyonların paleontolojik özelliklerini araştırmıştır. Melanjın sedimanter özellikte olduğunu ve çamurtaşı, kumtaşı, ofiyolit parçaları ve volkanik ürünlerden oluştuğunu belirtmiştir.

Siler (2016) Orta Toroslar kesiminde bulunan Anamur ve çevresinde karst oluşum sebeplerini araştırmıştır. Bölgenin stratigrafisini ve tektonik yapısını incelemiştir. Çalışma alanının jeolojik evrimini açıklamıştır. Araziden alınan örneklerle XRF, XRD analizleri yapılmış ve fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Karstlaşma üzerine etkisi olan jeoloji, jeomorfoloji, iklim, hidrografiya, bitki örtüsü-toprak ve zaman faktörlerinin etkilerini incelemiştir.

Gürler (2017) Orta Toroslar'da bulunan Mut Havzası'nın stratigrafisini çalışmıştır. Miyosen denizel transgresyonuna bağlı olarak gelişmiş büyük bir karbonat platformunun parçası olan Dağpazarı Resif Sistemi'nde yapılan stratigrafik kesitler ve alınan örnekler sayesinde bölgenin modellenmesi yapılmıştır. Çalışma alanında 10 farklı fasiyes tanımlamıştır. Bulunan sonuçlar ile Langiyen dönemi

sürecinde Akdeniz ile Atlantik, Kızıldeniz, İran Körfezi ve Paratetis arasında deniz yolu bağlantıları olduğunu belirtmiştir.

Taraf (2017) Neojen yaşlı Adana Baseni'nin kuzey kesimlerinde bulunan Karaisalı Formasyonu' na ait karbonatlı kayaları incelemiştir. Çalışmasında karbonatların sedimantolojik, stratigrafik ve tektonik özelliklerini araştırmıştır. Deniz suyu seviyesi değişimlerinin Adana Baseni' ne etkisini araştırmıştır. Karaisalı Formasyonu çökeliminin Akitaniyen'de başlamış ve Serravaliyen'e kadar devam ettiğini belirtmiştir.

Esirtgen (2022) Orta Toroslar'ın yapısal analizi ve tektonik evrimini açıklamıştır. Çalışma kapsamında bölgesel tektoniğe bağlı olarak gelişen yapısal deformasyonları belirlemiş, birliklerin tektono-stratigrafik ilişkilerini saptamış, birliklerle havzaların dokanak ilişkisini ortaya koymuş, bölgedeki tektonik rejimleri ortaya koymuş, bölgedeki paleotektonik-neotektonik dönemleri tespit etmiş ve birliklerin ve havza çökellerinin zaman-mekân içindeki evrimini ortaya koymuştur.

2.5.3. İHA Çalışmaları

Utlu (2019) Biga Çayı Havzası'nda taşkın tehlike analizini İHA kullanarak üretilen DEM verisi ile hazırlamıştır. Çalışmada açık erişimli DEM verisi ile İHA kullanarak üretilen DEM verisi karşılaştırılmıştır. Yüksek çözünürlüklü DEM verisinden elde edilen talkın modelinin daha yüksek doğruluk oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kesikoğlu (2020) farlı yüksekliklerden İHA görüntüleri elde etmiş ve ortofoto üretiminde yükseklik etkisini incelemiştir. 100 ve 200 metreden İHA uçuşları gerçekleştirmiş, 9-16-25 adet YKN kullanmıştır. Uçuşları birleştirmiş ve 3 farklı veri seti daha oluşturmuştur. Toplamda 9 adet veri setinin ortofoto üzerindeki etkilerini incelemiştir. İdeal ortofotonun düşük yükseklik ve ortalama sayıda YKN ile elde edilebileceğini belirtmiştir.

Akay (2021) Büyük Menderes Nehri'nin morfolojik yapısındaki değişimleri İHA ile elde edilen yüksek çözünürlüklü verileri kullanarak belirlemiştir. Sediment birikimini, kıyı çizgi değişimlerini ve erozyon olaylarını meteorolojik veriler ve İHA verilerini kullanarak modellemiştir. Hacimsel toprak değişimlerini belirlemiştir.

Doğruluk (2021) arkeolojik bir alanda İHA ile ve uydu görüntülerinden elde edilen SYM nin doğruluğunu araştırmıştır. İHA ile üretilen SYM' yi referans kabul etmiş ve uydu görüntüsünden elde ettiği SYM' nin doğruluğunu araştırmıştır.

2.5.4. Lazer Tarayıcı Çalışmaları

Gümüş (2014) bir barajdaki deformasyonları belirlemek için YLT kullanmıştır. Barajın matematiksel yüzey modeli oluşturulmuş ve yüzey eşleştirmeleri ile deformasyonlar belirlenmiştir. Farklı enterpolasyon teknikleri kullanılarak yüzey modellerinin doğrulukları araştırılmıştır.

Çelik (2017) taşkın sahasını modellemek için hava lidar verisini filtreledikten sonra arazinin SAM elde etmiştir. Lidar verisini önce filtrelemiş sonra TerraModeler programında üçgenleme işlemi ile arazinin SAM'ni elde etmiştir. SAM verisini kullanarak hidrolojik modelleme yapmıştır. Hidrolojik model, 1/25000 ölçekli haritalar ve uydu görüntülerinden elde edilen yükseklik modellerinden üretilen hidrolojik model ile karşılaştırılmıştır.

Kuçak (2021) lidar nokta bulutlarını birleştirmek için sadece XYZ koordinatlarına sahip nokta bulutunda kullanılabilecek yeni bir eşleştirme algoritması önerilmiştir. 3B Helmert Benzerlik Dönüşümü kullanarak 3B modeli hassas bir şekilde oluşturmuştur. Modelin ilk hizalamasında Gauss-Markov ve Gauss-Helmert dengeleme modelleri kullanılmıştır. Nokta bulutlarının tam olarak birleştirilmesi için İteratif En Yakın Nokta (İEYN) Algoritması kullanılmıştır. Uygun eğriliklere göre filtreleme uygulamıştır. Önediği algoritma ile daha iyi bir ortalama hata değerine ulaşmıştır.

Uray (2022) derin öğrenme algoritmaları kullanarak 3B hava lidar verisini 2B görüntüye çeviren bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ile lidar verisini sınıflandırma amaçlanmıştır. Ticari yazılımlar ile yapılan sınıflandırma ile karşılaştırılmıştır. Düz arazilerde önerilen yöntem daha yüksek doğruluğa ulaşırken, engebeli arazilerde daha düşük doğruluğa ulaşmıştır. Bitki örtüsünün sık olduğu yerlerde doğruluğu daha düşük, az olduğu yerlerde daha yüksek çıkmıştır.

2.6. İnsansız Hava Araçları (İHA)

İnsansız Hava Aracı (İHA) otonom veya planlı uçuşlar yapılan, uzaktan kontrol edilebilen araçlardır. Bir insan olmadan uçuş yapabilme özelliğinden dolayı tehlikeli bölgelerden görüntü elde etme işlerinde kullanılabilmektedir. İHA mekânsal veri elde edebilme özelliğinden dolayı harita üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır. Amacına göre pek çok İHA türü bulunmaktadır. İHA'ların ağırlık, boyut ve havada kalış süreleri farklıdır. Hafif olmaları, ekonomik olmaları ve kullanımlarının kolay olması İHA kullanımını yaygınlaştırmıştır. Görüntü işleme yazılımları ve geliştirilen algoritmalar sayesinde İHA ile çekilen resimler bilimsel çalışmalarda aktif olarak kullanılmaya başlamıştır.

İHA görüntüleri yer yüzeyinin fiziksel yapısını içeren ayrıntılı mekânsal bilgiler içermektedir. İHA ile çekilen resimlerden elde edilen SYM'lerde bulunan yükseklik ve konum bilgileri morfolojik yapıyı analiz etmek için temel araçtır (Doğruluk, 2021). Yüksek çözünürlük ve hassasiyette veri sağlayan en önemli veri kaynağı olmasından dolayı, İHA son yıllarda pek çok mühendislik projelerinde kullanılmıştır. Kullanım alanları Tablo 2.7'de listelenmiştir. İHA'ların yakın zamanda pek çok yeni kullanım alanının ortaya çıkacağı düşünülmektedir.

İHA'yı kullanacak olan kişinin İHA'yı kaza kırma uğratmaması için temel uçuş hareket bilgilerine hâkim olması gerekmektedir (Kesikoğlu, 2020). İHA uçuşlarında dikkat edilecek konular Tablo 2.8'de açıklanmaktadır.

Tablo 2.7. İHA kullanım alanları.

Kullanım alanı	Kaynak
Heyelan	Kusak vd., 2021
Kaya düşmesi	Yakar vd., 2022
Kültürel mirasın 3B modellenmesi	Kanun vd., 2022
Kültürel mirasta bozulmanın belirlenmesi	Karataş vd., 2022
Yerleşim yeri modelleme	Yılmaz vd. 2022
Kıyı kenar çizgisi belirlenmesi	Unel vd., 2020
Gölet hacmi belirlenmesi	Alptekin ve Yakar 2020
Madencilik	Park ve Choi, 2020
Tarım	Tsouros vd., 2019
Trafik denetleme	Yadav vd., 2021
Orman yangın alanı tespiti	Sudhakar vd., 2020
Volkanik aktivite tespiti	Godfrey vd., 2023

Tablo 2.8. İHA uçuşlarında dikkat edilecek konular.

Konu	Açıklama
Uçuş yüksekliği	Ne kadar alçak uçuş yapılırsa çekilecek resmin çözünürlüğü o kadar yüksek olacaktır. Kapladığı alan küçük olacağı çok resim çekmek gerekecektir. Çok resim çekerek bilgisayarda modelleme işlemini yaparken zorluk çekilecektir.
Yağmur tehlikesi	Herhangi bir yağmur riski var ise uçuş yapılmamalıdır. Yağmur suyu İHA'nın elektronik aksamına zarar verecektir.
Rüzgâr hızı	Her İHA'nın rüzgâra karşı direnci farklıdır. Kullanım kılavuzuna bakılmalıdır. Uygun uçuş koşulları için cep telefonu uygulamaları mevcuttur.
Kot farkları	Planlı uçuş yaparken, uçuş planı hazırlarken çevredeki yapılar ile İHA'nın kalkış yaptığı nokta arasındaki kot farklarına dikkat edilmelidir. Özellikle ağaçların yükseklikleri tehlike oluşturmaktadır.
Kuş saldırıları	Planlı uçuş yaparken İHA sürekli izlenmelidir. Herhangi bir kuş saldırısında görev sonlandırılmalıdır.
İnternet bağlantı sorunu	Bir internet sorununda İHA ile olan bağlantı kopabilir. Bu durumda İHA'nın düşme tehlikesi vardır.

İHA ile 2B çekilen resimler Structure from Motion (SfM) algoritması kullanılarak bileştirilir ve 3B model oluşturulur. SfM algoritmasında ardışık resimlerin ortak noktaları kullanarak model oluşturulur. Yoğun nokta bulutu araziye daha detaylı temsil edeceği için, daha kaliteli ortofotolar üretilir. Bilgisayar teknolojisinin hızlı gelişmesi sonucunda İHA fotogrametrisinde 3B modelleme yapabilen pek çok program geliştirilmiştir. Bunlardan sık kullanılanları Tablo 2.9'da gösterilmiştir.

Tablo 2.9. İHA ile 3B modelleme yapabilen programlar.

Program	Türü	Kaynak
MicMac	Açık kaynak kodlu	Saunders vd. 2014
Agisoft Metashape	Ticari	Alptekin vd. 2019
Pix4d Mapper	Ticari	Elkhrachy, 2021
ContextCapture	Ticari	Aicardi vd. 2016
Sketch Up	Ticari	Domingo vd., 2018

2.7. Lazer Tarayıcılar

Lazer tarayıcılar saniyede milyonlarca nokta atabilme özelliğine sahiptirler. Objeye çarpıp geri dönen noktalar tarayıcıda kaydedilir. Bu noktalarda objenin geometrik bilgileri ve objenin sahip olduğu renk bilgisi mevcuttur. Tarayıcının kurulacağı noktalar seçilirken taranacak bölgeyi yansıtacak en uygun yerler seçilmektedir. Farklı açılardan taramalar yapılır, her bir tarama bir önceki tarama ile ortak noktalara sahip olmalıdır.

Lazer tarayıcı tripod üzerine yerleştirilir ve tripoda monte edilmiş olan düzeç ayarlanır. Kurulum noktası seçilirken tarama yapılacak alanın yatayda ve düşeyde görüş alanı belirlenir. Tripod üzerine kurulan tarayıcı 360° dönebilme özelliğine sahiptir. İstenildiği takdirde bu açı değiştirilebilir, bu durum tarama süresinin azaltılmasına fayda sağlayacaktır. Gereksiz bölgelerin taranması ile vakit kaybedilmemiş olacaktır.

Taranacak yüzeydeki nokta bulutu yoğunluğu tercih edilen çözünürlük ayarı ile belirlenebilir. Yüksek çözünürlüğün seçilmesi tarama süresini uzatacaktır. Farklı taramaları birleştirebilmek için taramalarda kesişen ortak alanlar olmalıdır.

Objenin farklı açılarında yapılan taramalar bilgisayar ortamında birleştirilir ve 3B model ortaya çıkartılır. Birleştirme işlemi hedefler kullanarak birleştirme ve nokta bulutlarını çakıştırarak birleştirme olmak üzere 2 şekilde yapılabilmektedir. Modelden en kesitler alınarak ortofoto hazırlanmış olunur.

Tarayıcı ile obje arasındaki mesafe arttıkça alınacak verinin kalitesi düşecektir. Tarayıcı tripod üzerine güvenli bir şekilde kurulduktan sonra tripod üzerinde bulunan düzeç ayarlanmalıdır. Uygun çözünürlük ve doğruluk belirlendikten sonra tarama işlemi başlatılmalıdır. İstenilen çözünürlük ve doğruluk arttıkça taramanın süresi artacaktır.

Lazer tarayıcılar obje modelleme, kültürel miras belgelenmesi, mimari planlama, deformasyon ölçümleri, tersine mühendislik ve sanal gerçeklik uygulamaları gibi pek çok alanda kullanılmaktadır (Tablo 2.10).

Tablo 2.10. Lazer tarayıcı kullanım alanları.

Kullanım alanı	Kaynak
Arkeolojik araştırmalar	Albrecht vd., 2019
Ulaşım ve alt yapı çalışmaları	Gargoum ve El Basyouny, 2019
Mimari uygulamaları	VanValkenburgh vd. 2020
Kıyı uygulamaları	Wang vd. 2023
Tünel araştırmaları	Kim ve Choi, 2021
Enerji hatları	Ortega vd. 2019
Arazi hacmi tespiti	Brecheisen ve Richter 2021
Obruk çalışmaları	Filin vd., 2011; Benito-Calvo, 2018
Tektonik çalışmalar	Glennie vd., 2014; Cunningham vd., 2006
Kıyı izleme	Arshad vd., 2021; O'Dea vd., 2019
Akarsu erozyonu	Cavalli vd., 2008; Perroy vd., 2010
Hidrojeoloji	Çelik vd., 2014; Büyüksalih ve Gazioğlu, 2019

Nesnelerin detaylıca görüntülenebilmesi için farklı taramaların birleştirilmesi gerekmektedir. Nokta bulutlarını birleştirme harita, jeoloji, inşaat ve mimarlık disiplinlerinin son yıllarda sıklıkla kullandıkları bir işlemdir. Bu yüzden pek çok program geliştirmişlerdirler (Tablo 2.11).

Tablo 2.11. Lazer tarama verilerini işleyen yazılımlar (Polat ve Uysal, 2016).

Ücretli yazılımlar	Ücretsiz yazılımlar
VRMesh Survey	LViz
Makai Voyager	Points2Grid Utility
LIDAR Analyst	GRASS GIS
ENVI LiDAR	BCAL LiDAR Tools
LP360	River Bathymetry Toolkit (RBT)
LiForest	SAGA GIS
Global Mapper / LiDAR Module	DielmoOpenLidar
Tiffs	MCC-LIDAR
ArcGIS	Point Cloud Library (PCL)
QTModeler	CloudCompare
TerraScan	Whitebox
SCENE	ToPCAT
	PointCloudViz
	lidar2dems
	FUSION
	Points2Grid
	ALDPAT

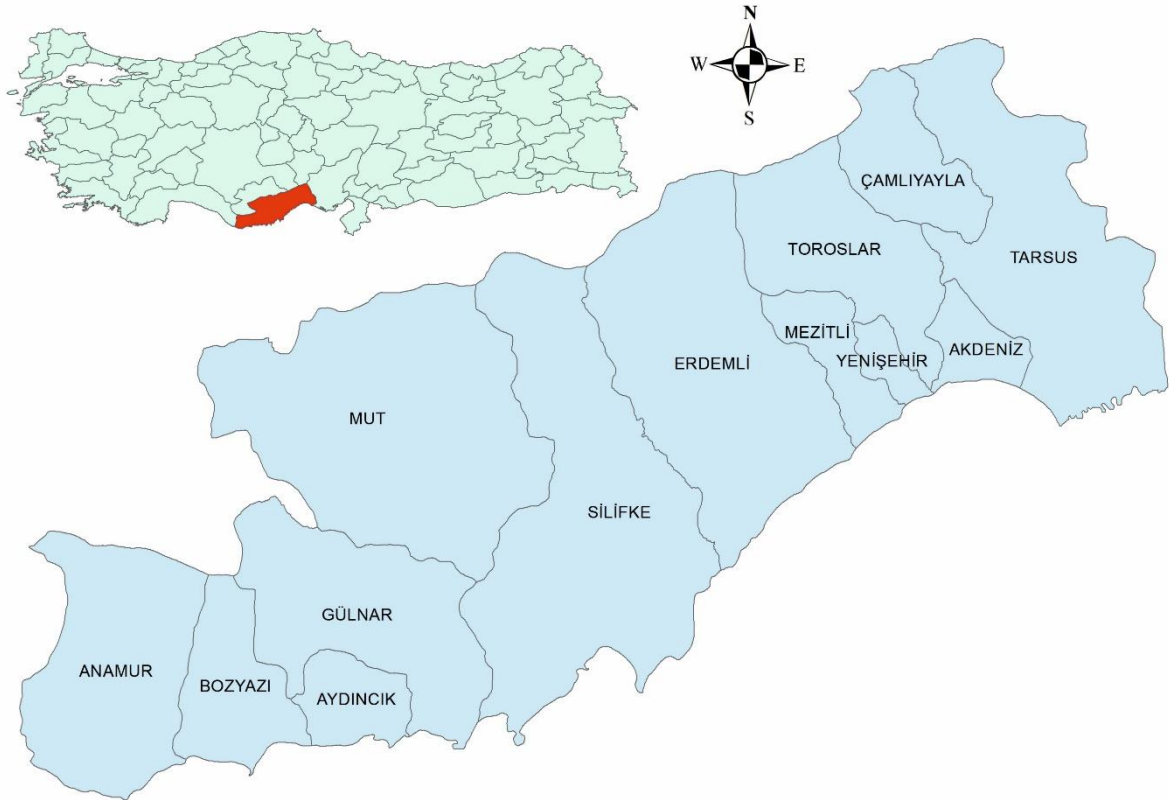
Mobil, giyilebilir, hava ve yersel olmak üzere 4 çeşit lazer tarayıcı bulunmaktadır. Mobil lazer tarayıcı bir araca monte edilebilir ve araç hareket halindeyken veri alabilmektedir. Giyilebilir lazer tarayıcı bir insan tarafından giyilebilir ve yürüdükçe veri alma işlemi gerçekleştirilir. Hava lazer tarayıcı bir İHA veya helikoptere monte edilerek havadan tarama işlemi yapılabilmektedir. Yersel lazer tarayıcı zeminde uygun bir yere monte edilir ve tarama işlemi gerçekleştirilir.

Birleştirme işleminde öncelikle gereksiz noktalar temizlenir. Bunlar çevredeki diğer objelerden elde edilen çalışma için gereksiz olan noktalardır. Bu noktalar nokta bulutu kümesinden temizlenmelidir. Bu durum veri setinin hacminin azaltılmasına ve birleştirme işleminin daha kolay yapılmasına olanak sağlamaktadır. Lazer tarama verileri ile çalışmalar yapılabilen ücretli ve ücretsiz yazılım bulunmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

Mersin şehri Akdeniz ile Toros Dağları arasında bulunan bir liman kentidir (Şekil 3.1). Şehirde yerleşim genellikle sahil boyunca kurulmuştur. Bunun sebepleri, düz bir topografyaya sahip olması, deniz kıyısında olması ve Toros Dağları'nın soğuk etkisinin fazla hissedilmemesidir. Bu durum ulaşımın kolay olmasını ve tarımsal faaliyetlerin rahatlıkla yapılabilmesini sağlamıştır. Kış aylarında ısınmak için çok masraf harcanmaması şehrin nüfusunun artmasına sebep olmuştur. Nüfus artışı ile birlikte yerleşim mecburen şehrin kuzeyinde yer alan engebeli arazilere kaymıştır. Bu durum çeşitli mühendislik sorunlarının oluşmasına sebep olmuştur. Gerekli jeoteknik araştırmalar yapılmadan binaların inşa edilmesi doğal afetlere davetiye çıkartmıştır. Oluşan afetler can ve mal kaybına neden olmaktadır. Bu durum insanların ekonomilerine ciddi zararlar vermekte ve psikolojilerini bozmaktadır.



Şekil 3.1. Mersin İli'nin ve ilçelerinin lokasyon haritası.

Mersin İli tipik Akdeniz iklimi etkisinde bulunmaktadır ve ilin ekonomik yapısı genellikle tarıma, turizme ve deniz ticaretine dayanmaktadır (Alptekin ve Yakar, 2021). Yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağmurlu geçmektedir. Mersin pek çok medeniyete ev sahipliği yapmıştır (Alptekin ve

Yakar, 2020). Bu medeniyetler pek çok arkeolojik eser ve jeolojik miras bırakmıştır. Pek çok tarihi eser bozulmadan günümüze kadar ayakta kalabilmiştir.

Mersin, Orta Torosların güney kesiminde bulunmaktadır. Mersin'in güney kesimleri yılın her günü arazi çalışması yapmaya müsaitken, kuzey kesimleri oldukça engebeli bir yapıya sahiptir ve Aralık-Şubat aylarında karla kaplı olduğu için arazi çalışmasına uygun değildir. Kuzeye doğru yükselti artmaktadır, buna bağlı olarak yağış ve sıcaklık koşulları değişmektedir.

Çalışma alanı önemli tektonik yapıların geliştiği bir bölgedir. Bu durum şehrin karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olmasına sebep olmuştur.

3.2. Türkiye Jeolojisi

Türkiye tektonik açıdan Dünya'nın en aktif bölgelerindendir. Kaledoniyen, Hersiniyen ve Alpin orojenik hareketleri görülmüştür. Rodop-Pontid Kıtası, Sakarya Kıtası, Menderes-Toros Bloğu, Kırşehir Bloğu ve bunların arasında kalan kenet kuşakları, Türkiye'nin başlıca paleotektonik unsurlarıdır (Yılmaz, 2004; Göncüoğlu, 2010). Doğu Anadolu Fay Zonu, Kuzey Anadolu Fay Zonu, Batı Anadolu Fay Zonu ve Ecemiş Fay Zonu başta olmak üzere pek çok aktif fay hattı bulunmaktadır.

Türkiye güneyde Gondwana kuzeyde ise Laurasia mega kıtaları arasında yer almaktadır ve bu iki mega kıtaların birbirleriyle çarpışması sonucu çok sayıda kıta parçasının birbirine karışması sonucu çok sayıda farklı özelliklere sahip katman oluşmuştur (Göncüoğlu, 2010).

Türkiye, kabaca kuzeyden güneye doğru, Pontidler, Anatolidler, Toridler ve kenar kıvrımları olmak üzere dört ana kuşaktan oluşmaktadır (Ketin, 1966). Türkiye'nin güneyinde yer alan Torid Bloğu Geç Permiyen-Erken Mesozoyik'te Neotetis'in güney kolunun açılmasıyla Gondwana süper kıtasından ayrılmıştır (Akal et al. 2011). Torid Bloğu birçok nap yapısından veya tektono-stratigrafik birimden oluşmaktadır (Özgül, 1976).

Türkiye jeolojisi Tetis okyanusunun evrimi ile yakından ilgilidir (Okay, 2008). Tetis'in Silüriyen döneminde açılıp, Trias sonunda kapanan bölümüne Paleotetis, Trias'dan sonra açılıp kapanan bölümüne ise Neotetis denilmektedir. Geç Kretase Dönemi'ne kadar hakimiyetini sürdüren Neotetis Okyanusu Geç Eosen Dönemi'nde yavaş yavaş kapanmaya başlamış Avrupa ve Anadolu yükselerek kara halini almaya başlamıştır (Dokuz, 2019). Oligosen Dönemi'nde Anadolu Levhası'nın kara halini alan alanlarının yüz ölçümü gittikçe artmaya başlamış, Neotetis okyanusunun güney kolu yerini bugünkü Akdeniz'e bırakmaya başlamıştır (Dokuz, 2019). Erken-Geç Eosen'de Neotetis okyanusunun kuzey kolu, Geç Oligosen' de ise güney kolu kapanmıştır (Yılmaz, 2004).

Eosen Dönemi'nden itibaren Avrasya ve Afrika-Arap levhaları çarpışmaya başlamış ve Oligosen Dönemi'nde bu çarpışmanın sonucu olarak önemli dağ oluşumları gerçekleşmiştir (Alpin Orojenezi) (Dokuz, 2019). Geç Oligosen Dönemi'nde çarpışmanın neden olduğu yükselmeler oldukça artmış Pireneler, Alpler ve Himalayalar gibi dağ kuşakları oluşmaya başlamıştır (Dokuz, 2019).

Eosen Dönemi'nde Anadolu Levhası'nın orta kısımları, Trakya Havzası ve Pontidler ile Anatolidler'in bir bölümü kara halinde iken batı ve doğu kesimleri denizel koşulların etkisi altındadır (Dokuz, 2019).

Miyosen-Pliyosen zaman dilimi Anadolu'da Paleotektonik dönemin tamamlanıp Neotektonik dönemin başladığı ve jeolojik olayların etkin şekilde devam ettiği dönemdir (Dündar, 2020).

Erken Karbonifer-Geç Permiyen aralığı, Doğu Toroslar'da Paleozoyik döneminin ilk önemli tektonik deformasyon evrelerinden birini (Hersiniyen Orojenezi) oluşturmaktadır (Yılmaz, 2004).

Orta Miyosen' de önemli tektonik yapılar gelişmiştir. Miyosen sonunda Akdeniz tamamen kurumıştır (Hardie ve Lowenstein, 2004) havza tamamen kapanmış ve kara halini almıştır (Görücü, 2011). Bugünkü denizin tabanında kalın evaporitler çökelmiştir (Dündar, 2020).

3.2.1. Toroslar

Toros Dağları, Türkiye'nin güneyinde doğu-batı yönünde Akdeniz'e paralel uzanmaktadır (Esirtgen ve Işık, 2021) ve Alp-Himalaya orojenik kuşağı içerisinde yer almaktadır. Toros Dağları Batı, Doğu ve Orta Toroslar olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Mersin, batıda Kırkkavak Fayı ile doğuda Ecemiş Fayı arasında bulunan Orta Toroslar kesiminde bulunmaktadır. Mersin İli tektonik açıdan aktiftir (Kartal vd., 2014).

Torosların jeolojik serüveni, Prekambriyen'de Gondwana kıtasının kuzey kenarında başlamıştır. Toroslar Prekambriyen zamanından günümüze kadar her döneme ait izleri içerisinde barındırmaktadır (Yılmaz, 2004). Bölgede etkin tektonizma görünmüştür ve bölge magmatik olaylara tanıklık etmiştir. Bu bakımdan yerkürenin geçirmiş olduğu jeolojik evrimin anlaşılmasına çok büyük katkı sağlamaktadır.

Toroslar birbirine tektonik dokanaklı olan 7 adet birlikten oluşmaktadır (Tablo 3.1.). Toroslar sedimentar kayaların oluşturduğu nap sistemlerinden meydana gelmektedir. Toros Dağları eteklerinin çok yağış alması ve yüksek eğime sahip olması doğal afet tehlikesi oluşturmaktadır.

Tablo 3.1. Toroslarda bulunan birliklerin yaşları (Özgül, 1976; Özgül ve Kozlu, 2002).

Birlik	Yaş
Alanya Birliği	Permiyen-Alt Tersiyer
Aladağ Birliği	Üst Devoniyen-Mastrihtiyen
Geyikdağı Birliği	Kambriyen-Lütesiyen
Antalya Birliği	Kambriyen-Üst Kretase
Bozkır Birliği	Permiyen-Üst Kretase
Bolkardağ Birliği	Devoniyen-Alt Tersiyer
Görbiyes Dağı Birliği	Jurasik-Geç Kretase

3.2.2. Tektonizma

Aladağlar ile Niğde Masifi arasında yer alan Ecemiş Çayı, önemli aktif fay hatlarından olan Ecemiş Fay Zonuna (EFZ) ismini vermiştir. Kayseri’den Mersin’e kadar uzanmakta olan sol yanal atımlı ve yaklaşık 300 km uzunlukta olan EFZ, Orta Anadolu’nun en önemli neotektonik unsurlarındandır (Erdağ vd., 2009). EFZ Ecemiş, Cevizlik, Pınarbaşı, Çukurbağ, Emliboğazı ve Elekgölü faylarından oluşmaktadır (Korkanç, 1998). EFZ, bölgedeki havza gelişimini ve bölgenin jeomorfolojisini kontrol etmektedir (Ballı vd., 2018).

Bölgede büyüklüğü az olan depremler sıklıkla gerçekleşmektedir. Ayrıca, Kuvaterner yaşlı alüvyon birimlerin ve akarsu ağı gelişiminin EFZ tarafından etkilenmiş olması fay hattının aktivitesinin devam ettiğini göstermektedir (Korkanç, 1998, Altın 2008). Bu durum fay hattı üzerindeki sismik aktivitenin varlığını ve bölgenin tektonik açıdan aktif olduğunu göstermektedir (Gümüş, 2015; Kartal vd., 2014).

3.2.3. Hidrojeolojik Koşullar

Bir bölgenin aldığı yağış miktarı ve yakından geçen akarsuların toprağı aşındırması heyelan olayında en büyük etkidir. Mersin’de görülen heyelan olayları bu iki etkene dayanmaktadır. Nem içeriği yüksek olan yamaçlar heyelana karşı daha duyarlıdır. Son yıllarda yağış rejimi değişimi ve akarsuyun toprağı aşındırmasına karşı pek bir önlem alınmaması heyelan olaylarının daha çok görülmesine sebep olmuştur. İklim değişikliği ile birlikte aylık toplam yağışlar birkaç gün içerisinde yağmaktadır. Bu durum kütle hareketlerine sebep olmaktadır.

Heyelanın başlaması için bir yağış eşiği değeri bulunmaktadır. Her bölgenin jeolojik özellikleri ve kullanım amacı farklıdır. Bu yüzden yağış eşiği değeri her bölgede farklıdır. Bu değeri belirlemek için her bölgede meteorolojik verileri kullanarak bu değerin elde edilmesi gerekmektedir.

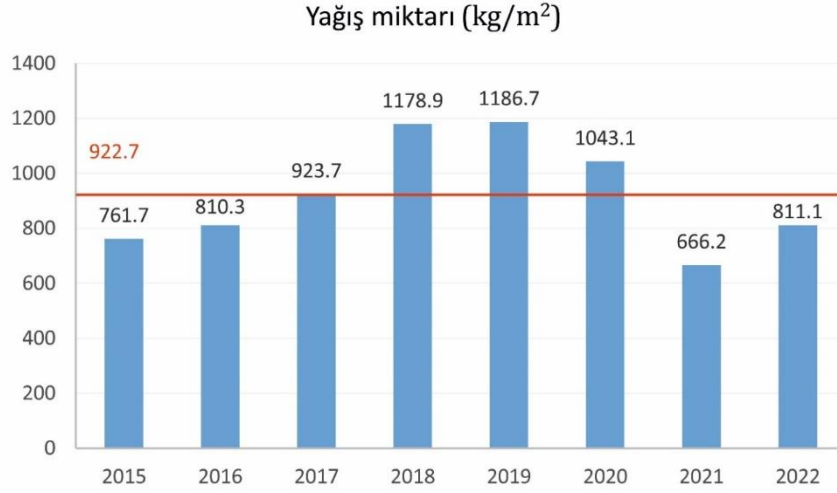
Çalışma alanlarına en yakın konumda bulunan Kızılbağ meteoroloji istasyonunun 2015-2022 arası yıllık yağış verileri Mersin Meteoroloji İl Müdürlüğü’nden temin edilmiştir ve Şekil 3.2.’de gösterilmektedir. Sekiz yıllık ortalama yağış miktarı 922.7 kg/m^2 ’dir.

Kızılbağ istasyonunda 2019 yılına ait toplam yağış miktarı 1186.7 kg/m^2 kadar olup ortalama aylık yağış miktarı 98.89 kg/m^2 (Şekil 3.3.).

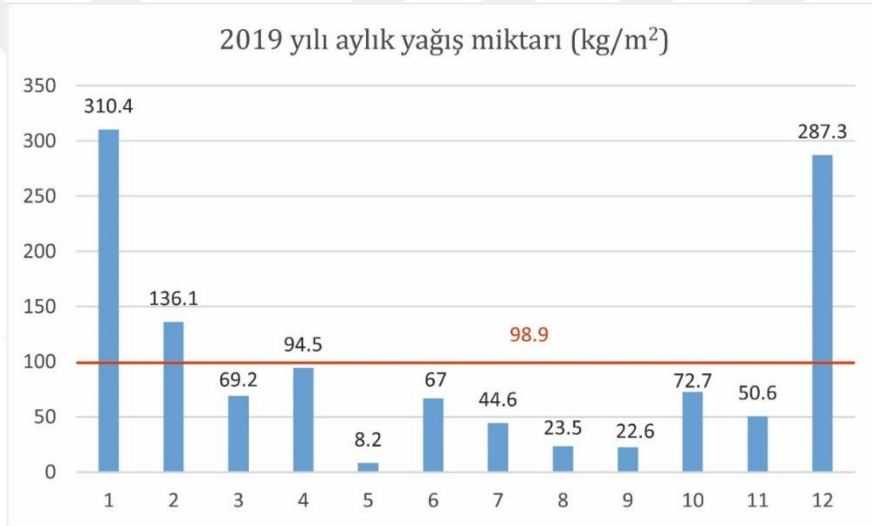
Kızılbağ istasyonunun 2020 yılı toplam yağış miktarı 1043.1 kg/m^2 kadar olup ortalama aylık yağış miktarı 94.8 kg/m^2 (Şekil 3.4.)’te gösterilmektedir.

Kızılbağ istasyonunda 2021 yılına ait toplam yağış miktarı 666.2 kg/m^2 kadar olup ortalama aylık yağış miktarı 55.5 kg/m^2 (Şekil 3.5.).

Kızılbağ istasyonunda 2022 yılına ait toplam yağış miktarı 811.1 kg/m^2 kadar olup ortalama aylık yağış miktarı 67.6 kg/m^2 (Şekil 3.6.).



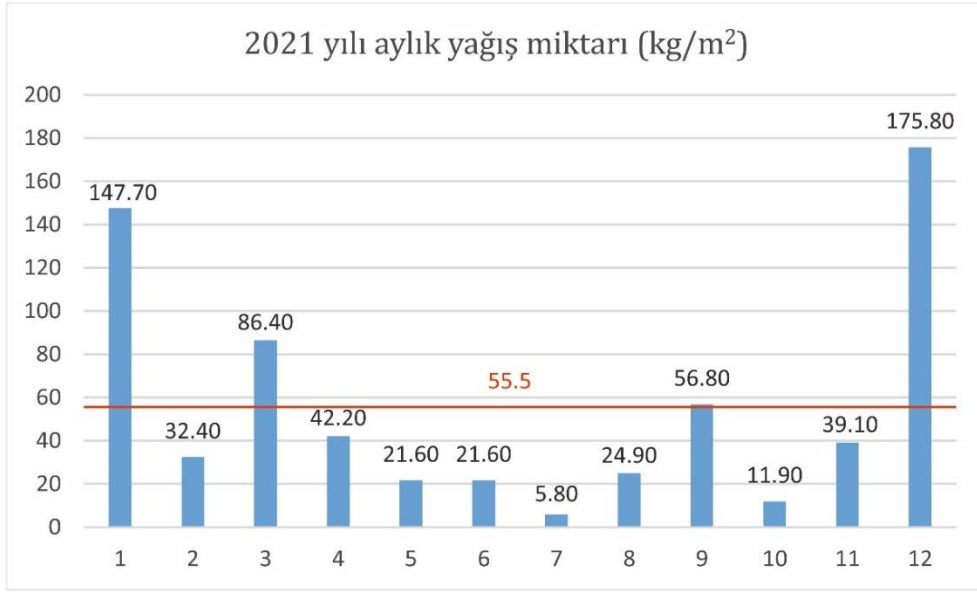
Şekil 3.2. Kızılbağ istasyonu yıllık yağış miktarları.



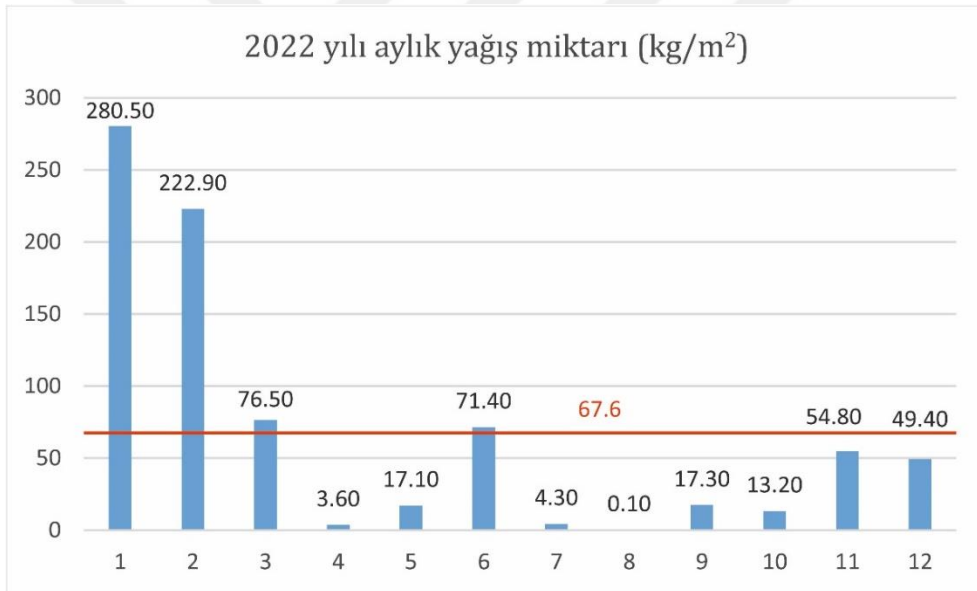
Şekil 3.3. Kızılbağ istasyonu 2019 yılı aylık yağış miktarı.



Şekil 3.4. Kızılbağ istasyonu 2020 yılı aylık yağış miktarı.



Şekil 3.5. Kızılbağ istasyonu 2021 yılı aylık yağış miktarı.

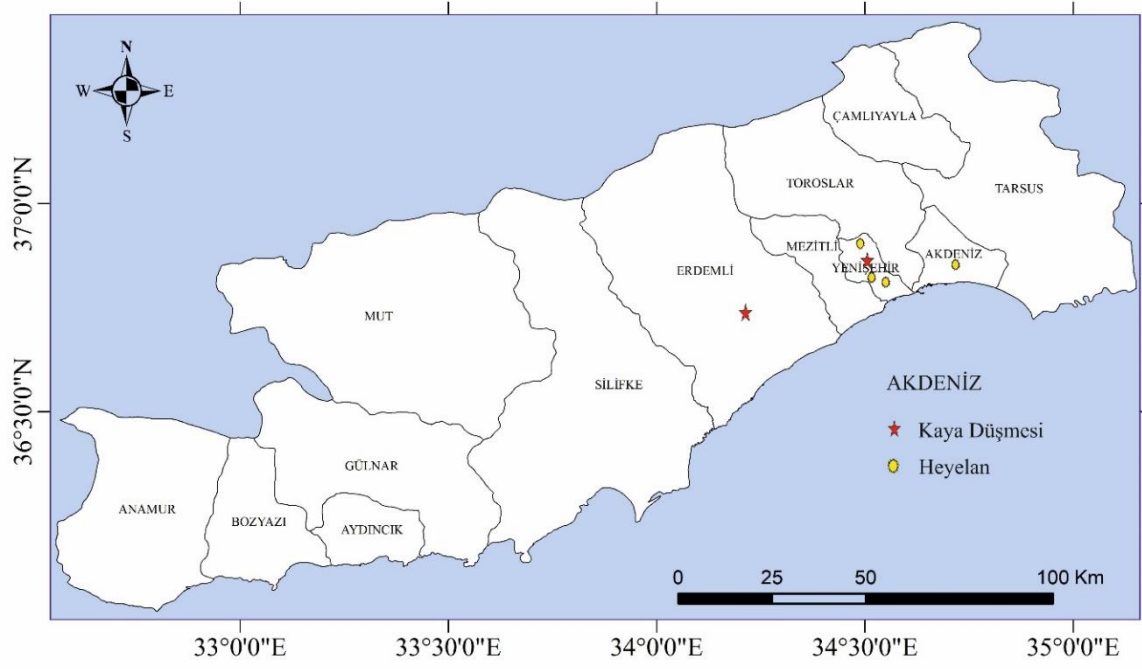


Şekil 3.6. Kızılbağ istasyonu 2022 yılı aylık yağış miktarı.

Mersin sınırları içerisinde 16 adet önemli akarsu ve pek çok küçük akarsu bulunmaktadır. Bu akarsular düzensiz rejime sahiptir. Yazın su seviyeleri azalmakta, yağışlı mevsimlerde ise artmaktadır. Akarsular çoğu zaman yamaç topuklarını aşındırmakta ve heyelan olayını tetiklemektedir.

3.3. Çalışma Alanları

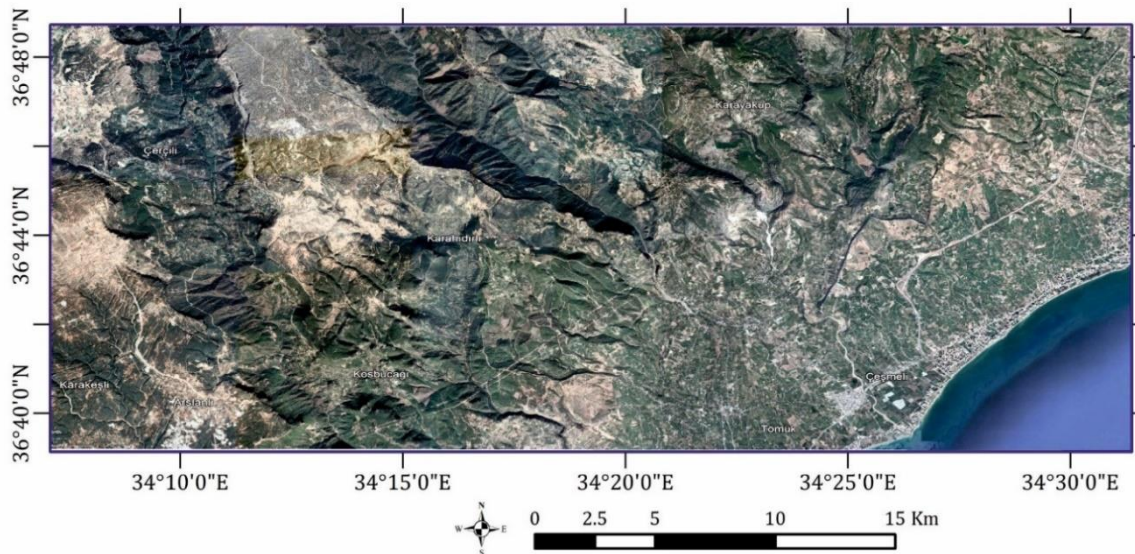
Bu tez çalışmasında 4 adet heyelan ve 2 adet kaya düşmesi bölgesinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Kaya düşmesi çalışma yerleri Erdemli ve Yenişehir İlçeleri'dir. Heyelan çalışma yerleri Yenişehir ve Akdeniz İlçeleri'dir.



Şekil 3.7. Afet bölgelerinin lokasyon haritası.

3.3.1. Karahıdırlı Mahallesi

Erdemli İlçesi sınırlarında bulunan Karahıdırlı Mahallesi (Şekil 3.8) kaya düşmesi tehdidi altındadır. Nüfusu 1267 olan mahallenin rakımı 150 ile 1500 arası değişmektedir. Çevresi ormanlarla kaplı olduğu için çok serin bir iklime sahiptir. Geçim kaynağı çiftçilik ve hayvancılıktır. Osmanlı, Roma ve Bizans Dönemi'ne ait mezarlar bulunmaktadır. Mahallenin kuzey tarafında bulunan yaklaşık 500 metre yükseklikteki yamaç irili ufaklı pek çok kaya içermektedir. Bu yamaç kaya düşmesi tehlikesi barındırmaktadır (Şekil 3.9).



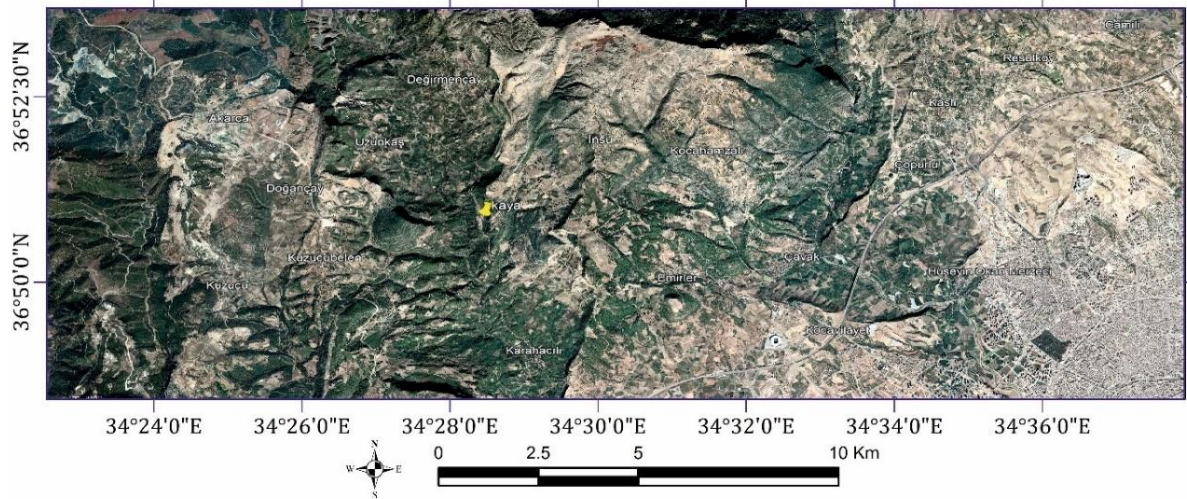
Şekil 3.8. Karahıdırlı Mahallesi yer bulduru haritası.



Şekil 3.9. Karahıdırlı kaya düşmesi bölgesi.

3.3.2. Emirler-Değirmençay Yolu

Emirler- Değirmençay Yolu Yenişehir İlçesi sınırlarında (Şekil 3.10) bulunmaktadır. İki köyü birbirine bağlayan tek yoldur. Kaya şevleri tehlike arz etmektedir. Sürüş güvenliğinin sağlanabilmesi için kaya şevlerinde önlem almak gerekmektedir (Şekil 3.11).



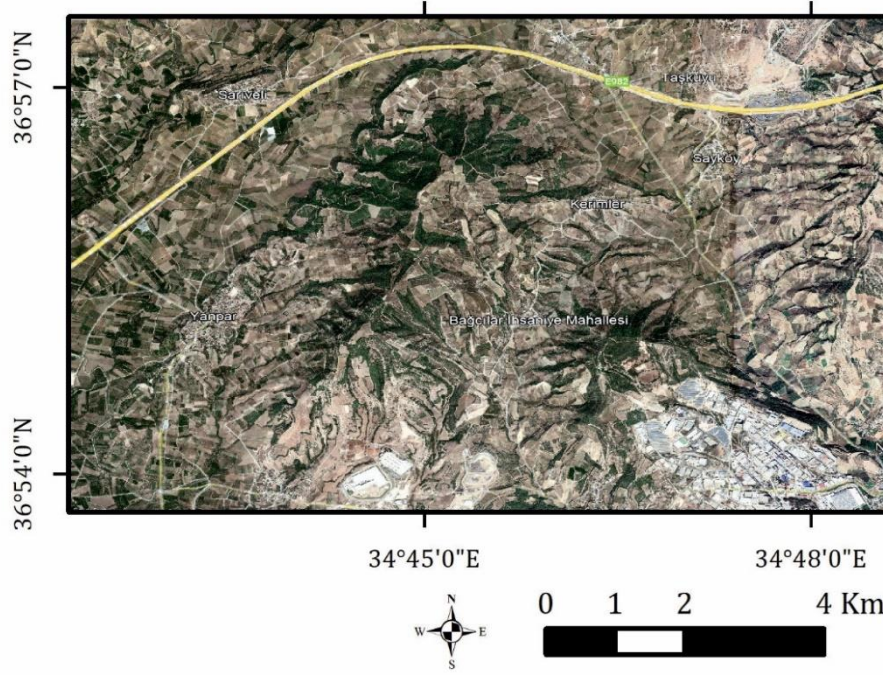
Şekil 3.10. Emirler-Değirmençay Yolu yer bulduru haritası.



Şekil 3.11. Emirler-Değirmençay Yolu kaya düşmesi bölgesi.

3.3.3. Bağcılar Mahallesi

Bağcılar Mahallesi Akdeniz İlçesi sınırlarında (Şekil 3.12) bulunmaktadır. Nüfusu 281 olan mahallenin geçim kaynağı tarımdır. Rakımı 150-250 metre arası olan mahallede tipik Akdeniz iklimi görülmektedir. Tarım faaliyetleri yapılan bir alanda heyelan görülmektedir (Şekil 3.13).



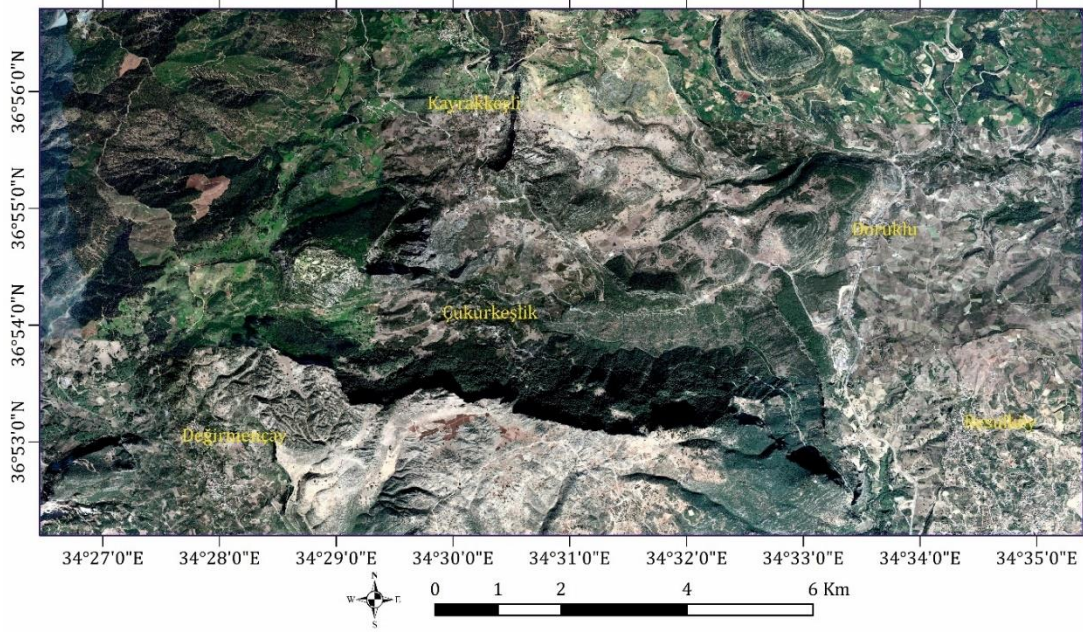
Şekil 3.12. Bağcılar Mahallesi yer bulduru haritası.



Şekil 3.13. Bağcılar Mahallesi heyelan bölgesi.

3.3.4. Çukurkeşlik Mahallesi

Çukurkeşlik Mahallesi Yenişehir İlçesi sınırlarında (Şekil 3.14) bulunmaktadır. Nüfusu 300 olan mahallenin geçim kaynağı tarımdır. Tarım faaliyetleri yapılan bir alanda heyelan görülmektedir (Şekil 3.15). Rakımı 400-600 metre arasındadır.



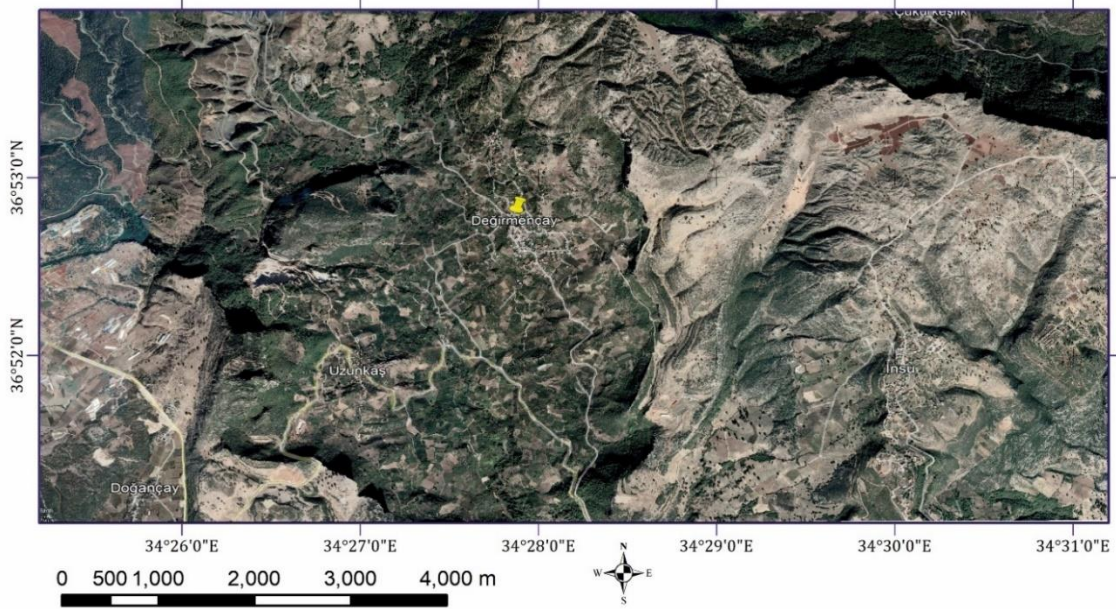
Şekil 3.14. Çukurkeşlik Mahallesi yer bulduru haritası.



Şekil 3.15. Çukurkeşlik Mahallesi heyelan bölgesi.

3.3.5. Değirmençay Mahallesi

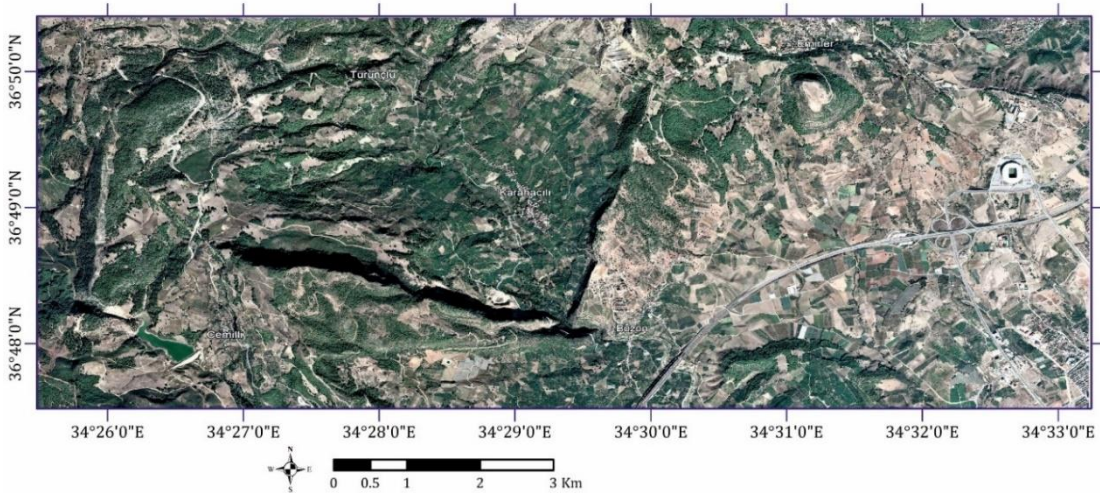
Değirmençay Mahallesi Yenişehir İlçesi sınırlarında (Şekil 3.16) bulunmaktadır. Nüfusu 919 olan mahallede rakım 500-700 metre arasındadır. Tarım faaliyetleri yapılan bir alanda heyelan görülmektedir.



Şekil 3.16. Değirmençay Mahallesi yer bulduru haritası.

3.3.6. Karahacılı Mahallesi

Karahacılı Mahallesi Yenişehir İlçesi sınırlarında (Şekil 3.17) bulunmaktadır. Nüfusu 761 olan mahallede rakım 100-300 metre arasındadır. Tarım faaliyetleri yapılan bir alanda heyelan görülmektedir.



Şekil 3.17. Karahacılı Mahallesi yer bulduru haritası.

3.4. Çalışma Alanı Jeolojisi

MTA’ dan temin edilen 1/100.000 ölçekli paftalar ArcGIS programında sayısallaştırılmıştır. Mersin İli’nin jeolojik haritası oluşturulmuştur. Koordinat sistemi olarak ITRF-96 kullanılmıştır. Kullanılan haritaların üretildikleri yıllar Tablo 3.2’de gösterilmektedir.

Tablo 3.2. MTA’ dan temin edilen 1/100.000 ölçekli haritaların hazırlandığı yıl.

PAFTA	Hazırlandığı yıl
Silifke-O 30	2009
Silifke-O 31	2016
Silifke-O 32	2013
Silifke-P 30	2014
Silifke-P31-P32	2014
Mersin-O 33	2009
Mersin-O 34	2009
Mersin-O 35	2013
Adana-N 33	2011
Alanya-O 29	2018
Konya-N 29	2018
Karaman-N 31	2009
Karaman-N 32	2011

Oluşturulan jeoloji haritasından heyelan yerlerinin olduğu alanlar kesilmiştir ve afet bölgelerindeki jeoloji haritaları oluşturulmuştur.

Değirmençay Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.18’de gösterilmektedir. Çalışma alanında Kaplankaya (Tmkp), Yavca (Ky), Çamlık (JKç), Karaisalı (Tmk) ve Güvenç (Tmgü) formasyonları, Ofiyolitik Nap (Kpko), Yamaç Molozu (Qym) ve Mersin Ofiyoliti (Mof) gözlenmektedir.

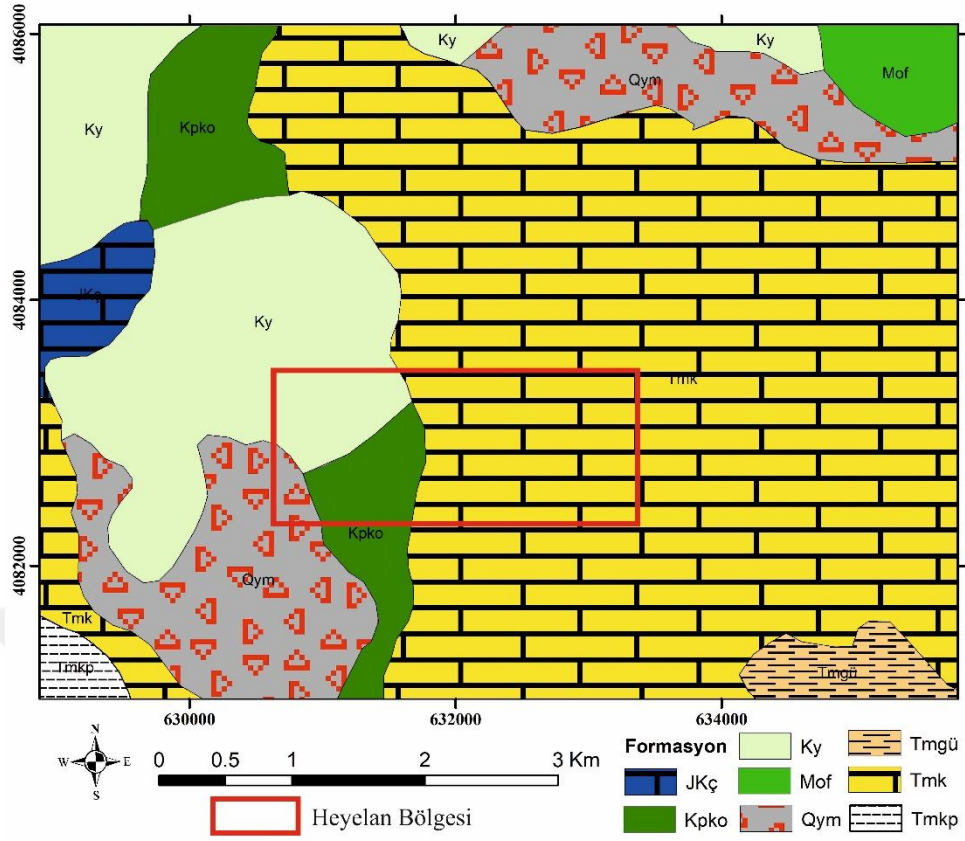
Bağcılar Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.19’da gösterilmektedir. Handere (Tmplh), Kalış (Qk) Formasyonu ve Delta Çökelleri (Qdç) gözlenmektedir.

Karahacılı Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.20’de gösterilmektedir. Handere (Tmplh), Karaisalı (Tmk), Kaplankaya (Tmkp), Kuzgun (Tmku) Formasyonları, Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı (Kpko), Kalış (Qk), ve Yamaç Molozu (Qym) gözlenmektedir.

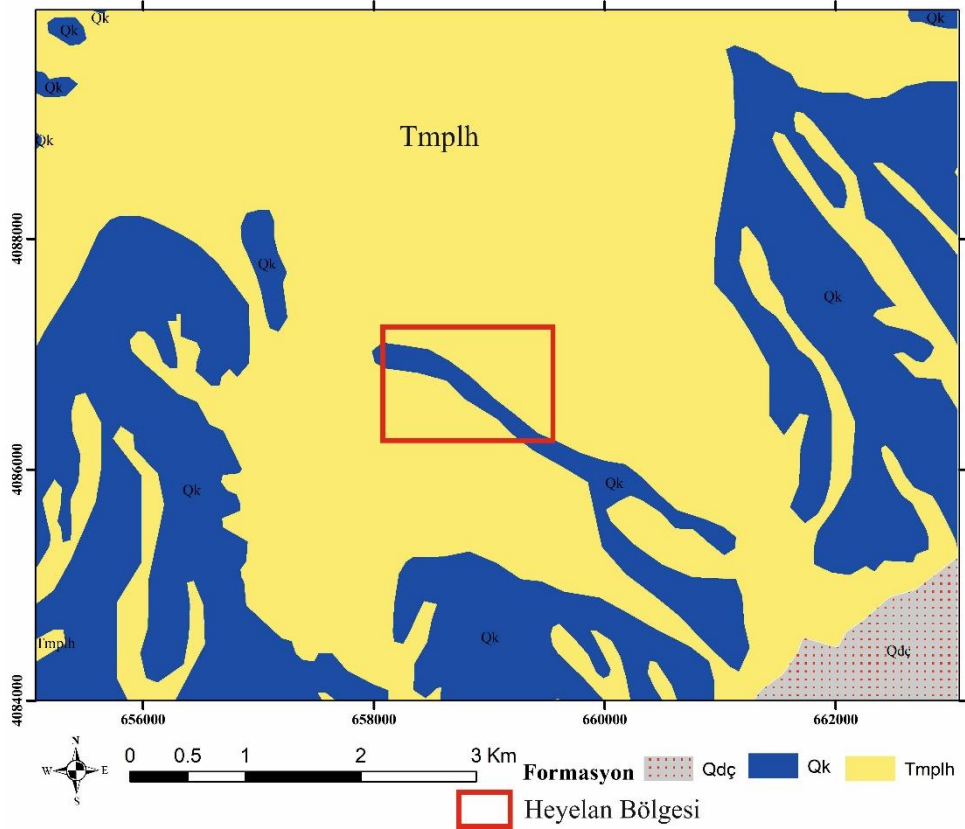
Çukurkeşlik Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.21’de gösterilmektedir. Çamlık (JKç), Yavca (Ky), Karaisalı (Tmka), Güvenç (Tmgü) formasyonları Yamaç Molozu (Qym), Kalış (Qk) ve Mersin Ofiyoliti (Mof) gözlenmektedir.

Karahıdırlı Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.22’de gösterilmektedir. Kaplankaya (Tmkp), Karaisalı (Tmk) formasyonları, Kızılcadağ Ofiyolitik Melanj ve Olistostromu (Kkm), Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı (Kpko) ve Yamaç Molozu (Qym) gözlenmektedir.

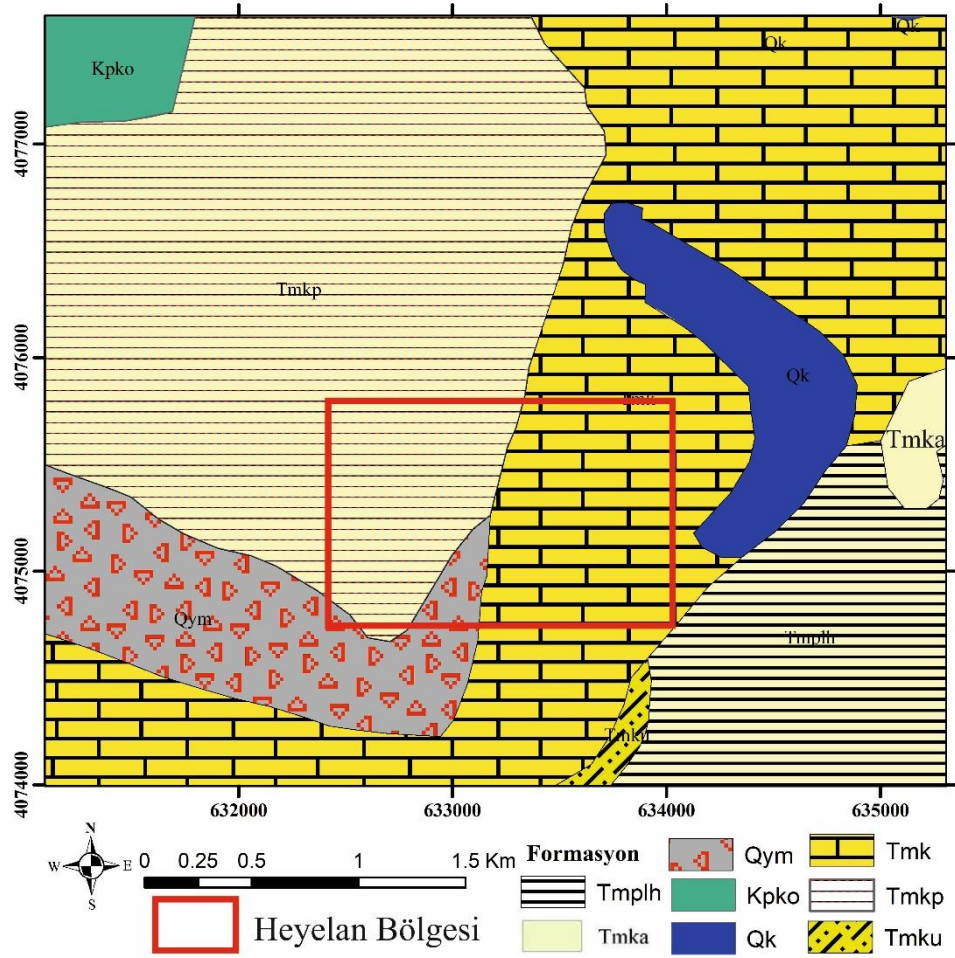
Emirler-Değirmençay Mahallesi’nin jeoloji haritası Şekil 3.23’de gösterilmektedir. Karaisalı (Tmk), Yavca (Ky) formasyonları, Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı (Kpko), ve Yamaç Molozu (Qym) gözlenmektedir.



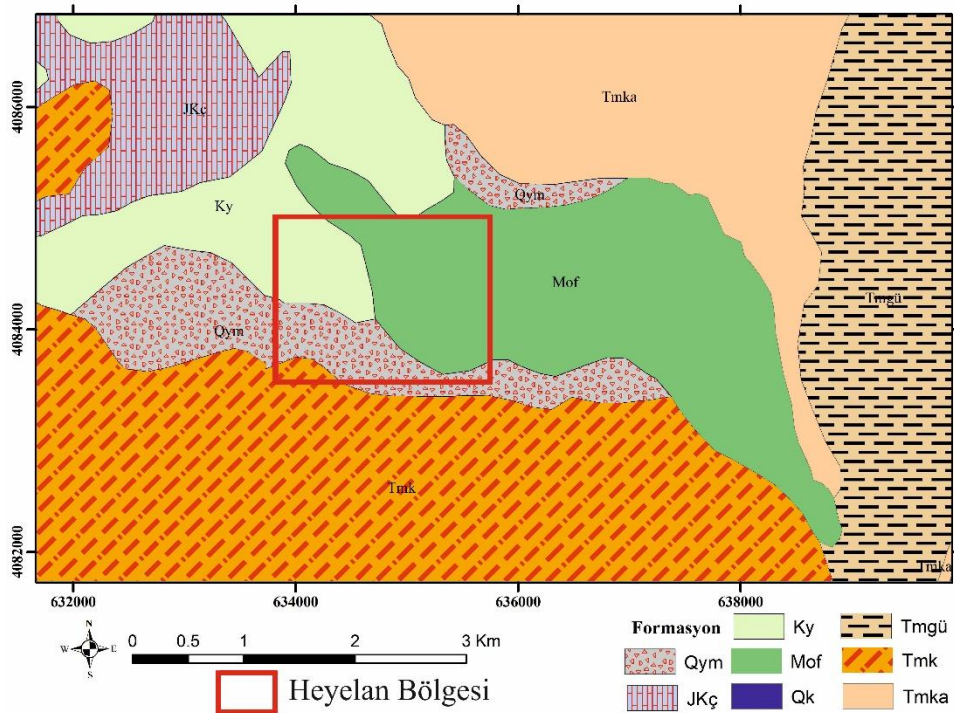
Şekil 3.18. Değirmençay Mahallesi jeoloji haritası.



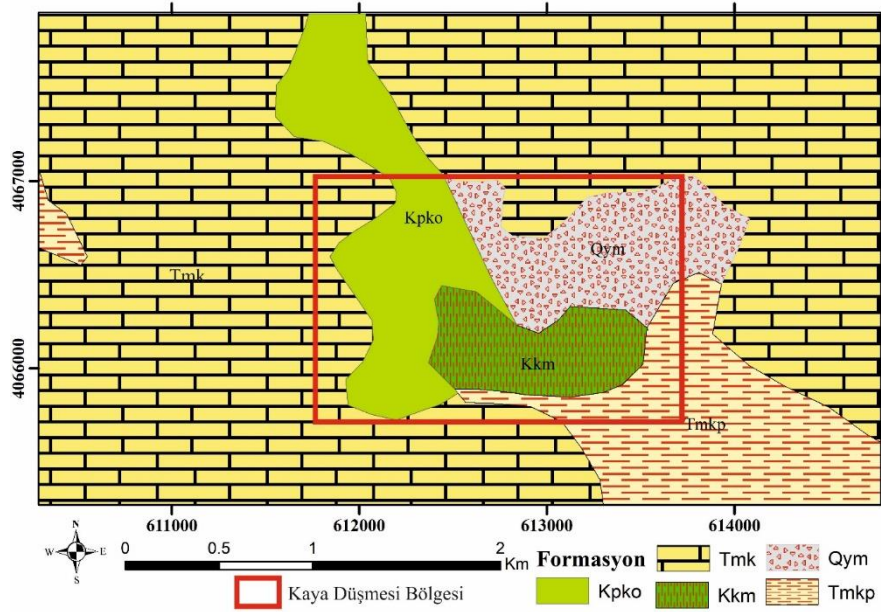
Şekil 3.19. Bağcılar Mahallesi jeoloji haritası.



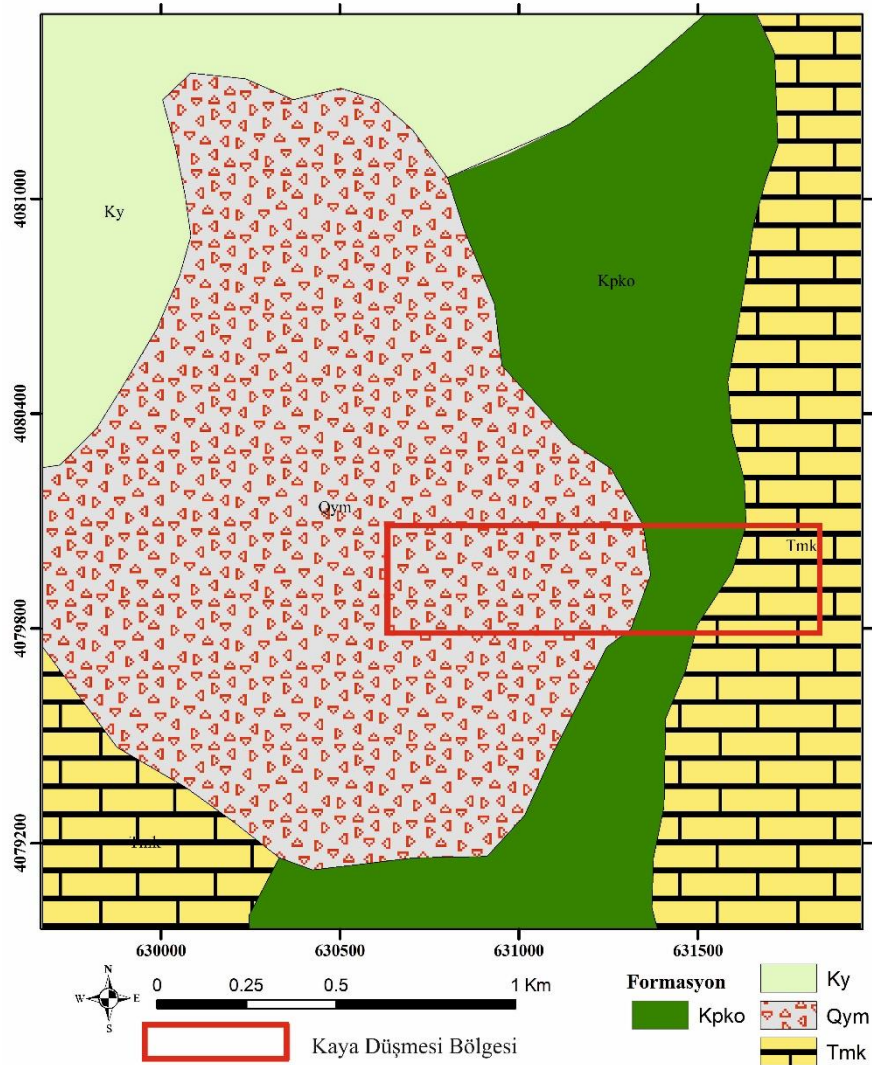
Şekil 3.20. Karahacılı Mahallesi jeoloji haritası.



Şekil 3.21. Çukurkeşlik Mahallesi jeoloji haritası.



Şekil 3.22. Karahıdırlı Mahallesi jeoloji haritası.



Şekil 3.23. Emirler-Değirmençay yolu jeoloji haritası.

3.4.1. Litostratigrafik Birimler

Çalışma alanında bulunan formasyonların yaşları yaşlıdan gence doğru Tablo 3.3’de açıklamaları Şekil 3.24’te gösterilmektedir.

Tablo 3.3. Formasyonların yaşları.

Formasyon	Yaşı
Yamaç Molozu	Kuvaterner
Kalış	Kuvaterner
Handere	Geç Miyosen-Pliyosen
Güvenç	Orta Miyosen
Karataş	Erken-Orta Miyosen
Karaisalı	Erken-Orta Miyosen
Kaplankaya	Erken-Orta Miyosen
Gildirli	Erken Miyosen
Mersin Ofiyoliti	Geç Kretase
Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı	Geç Kretase
Yavça	Geç Kretase
Çamlık	Jura-Kretase
Kızılcadağ Ofiyolitik Melanj ve Olistostromu	Geç Senoniyen

Birlik	Yaş	Formasyon	Simge	Açıklama
Ayrancı- Adana Havzası	Kuvaterner	Yamaç Molozu	Qym	Çakıl, kum, çamur
		Kalış	Qk	Kalker, killi siltli çakıllı kalker
	Tersiyer	Handere	Tmplh	Kiltaşı, şeyl, marn, silttaşı, kumtaşı, çakıltaşı
		Güvenç	Tmgü	Killi kireçtaşı, marn, kumtaşı, killi silttaşı
		Karataş	Tmk	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası
		Kuzgun	Tmku	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kireçtaşı
		Karaisalı	Tmka	Resifal kireçtaşı
		Kaplankaya	Tmkp	Kireçtaşı, çakıllı kumtaşı
		Gildirli	Tmgi	Çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, maarn
Bozkır	Kretase	Mersin Ofiyoliti	Mof	Peridotit, tektonitler, metamorfite, yastık lav
		Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı	Kpko	Peridotit, harzburgit, dunit, serpantin
		Kızılcadağ Ofiyolitik Melanj ve Olistostromu	Kkm	Kireçtaşı blokları
Aladağ	Jurassic	Yavça	Ky	Kumtaşı, marn, şeyl, kiltası, çakıltaşı
		Çamlık	Jkç	Kireçtaşı, Dolomit, Çakıltaşı

Şekil 3.24. Genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit.

3.4.1.1. Yamaç Molozu (Kuvaterner)

Yamaç molozu dağ eteklerinde ve vadilerin memba kısımlarında görülmektedir. Kalın tabakalı, köşeli bloklardan oluşan kötü boylanmalı çakıl, kum ve çamurdan oluşmaktadır.

3.4.1.2. Kalış (Kuvaterner)

Kalış kurak ve yarı kurak ortamlardaki vadoz zonunda oluşan ikincil karasal kalsiyum karbonat (CaCO_3) bileşimli formasyonlardır (Alptekin ve Bağcı, 2018). Tabanda yumuşak kabuk onun üstünde sert kabuk görülmektedir. Yaklaşık 1-3 metre kalınlığa sahip olan kalışın yaklaşık %85'i CaCO_3 'ten oluşmaktadır. Mersin ve çevresi kalış oluşumu için uygun ortama sahiptir.

3.4.1.3. Handere Formasyonu (Geç Miyosen-Pliyosen)

Konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn, fosilli oolitlik kireçtaşı ve jipsten oluşan Handere formasyonu 5-100 metre arasında değişen kalınlıktadır. Pliyosen zamanında hüküm süren yağışlı iklimler ile deniz seviyesi değişimlerine bağlı olarak gelişen akarsu, lagün, delta ve sığ deniz ortamlarında çökelmiş olduğu düşünülmektedir (MTA, 2009a).

3.4.1.4. Güvenç Formasyonu (Orta Miyosen)

Killi kireçtaşı, marn, kiltası ve silttaşlarından oluşan Güvenç Formasyonu altındaki Karaisalı Formasyonu ile yanall ve düşey geçişli, üstündeki Handere formasyonu ile uyumsuzdur. İçerdiği fosil özelliklerine göre resif önü, sığ deniz-derin deniz ortamlarında çökelmiş olduğu düşünülmektedir (MTA, 2009a).

3.4.1.5 Karataş Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)

Çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşan Karataş Formasyonunun kalınlığı 2000 metreye ulaşmaktadır. Litolojik özellikleri küçük deniz altı yelpazesi, loblar ve havza ortamlarında çökelmiş olduğunu göstermektedir (MTA, 2009b).

3.4.1.6. Karaisalı Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)

Karaisalı Formasyonu kireçtaşı ve resifal kireçtaşı içermektedir. Kireçtaşından oluşan ve kalınlığı en çok 300 metreye ulaşan Karaisalı Formasyonun karbonatlı kıyı (resif) ortamında çökelmiş olduğu düşünülmektedir (MTA, 2009a).

3.4.1.7. Kaplankaya Formasyonu (Erken-Orta Miyosen)

Çakıllı kumtaşı, kumtaşı ve kireçtaşıdan oluşan Kaplankaya Formasyonunun kalınlığı yaklaşık 60 metredir. Litolojik özellikleri ve fosil içeriği bakımından plaj ve resif gerisi lagün ortamında çöktüğü düşünülmektedir (MTA, 2013).

3.4.1.8. Gildirli Formasyonu (Erken Miyosen)

Konglomera-kumtaşı, silttaşı-kiltaşı ve killi kireçtaşı-marn olmak üzere üç kaya topluluğundan oluşan Gildirli formasyonunun kalınlığı 175 metreye ulaşmaktadır (MTA, O33 Paftası). Genel litolojik özelliklerine göre formasyonun alüvyal yelpaze ve örgülü nehir ortamında çöktüğü düşünülmektedir. (MTA, 2013).

3.4.1.9. Mersin Ofiyoliti (Geç Kretase)

Mersin Ofiyoliti kireçtaşı, ofiyolit ve volkanik bloklardan oluşmaktadır. Mersin Ofiyoliti doğuda Çamlıyayla batıda Ermenek arasında gözlenmektedir. Mesozoyik yaşlı Neotetis okyanusal kabuğun dalma-batmasına bağlı olarak oluştuğu düşünülmektedir (MTA, 2016).

3.4.1.10. Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı (Geç Kretase)

Harzburjit, dünit, piroksenit, gabro, diyabaz daykları ve metamorfik dilim kayalardan oluşan Pozantı-Karsantı Ofiyolitik Napı'nın kalınlığı 250-300 metredir. Bozkır Birliği'ne ait olan napın Geç Kretase'de kapanan Neotetis Okyanusu'nun kuzey kolunun ürünü olduğu düşünülmektedir (MTA, 2011).

3.4.1.11. Yavça Formasyonu (Geç Kretase)

Aladağ Birliği'ne ait olan Yavça Formasyonu kumtaşı, kireçtaşı, silttaşı ve şeyl içeren kaya bloklarından oluşmaktadır. Kalınlığı 50-100 metre arasında değişmektedir. Kaya türü özelliklerine göre şelften derin denize kadar değişen bir ortamda çökelmiş olduğu düşünülmektedir (MTA, 2009a).

3.4.1.12. Çamlık Formasyonu (Jura-Kretase)

Masif tabakalı dolomitik kireçtaşları, mikritik kireçtaşları ve killi kireçtaşlarından oluşmaktadır. Aladağ Birliği'ne ait olan Çamlık Formasyonunun kalınlığı 200-800 metre arasında değişmektedir.

Litofasiyes özelliklerine göre formasyonun platform tipi karbonatların çökeldiği sığ ve sakin bir denize ait şelf ortamında çökelmiş olduğu düşünülmektedir (MTA, N33 Paftası).

3.4.1.13. Kızılcadağ Ofiyolitik Melanj ve Olistostromu (Geç Senoniyen)

Bozkır Birliği'ne ait olan formasyon serpantin, radyolarit, çört, kireçtaşı, dünit ve harzburjitten oluşmaktadır. Kalınlığı yaklaşık 250 metredir. Toros Dağları boyunca Neotetis'e ait okyanusal litosferin güneye ilerlemesi sırasında şelf alanındaki kireçtaşı birimlerini de içerisine alarak oluşmuştur (MTA, 2018).

3.4.2. Fay Hatları

Çalışma alanına yakın fay hatları; Göğdençayı Fayı, Kızılkaya Fayı, Samankaya Fayı, Narlı Fayı, Pamuklu Fayı, Dedebeleli Fayı, Domuzlukorum Fayı, Bağcayız Fayı, Musluk Fayı, Metrisdağ Fayı, Çakaltepe Fayı, Delikkaya Fayı, Çeş Fayı, Kozak Fayı, Sarıkaya Fayı, Balcı Fayı, Samran Fayı, Gözkaya Fayı ve Gündüzler Fayıdır.

3.5. Çalışmada Kullanılan İnsansız Hava Aracı (İHA)

Arazi çalışmalarında Anafi Parrot marka İHA (Şekil 3.25) kullanılmıştır. Teknik özellikleri Tablo 3.4'de gösterilen İHA ile arazinin resimleri çekilmiştir. Anafi Parrot akıllı cep telefonu kullanarak rahatlıkla yönetilebilmektedir. Cep telefonunda bulunan ücretsiz Freeflight ve Pix4DCapture uygulamaları sayesinde uçuş planları hazırlanabilmektedir.

Uçuş planı hazırlanırken İHA'nın havada kalış süresi dikkate alınmıştır. Anafi Parrot'ta 4 adet batarya bulunmaktadır. Her bir batarya en fazla 20 dakika havada kalmasını sağlamaktadır. Bu sebepten dolayı kendimiz garantiye almak için her bir uçuş planı en fazla 18 dakika olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tablo 3.4. Anafi Parrot teknik özellikleri (Parrot, 2018).

Özellik	Değer
İHA ağırlığı	320 gram
Kumanda ağırlığı	386 gram
Batarya ağırlığı	126 gram
Batarya sayısı	4
Uçuş süresi	20 dakika
Maksimum Yatay hız	15.2 metre/saniye
Maksimum Dikey hız	4 m/s
Maksimum Rüzgâr direnci	13.9 m/s
Maksimum uzaklık	4000 metre
Çalışma sıcaklığı	-10...40 C°



Şekil 3.25. Anafi Parrot.

3.5.1. İHA Fotoğraflarının Modellenmesi

Elde edilen fotoğraflar, SfM tekniği ile onları birleştirme ve 3B model oluşturma özelliğine sahip olan Agisoft Metashape programında modellenmiştir. İşlem adımları Şekil 3.26'da gösterilmektedir.



Şekil 3.26. Agisoft Metashape işlem adımları.

İlk adımda model için kullanılacak fotoğraflar programa yüklenir. Fotoğraf sayısının fazla olması kör noktaların sayısının az olmasını sağlayacaktır. Fazla fotoğraf olması durumunda üst düzey özellikte bir bilgisayar kullanmak gerekmektedir.

İkinci adımda fotoğraflardaki ortak noktalar kullanılarak, her fotoğrafın yeri belirlenir ve birbirleriyle birleştirilir. İşlem bitince seyrek nokta bulutu görüntülenir.

Üçüncü adımda programdan uygun koordinat sistemi belirlenmektedir. Bu çalışmada Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) kullanılmıştır.

Dördüncü adımda arazide belirlenmiş olan YKN'lerin yerleri programda belirlenmektedir. YKN'lerin dağılımı mümkün olduğunca homojen seçilmeye çalışılmıştır. YKN'lerin fotoğraflarda net olarak görülebilmesi için bina veya ağaç kenarlarından uzakta yerler seçilmiştir.

Beşinci adımda distorsiyonları düzeltmek için kamera optimizasyonu yapılmaktadır. Programda önerilen katsayılar kullanılmıştır.

Altıncı adımda yoğun nokta bulutu üretilir. "Medium" kalite ve "aggressive" filtreleme seçenekleri tercih edilmiştir. Yüksek kalite seçilmesi işlem süresini çok arttıracaktır. Medium kalite ile yeterli hassasiyette görüntüleme yapılabilecektir. Aggressive filtreleme ile zemindeki küçük detaylar rahat bir şekilde görüntülenebilecektir.

Yedinci adımda yüzey ağı oluşturulur. "Height field", "Dense Cloud" ve "medium" seçenekleri seçilerek optimum yüzey ağı oluşturulmuştur.

Sekizinci adımda yüzey dokusu oluşturulur. Harita tipi olarak "Orthophoto", harman tipi olarak "Mosaic" seçilmiştir.

Dokuzuncu adımda SYM oluşturulur. Tipi "Geographic", Kaynak veri "Dense Cloud", enterpolasyon "Enabled" seçilmiştir.

Onuncu adımda ortomozaik üretilir. Tipi "Geographic", Kaynak "SYM", Harman tipi "Mosaic" seçilmiştir.

3.6. Yersel Lazer Tarayıcı (YLT)

Bu çalışmada Faro Focus350 marka (Şekil 3.27) Yersel Lazer Tarayıcı (YLT) kullanılmıştır. Teknik özellikleri Tablo 3.5'de gösterilmiştir. Kullandığımız YLT kendisine ait olan bataryayı kullanmaktadır. Alınan veri SD kartta kayıt altına alınmaktadır. SD karttaki veriler bilgisayara aktarılmakta ve SCENE programında açılmaktadır. Farklı noktalardan bindirmeli yapılan taramalar SCENE programında birleştirilmektedir.

Tablo 3.5. Yersel lazer tarayıcı teknik özellikleri (Faro, 2018).

Özellik	Değeri
Batarya süresi	4.5 saat
Batarya Adedi	2
Uygun çalışma sıcaklığı	5-40 C°
Ağırlığı	4.2 kg
Uzunluk ölçüleri	240*200*100 mm
Uzaklık hassasiyeti	±1 mm
Veri alma mesafesi	0.6-350 m
Çözünürlük	165 MP
Ölçüm hızı	976.000 nokta/saniye
SD kart	32 GB



Şekil 3.27. Faro Focus S350.

3.6.1. Lidar Verilerinin Modellenmesi

Elde edilen taramaların 3B modellenmesi için SCENE programı kullanılmıştır. İşlem adımları Şekil 3.28’de gösterilmektedir.

- Yeni bir proje dosyası açılması
- Taramaların proje dosyasına yüklenmesi
- Gereksiz noktaların temizlenmesi
- Cloud to cloud yöntemi ile taramaların birleştirilmesi
- Taramaların renklendirilmesi
- Renk dengelemesi yapılması
- Nokta bulutu projesi yaratılması
- Clipping box yaratılması
- Ortofoto üretilmesi

Şekil 3.28. SCENE programı işlem adımları.

İlk adım olarak SCENE programında yeni bir proje dosyası açılmalıdır. İkinci adımda arazide yapılan taramalar proje dosyasına yüklenmelidir. Üçüncü adımda taramalarda bulunan gereksiz noktalar temizlenmelidir. Dördüncü adımda taramalar birbirleriyle birleştirilmelidir. Bu çalışmada Cloud to Cloud yöntemi seçilmiştir. Beşinci adımda taramaların renklendirmesi yapılmıştır. Altıncı adımda taramalarda renk dengelemesi yapılmıştır. Yedinci adımda projenin 3B olarak net bir şekilde görüntülenebilmesi için nokta bulutu projesi oluşturulmuştur. Sekizinci adımda ortofoto üretilecek alanın belirleneceği clipping box oluşturulmuştur. Dokuzuncu adımda ortofoto üretilmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Artan nüfus ile birlikte yeni yerleşim yerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Binalar yapılmadan önce arazinin doğal afet riskinin belirlenmesi gerekmektedir. Gerekli mühendislik araştırmaları yapılmadan gelişigüzel bir şekilde yapılaşmaya gidilmemelidir.

Afete eğilimli alanların belirlenmesi ve haritalanması yerel yönetimlere afetlerin önlenmesi çalışmalarında büyük kolaylık sağlayacaktır. Risk yönetimi çalışmalarında altlık olarak kullanılan haritalar günümüzde pratik bir şekilde yüksek hassasiyet ve çözünürlükte üretilmektedir. Risk yönetimi için büyük öneme sahip güncel ve güvenilir veri olan bu haritaların üretilmesi sağlıklı bir planlama yapılabilmesi için ilk adımdır.

UA teknikleri ile yer yüzeyinin üst tarafını modelleyebilmekteyiz. Yer yüzeyinin alt tarafının modellenmesi için jeofizik ve sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen verilere ihtiyaç duymaktayız. Bu çalışmada UA teknikleri kullanılarak afet bölgelerinin 3B modelleri oluşturulmuştur.

4.1. Heyelan Bölgelerinin Modellenmesi

Bu tez çalışmasında 4 farklı heyelan bölgesi üzerinde çalışılmıştır. İHA ile bindirmeli olarak çekilen resimler kullanılarak heyelan bölgesinin 3B modeli oluşturulmuştur. Modele YKN'lerin dahil edilmesiyle koordinatlı haritalar elde edilmektedir. Arazinin güncel durumu yüksek çözünürlükte görülmektedir. Agisoft Metashape programı ile elde edilen DSM ve ortofoto ArcGIS programı kullanılarak referanslandırılmıştır.

4.1.1. Çukurkeşlik Mahallesi Heyelanı

Çukurkeşlik Mahallesi'nde 24 Ağustos 2019 tarihinde oluşan heyelandan sonra bölgede Anafi Parrot marka İHA ile resimler çekilmiştir. GPS kullanarak dört adet yer kontrol noktasının (YKN) TUREF/TM36 koordinatları GPS ile elde edilmiştir (Tablo 4.1.). Uçuş planı bilgileri Tablo 4.2'de gösterilmektedir.

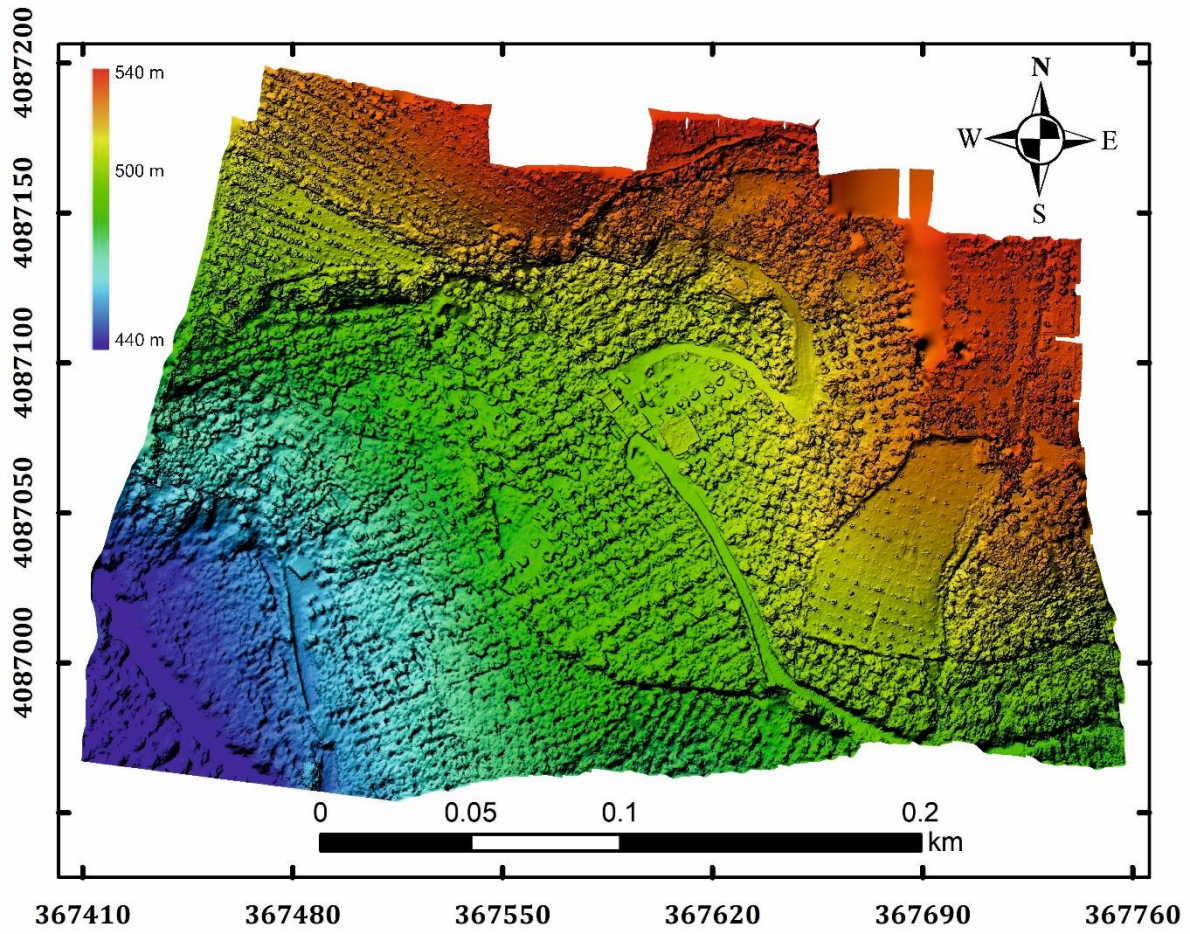
Tablo 4.1. Çukurkeşlik Mahallesi yer kontrol noktaları.

YKN	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	4087099.827	367630.813	510.721
2	4087090.505	367590.741	503.976
3	4087057.039	367610.758	503.089
4	4087036.434	367623.885	503.003

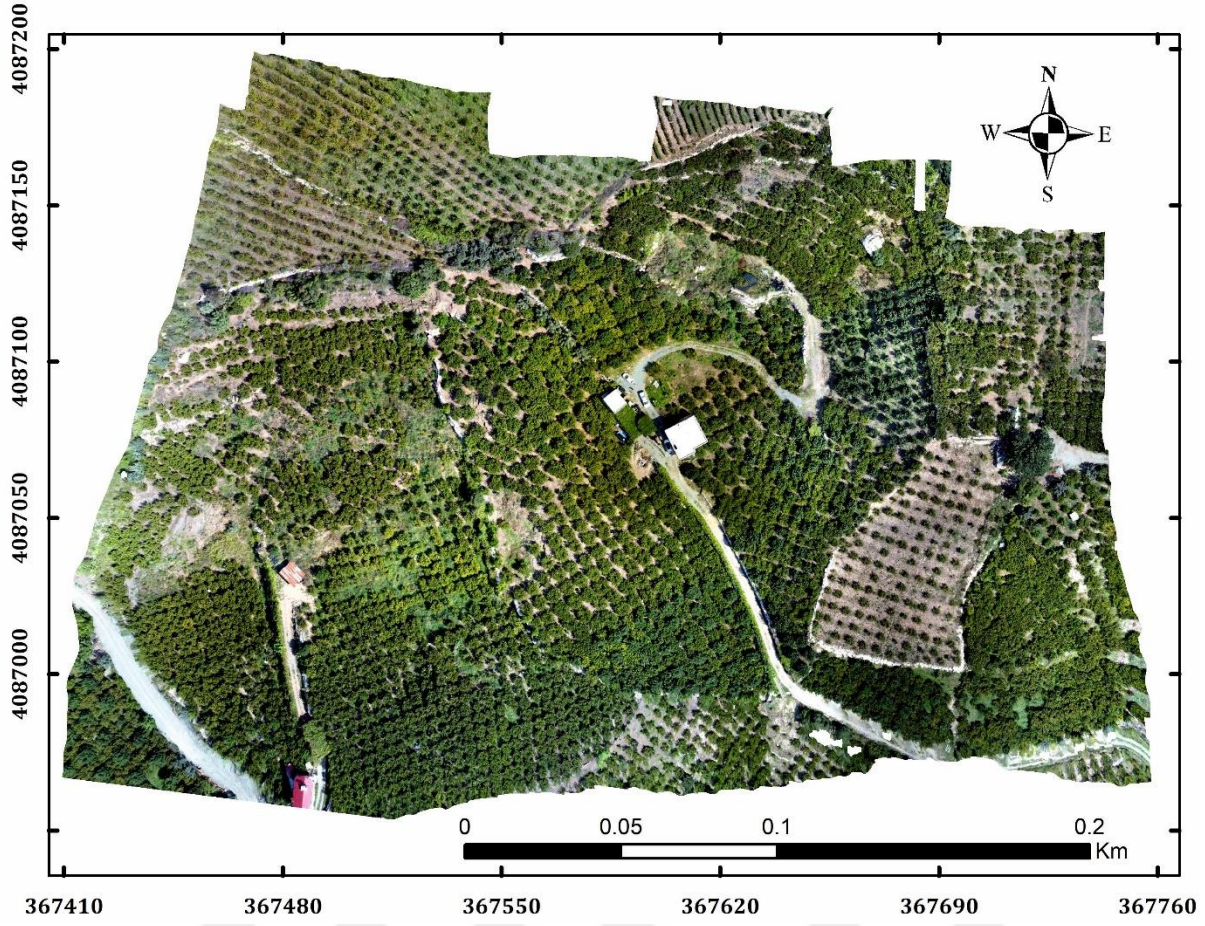
Tablo 4.2. Çukurkeşlik Mahallesi uçuş planı.

Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/px
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	225

İHA ile çekilen resimler Agisoft Metashape programında modellenmiş ve SYM ve ortofoto oluşturulmuştur. Modellenirken kullanılan YKN'ler ITRF96 koordinat sistemindedir. ArcGIS programında SYM (Şekil 4.1) ve ortofoto (Şekil 4.2) jeoreferanslandırılmıştır.

**Şekil 4.1.** Çukurkeşlik Mahallesi sayısal yükseklik modeli.

Aşırı yağış sonucu Çukurkeşlik Mahallesi'nde heyelan görülmüştür. Heyelan bölgesinin kuzeyden güneye doğru yüksekliğinin azaldığı görülmektedir. Aşırı yağışın etkisi ile toprak malzeme eğim yönünde hareket etmiştir. Heyelandan bölgedeki tarım arazileri zarar görmüştür.



Şekil 4.2. Çukurkeşlik Mahallesi ortofoto.

4.1.2. Değirmençay Mahallesi Heyelanı

Değirmençay Mahallesi'nde oluşan heyelandan sonra bölgede İHA ile resimler çekilmiştir. GPS kullanarak yedi adet YKN' nin koordinatları elde edilmiştir (Tablo 4.3). Uçuş planı bilgileri Tablo 4.4'de gösterilmektedir.

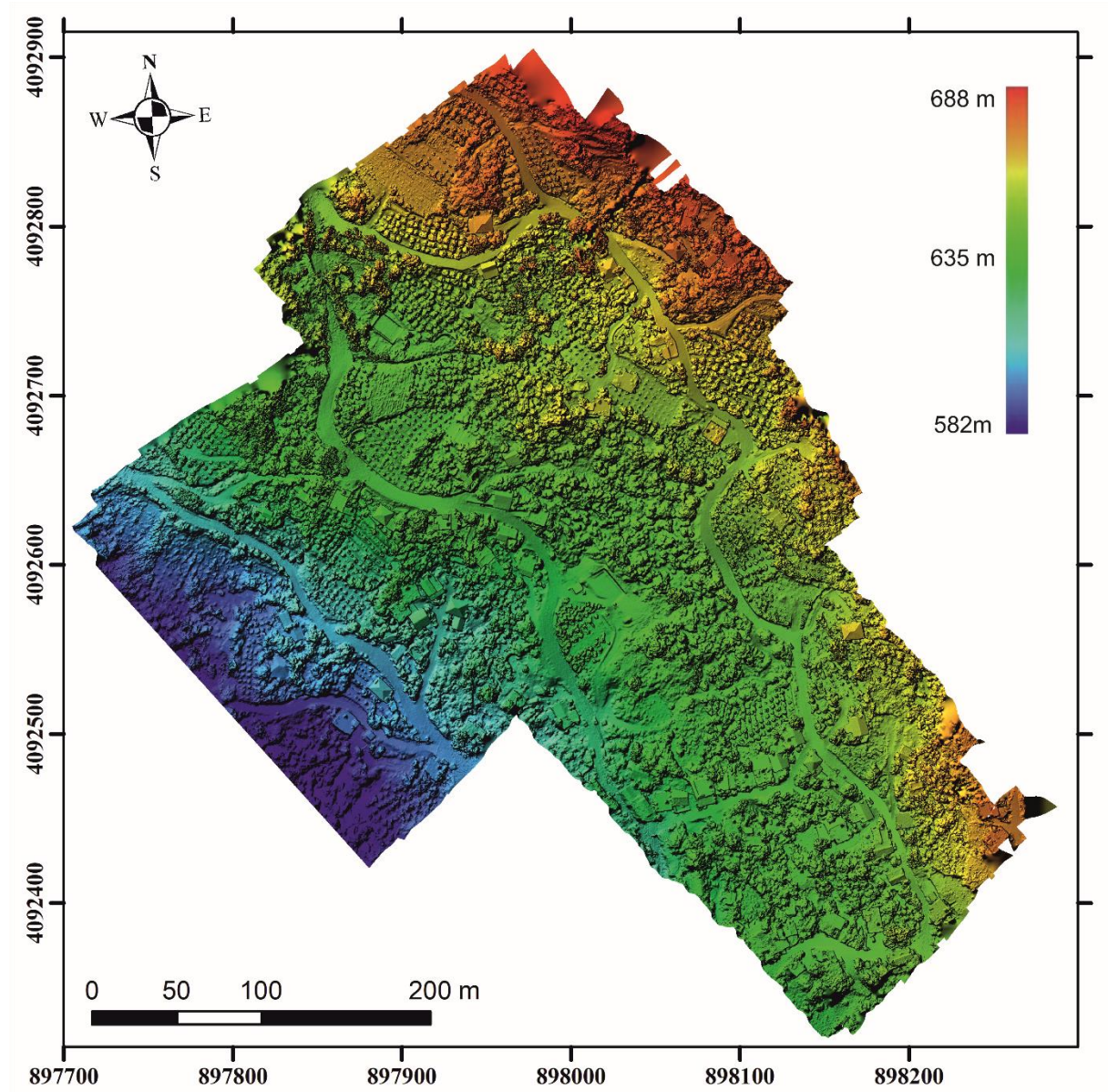
Tablo 4.3. Değirmençay Mahallesi yer kontrol noktaları.

YKN	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	4084433.244	362899.607	632.82
2	4084491.969	362838.992	635.6
3	4084591.382	362962.972	659.894
4	4084523.486	363049.607	661.814
5	4084341.128	363107.335	644.499
6	4084179.275	363175.372	647.809
7	4084331.347	362972.150	621.476

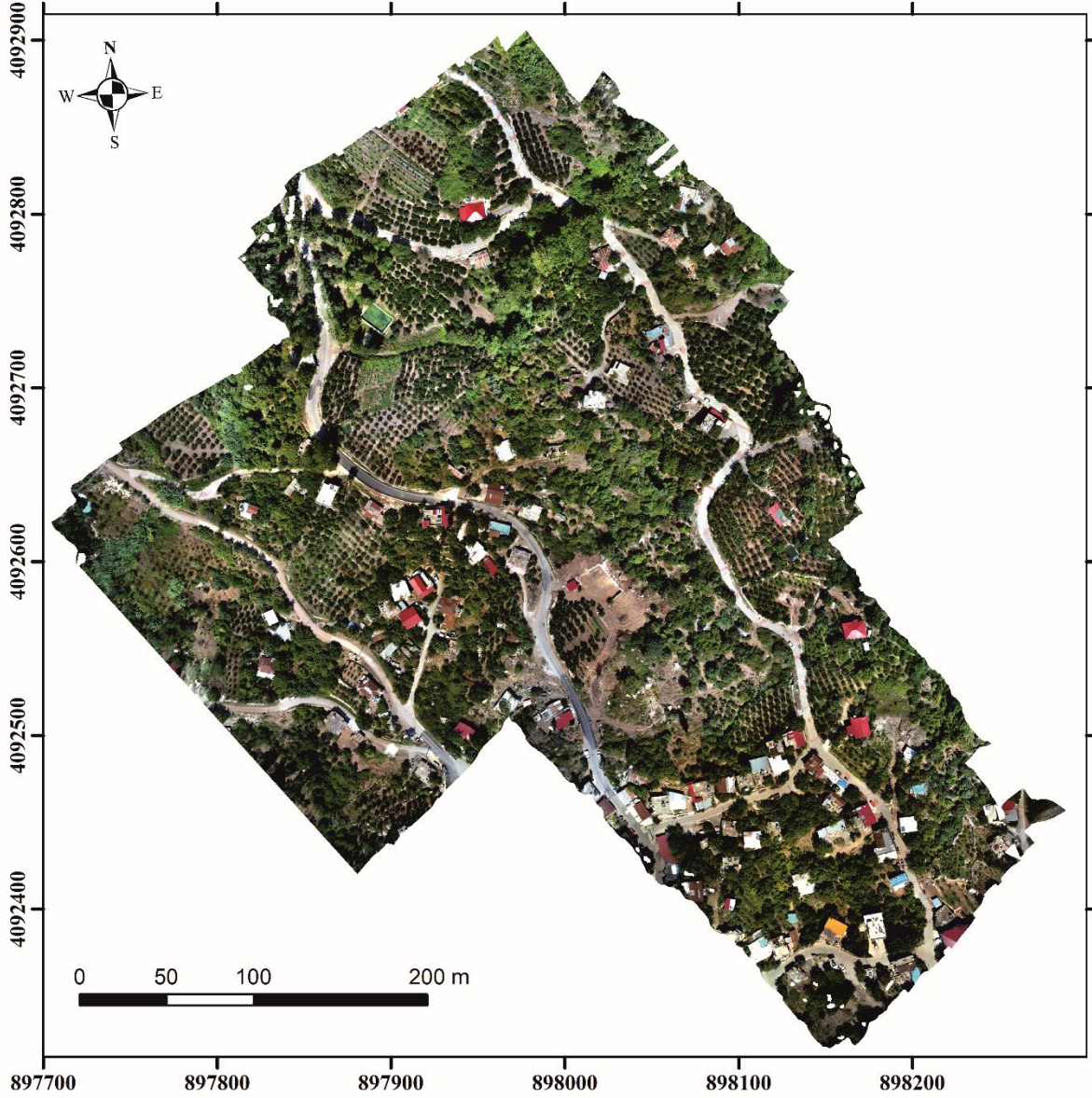
İHA ile çekilen resimler Agisoft Metashape programında modellenmiş ve SYM ve ortofoto oluşturulmuştur. Modellenirken kullanılan YKN ler ITRF96 koordinat sistemindedir. ArcGIS programında SYM (Şekil 4.3) ve ortofoto (Şekil 4.4) jeoreferanslandırılmıştır.

Tablo 4.4. Değirmençay Mahallesi uçuş planı.

Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.19 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	250



Şekil 4.3. Değirmençay Mahallesi sayısal yükseklik modeli.



Şekil 4.4 Değirmençay Mahallesi ortofoto.

4.1.3. Karahacılı Mahallesi Heyelanı

Karahacılı Mahallesi'nde oluşan heyelanlar sonucu tarım alanlarında ve köy yolunda maddi hasarlar meydana gelmiştir. Köy yolu yaklaşık 5 metre kaymıştır ve belediye tarafından yeniden yapılmıştır.

Karahacılı Mahallesi'nde oluşan heyelanlardan sonra bölgede İHA ile resimler çekilmiştir. GPS kullanarak dört adet YKN' nin koordinatları elde edilmiştir (Tablo 4.5). Uçuş planı bilgileri Tablo 4.6'da gösterilmektedir.

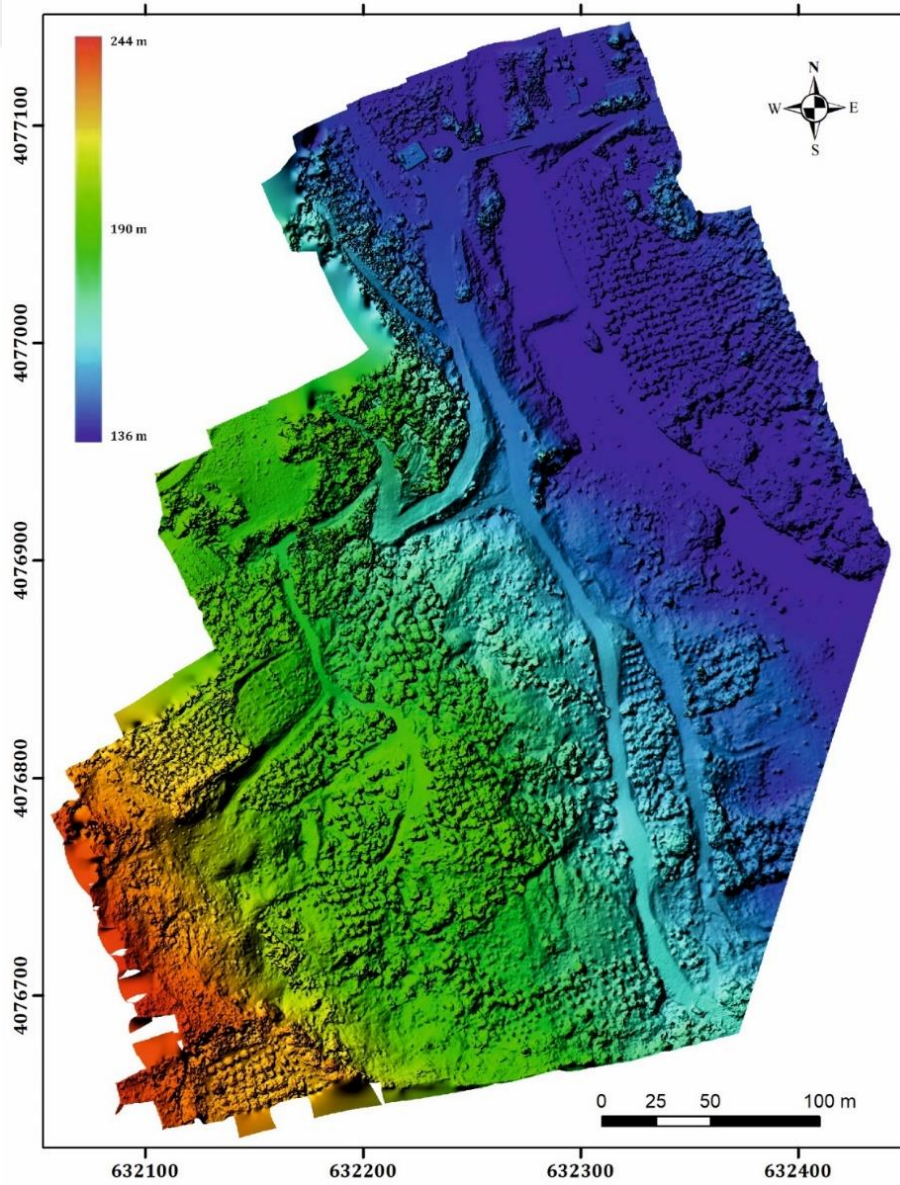
İHA ile çekilen resimler Agisoft Metashape programında modellenmiş ve SYM ve ortofoto oluşturulmuştur. Modellenirken kullanılan YKN ler ITRF96 koordinat sistemindedir. ArcGIS programında SYM (Şekil 4.3) ve ortofoto (Şekil 4.4) jeoreferanslandırılmıştır.

Tablo 4.5. Karahacılı Mahallesi yer kontrol noktaları.

YKN	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	4077008.562	364585.903	154.929
2	4076781.669	364610.595	175.064
3	4076758.315	364668.772	162.317
4	4076864.626	364649.373	156.430
5	4076896.869	364595.444	160.090

Tablo 4.6. Karahacılı Mahallesi uçuş planı.

Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	290

**Şekil 4.5.** Karahacılı Mahallesi sayısal yükseklik modeli.



Şekil 4.6. Karahacılı Mahallesi ortofoto.

4.1.4. Bağcılar Mahallesi Heyelanı

Bağcılar Mahallesinde oluşan heyelanlar sonucu tarım arazisi ve bir adet köy evinde maddi hasarlar oluşmuştur.

Bağcılar Mahallesi'nde oluşan heyelan sonucu dört farklı tarihte İHA ile uçuş gerçekleştirilmiştir. Elde edilen resimler Agisoft Metashape programında modellenmiştir. DSM ve ortofotolar oluşturulmuştur.

GPS kullanarak altı adet YKN' nin koordinatları elde edilmiştir (Tablo 4.7). Heyelan bölgesindeki ilk uçuşa ait teknik bilgiler Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10 ve Tablo 4.11'de gösterilmektedir. Oluşturulan DSM-1 (Şekil 4.9) ve ortofoto-1 (Şekil 4.10) da gösterilmektedir. Oluşturulan DSM-2 (Şekil 4.11) ve ortofoto-2 (Şekil 4.12) da gösterilmektedir. Oluşturulan DSM-3 (Şekil 4.13) ve ortofoto-3 (Şekil 4.14) da gösterilmektedir. Oluşturulan DSM-4 (Şekil 4.15) ve ortofoto-4 (Şekil 4.16) da gösterilmektedir.

Tablo 4.7. Bağcılar Mahallesi yer kontrol noktaları.

YKN	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	4088297.921	389937.058	203.53
2	4088266.151	389901.568	201.934
3	4088341.688	389974.837	209.698
4	4088346.047	390018.879	209.883
5	4088300.252	390105.111	193.517
6	4088178.632	389920.351	181.541

Tablo 4.8. Bağcılar Mahallesi 1. uçuş planı.

Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	146

Tablo 4.9. Bağcılar Mahallesi 2. uçuş planı.

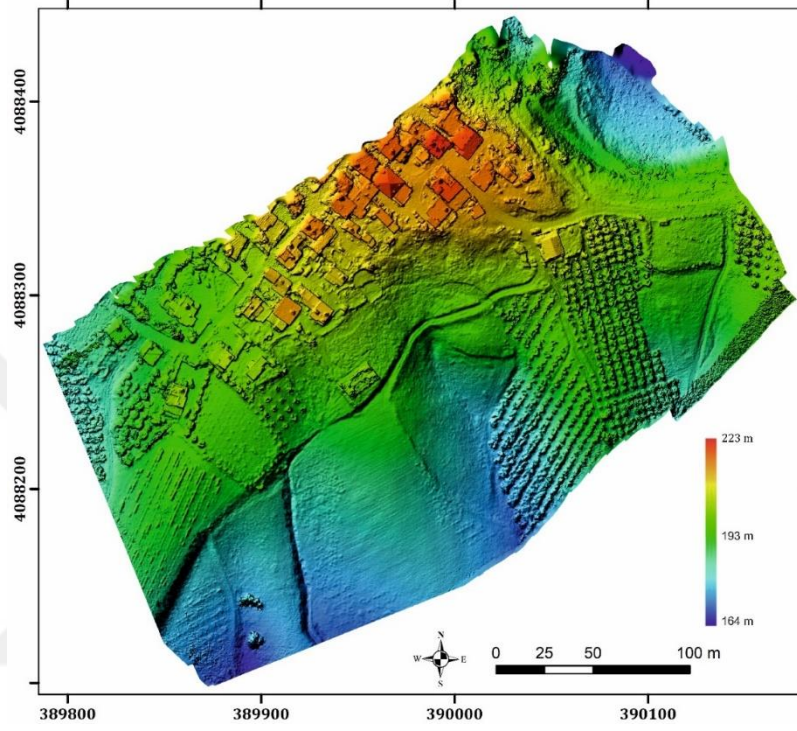
Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	216

Tablo 4.10. Bağcılar Mahallesi 3. uçuş planı.

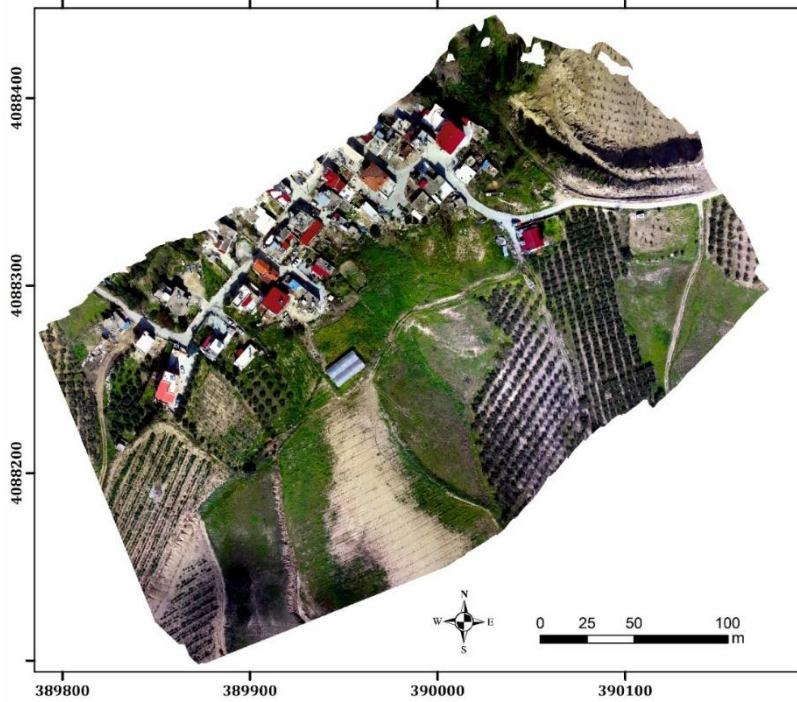
Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	535

Tablo 4.11. Bağcılar Mahallesi 4. uçuş planı.

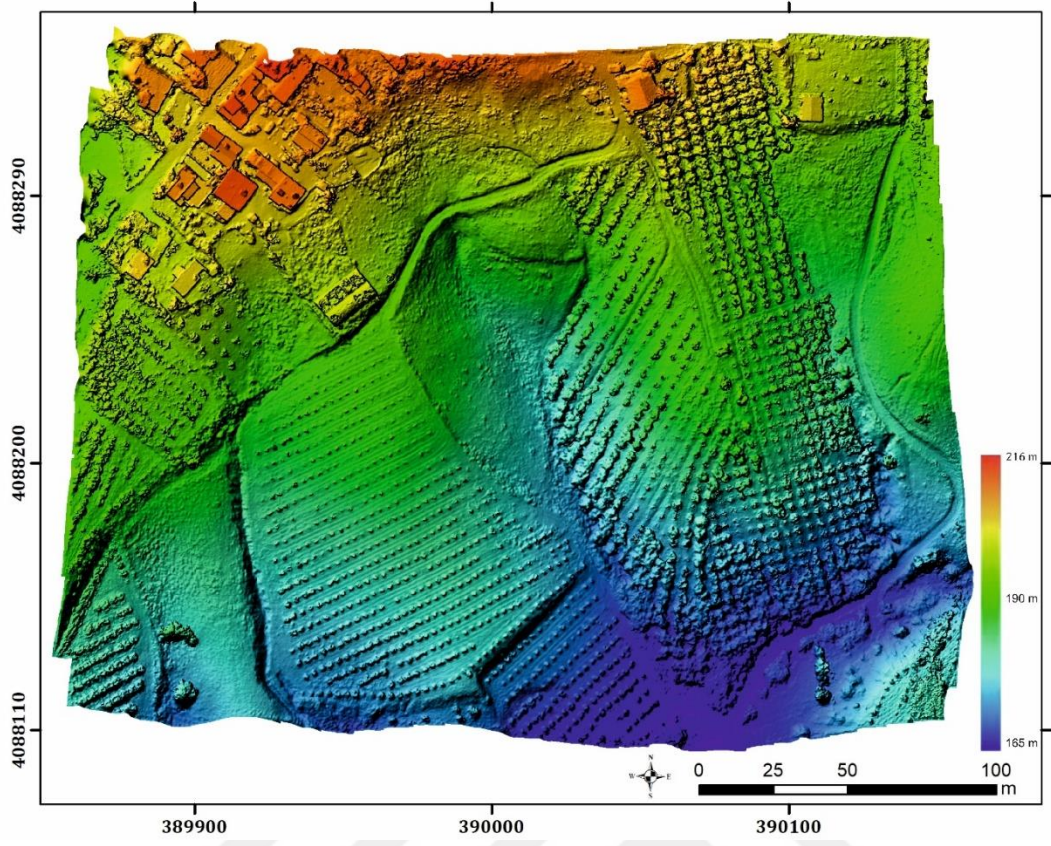
Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	40 m
GSD	1.17 cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	310



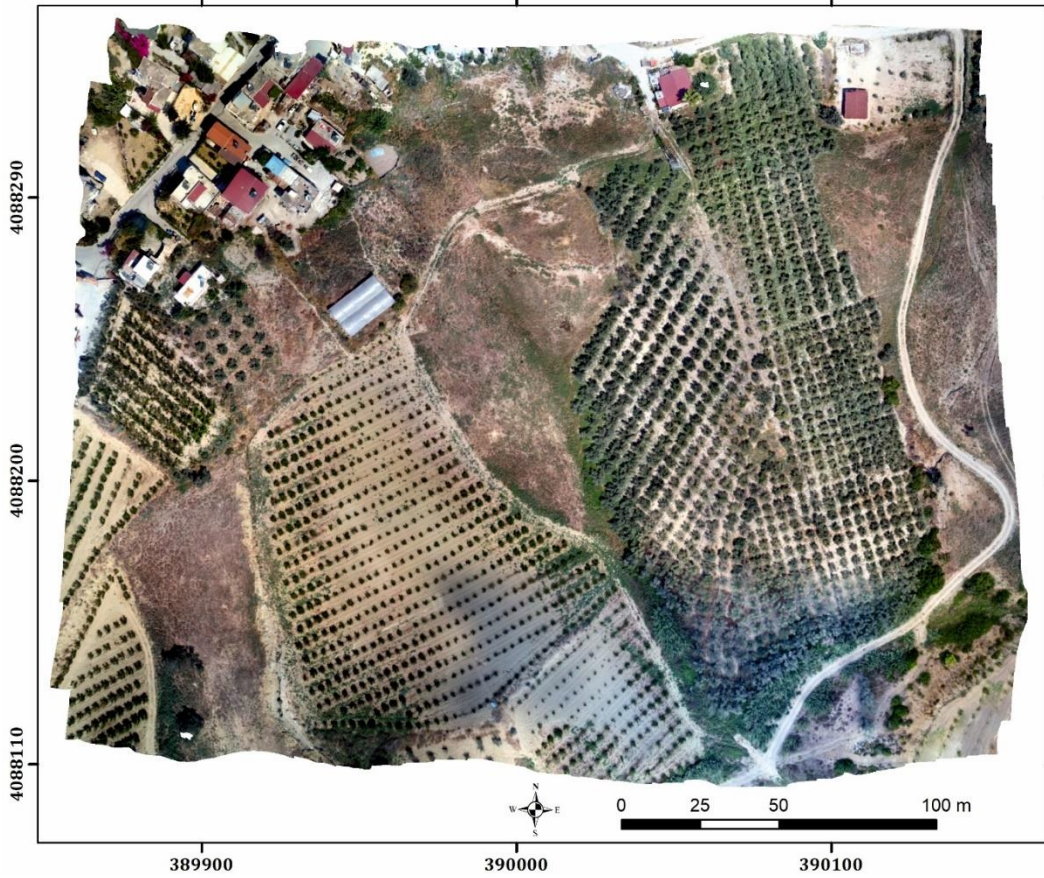
Şekil 4.7. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-1.



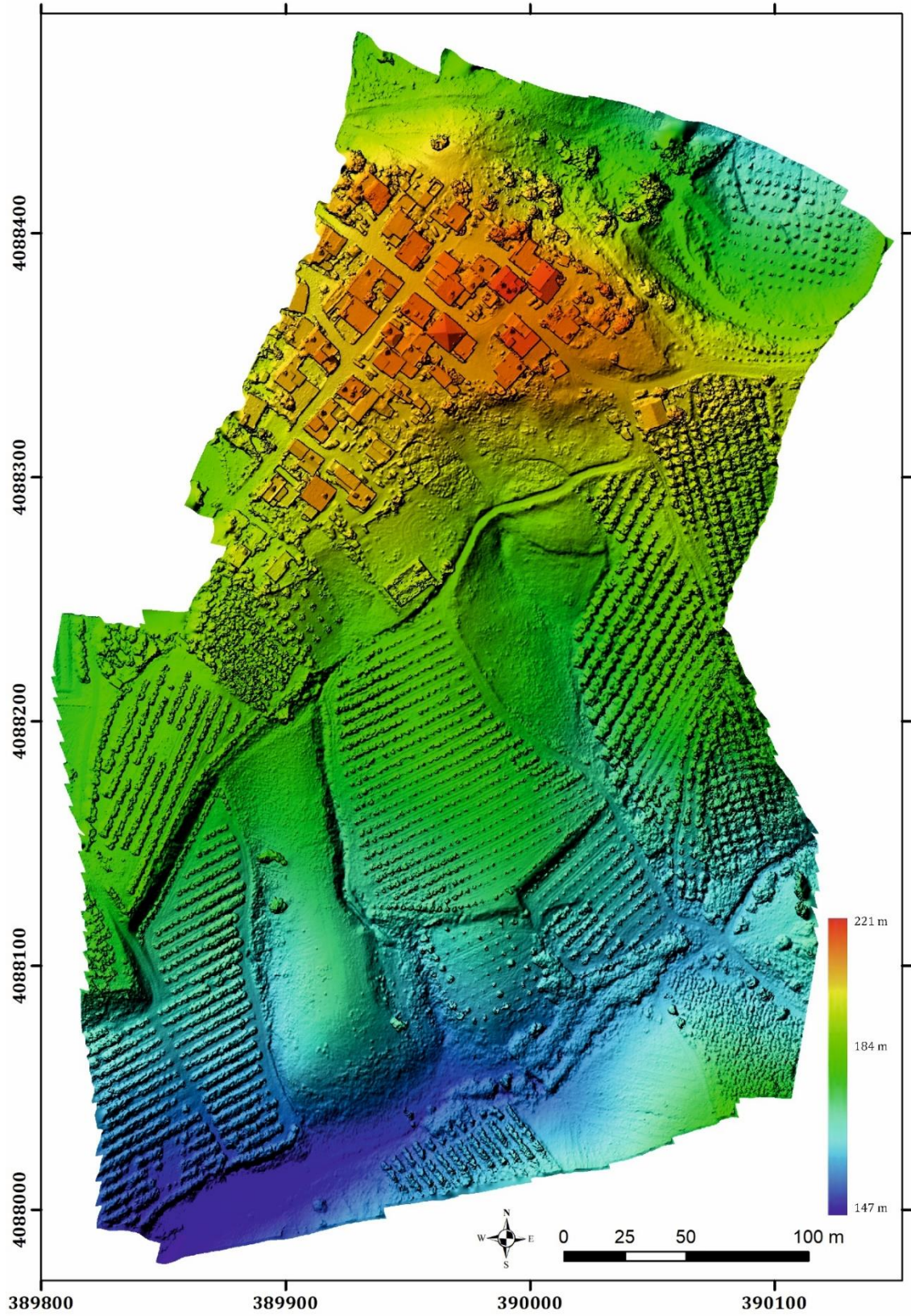
Şekil 4.8. Bağcılar Mahallesi ortofoto-1.



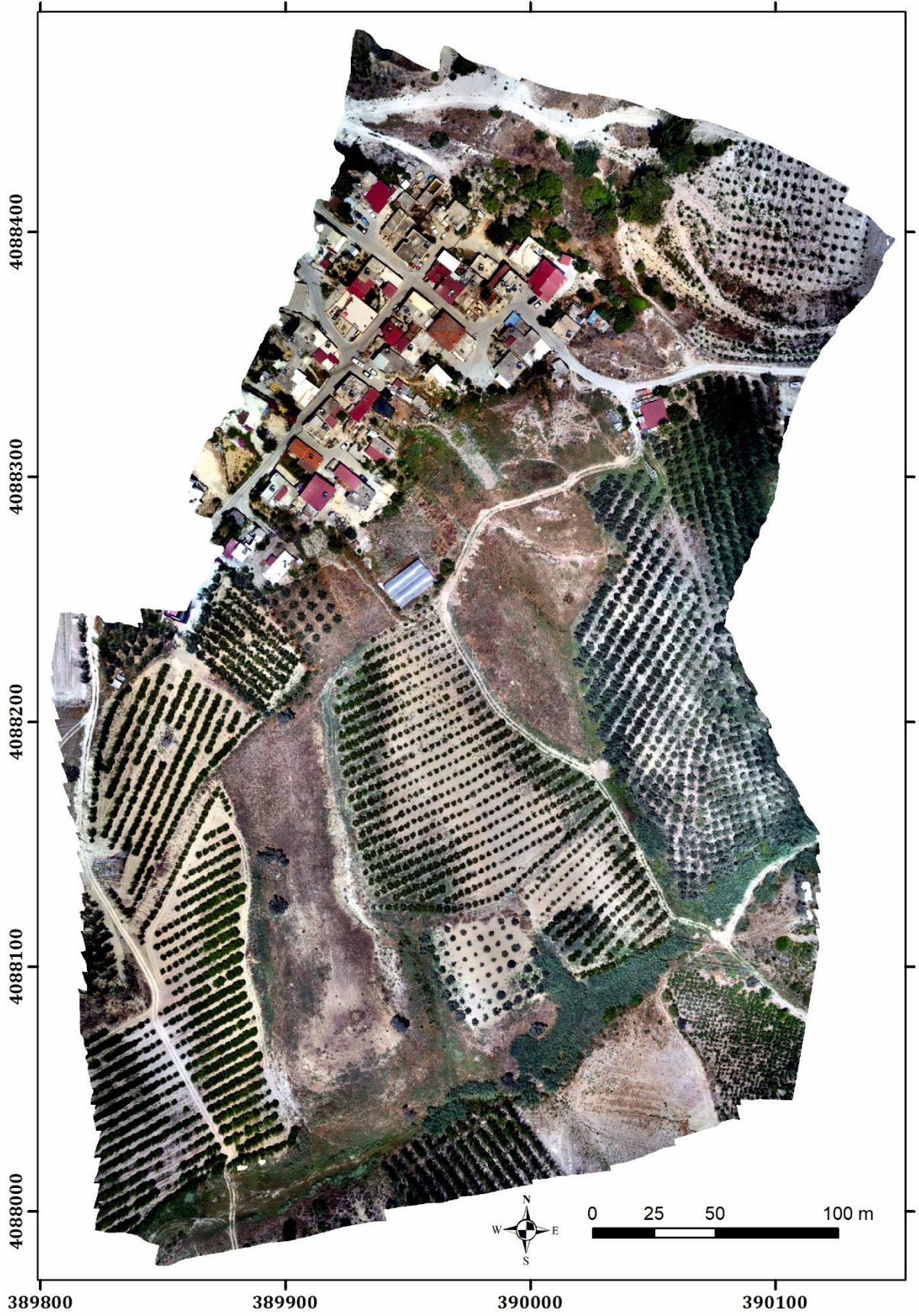
Şekil 4.9. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-2.



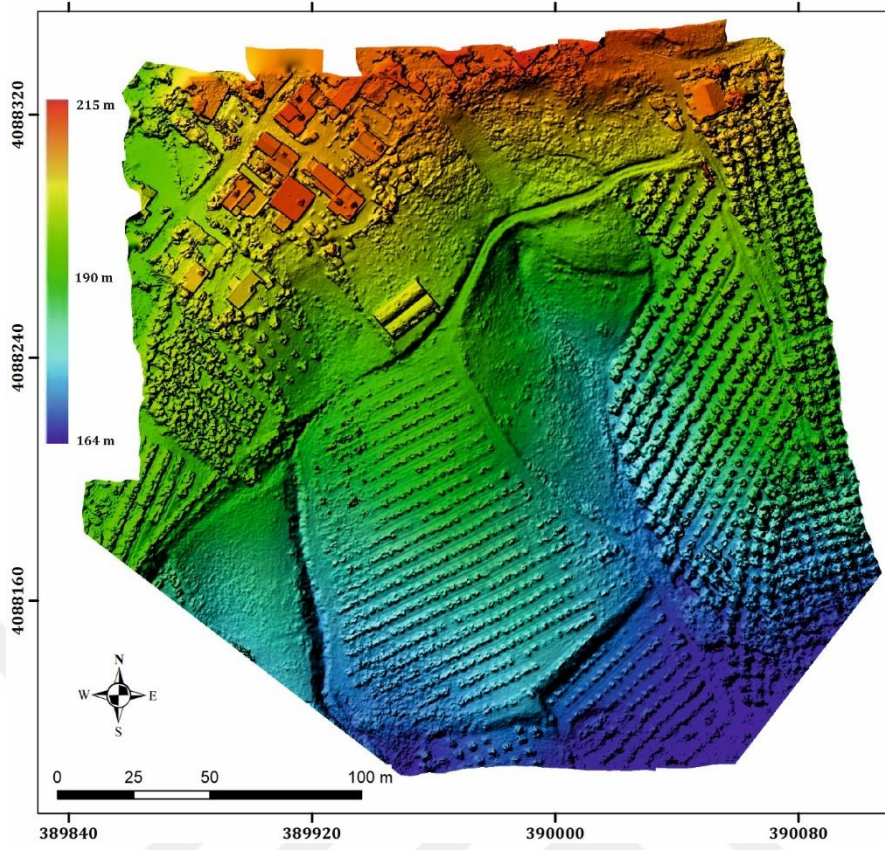
Şekil 4.10. Bağcılar Mahallesi ortofoto-2.



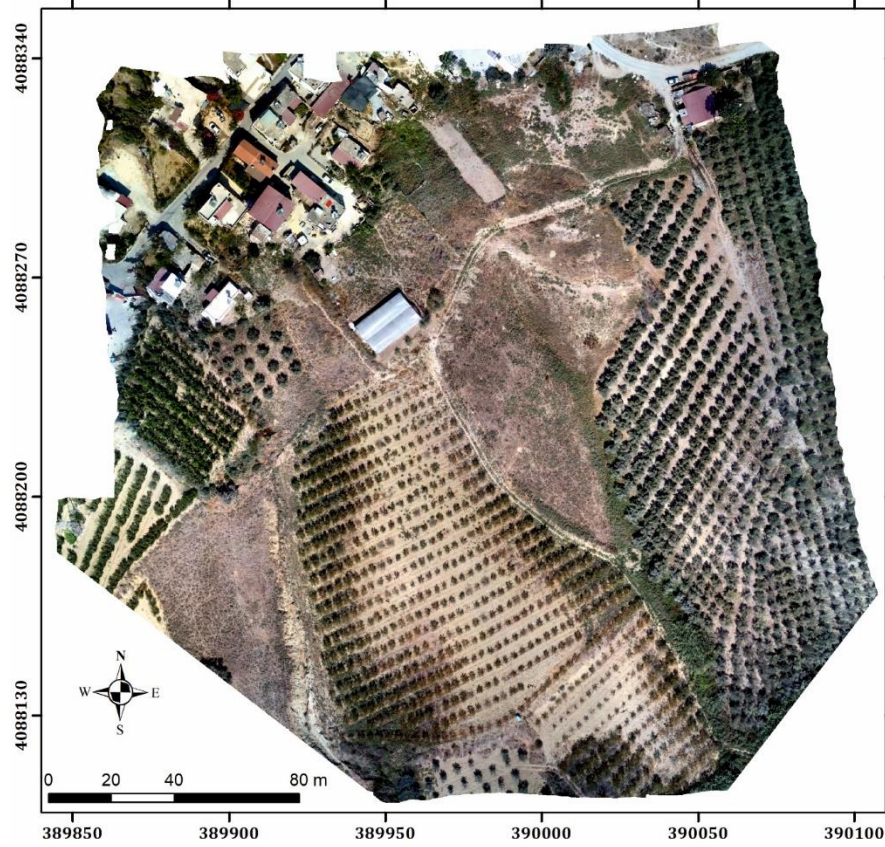
Şekil 4.13. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-3.



Şekil 4.14. Bağcılar Mahallesi ortofoto-3.



Şekil 4.15. Bağcılar Mahallesi sayısal yükseklik modeli-4.



Şekil 4.16. Bağcılar Mahallesi ortofoto-4.

4.2. Kaya Düşmesi Bölgelerinin Modellenmesi

Bu çalışmada iki farklı kaya düşmesi bölgesinin modellenmesi yapılmıştır. Kaya düşmesi modellenmesinde arazinin güncel durumunun belirlenmesi çok önemlidir. UA teknikleri arazinin 3B güncel halini yüksek çözünürlük ve hassasiyette görebilmekteyiz. Bitki durumu ve yapılaşma en son hali elde edilen ortofotolarda rahatlıkla görülebilmektedir.

4.2.1. Karahıdırlı Mahallesi Kaya Düşmesi

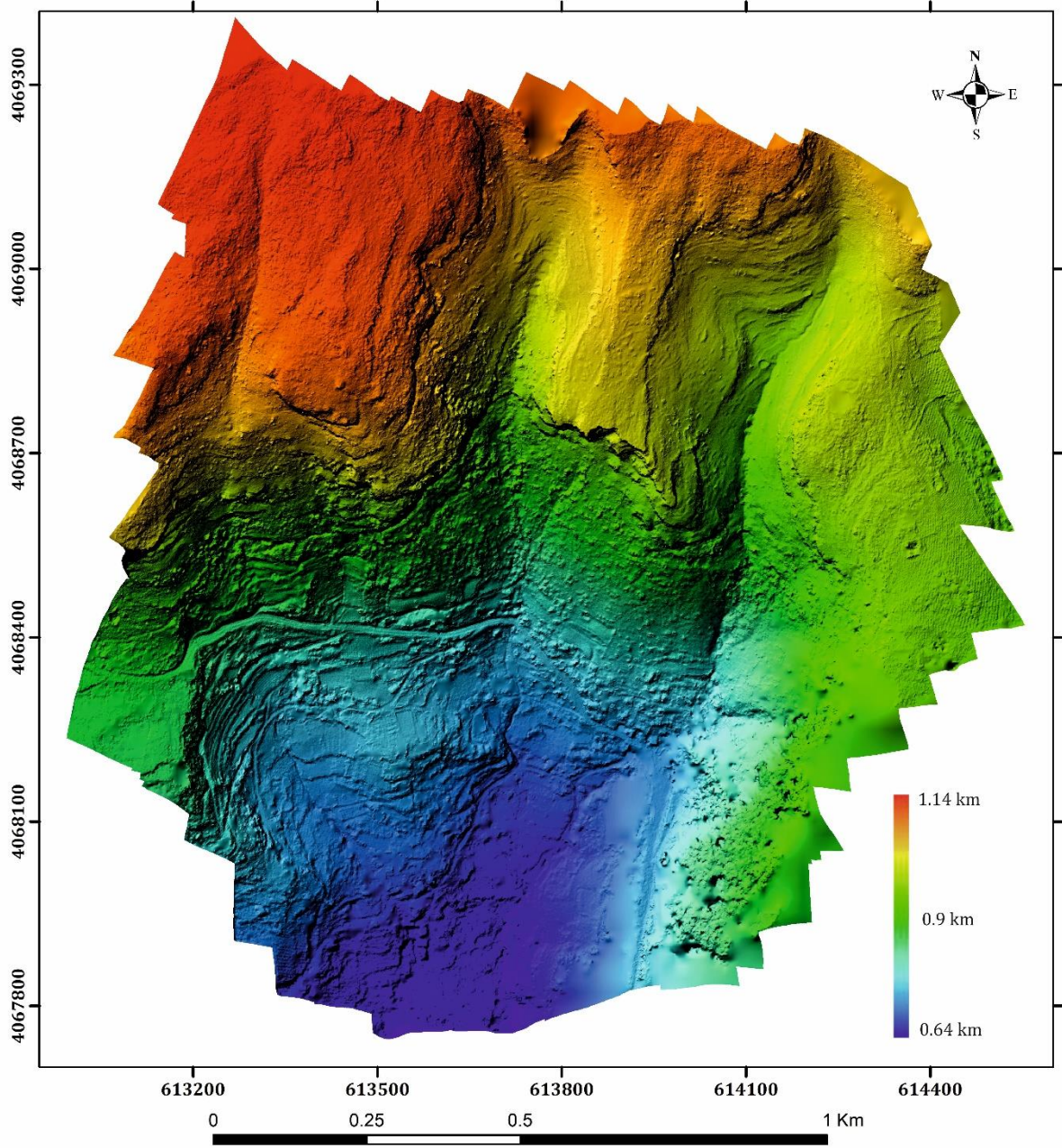
Erdemli İlçesi sınırlarında bulunan Karahıdırlı Mahallesi'nde İHA e-bee (Şekil 4.17) uçuşu yapılmış ve bölge modellenmiştir. Uçuş planı Tablo 4.12'de gösterilmektedir. Oluşturulan DSM (Şekil 4.18) ve ortofoto (Şekil 4.19) de gösterilmektedir.



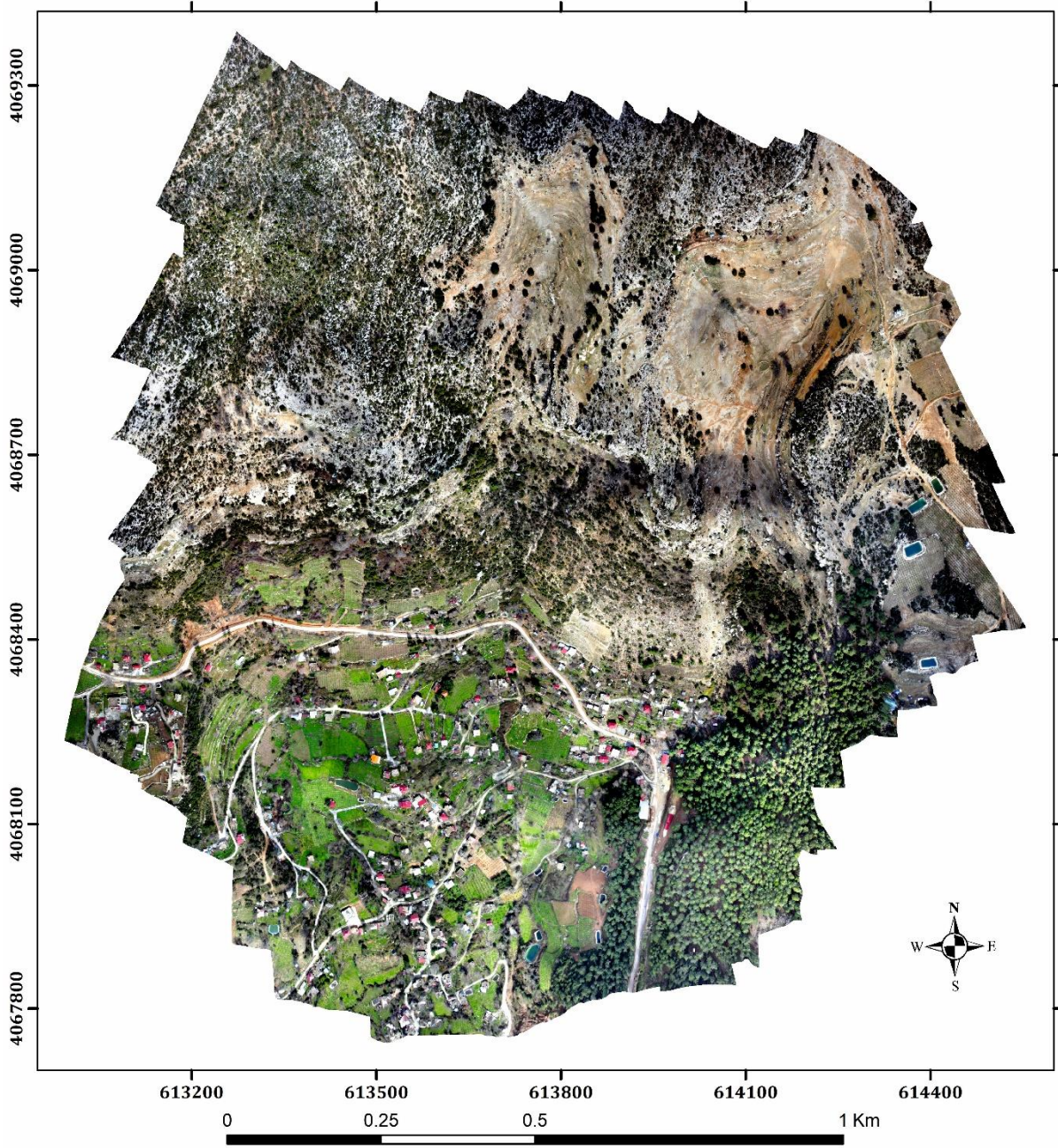
Şekil 4.17. eBee marka İHA.

Tablo 4.12. Karahıdırlı Mahallesi uçuş planı.

Özellik	Değer
Uçuş yüksekliği	m
GSD	1.19cm/pix
Bindirme oranı	%80
Açı	90°
Resim sayısı	162



Şekil 4.18. Karahıdırlı Mahallesi sayısal yükseklik modeli.



Şekil 4.19. Karahıdırlı ortofoto.

4.2.2. Emirler-Değirmençay Yolu Kaya Düşmesi

Emirler-Değirmençay yolunda kaya düşmesi tehlikesi bulunan bir alanda İHA uçuşları yapılmıştır. Agisoft Metashape programında bölge modellenmiştir. Çalışma alanında altı adet YKN kullanılmıştır. Modele ait bilgiler Tablo 4.13’de gösterilmektedir. Yoğun nokta bulutu modelden seyriltilerek xyz formatında çıkartılmıştır. Dosya açık kaynak kodlu bir program olan Discontinuity Set Extractor (DSE) (Süreksizlik Seti Çıkarıcısı) programında açılmış ve bölge modellenmiştir. Süreksizlik setlerinin ve eğim açıları ve yönelimleri belirlenmiştir (Tablo 4.14).

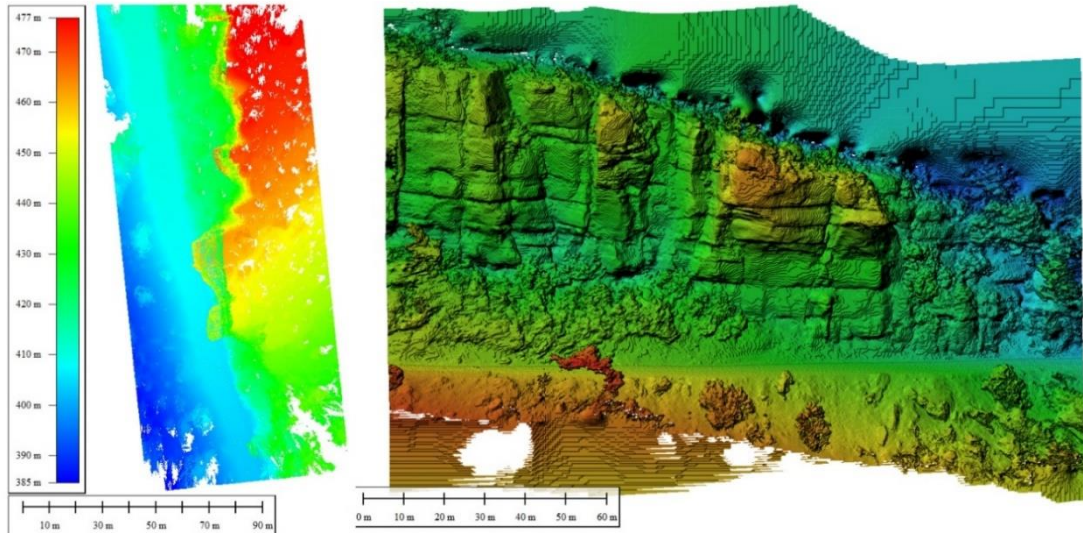
Tablo 4.13. Emirler-Değirmençay Yolu Agisoft Metashape raporu.

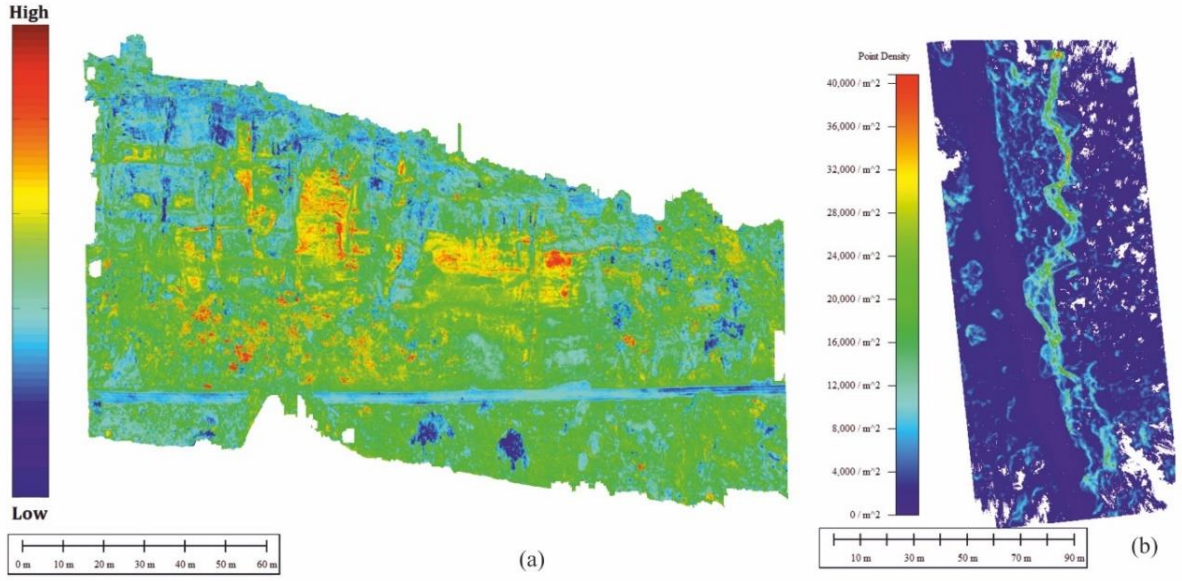
Özellik	Değer
Resim sayısı	306
Uçuş yüksekliği (m)	68.6
Yer çözünürlüğü (cm/pix)	1.83
Bağlantı noktası	969997
Kapladığı alan (km ²)	0.0141
X hata (cm)	70.5712
Y hata (cm)	63.9268
Z hata (cm)	105.042
XY hata (cm)	95.2204
Toplam hata (cm)	141.777

Tablo 4.14. Uyumsuzluk düzlemleri.

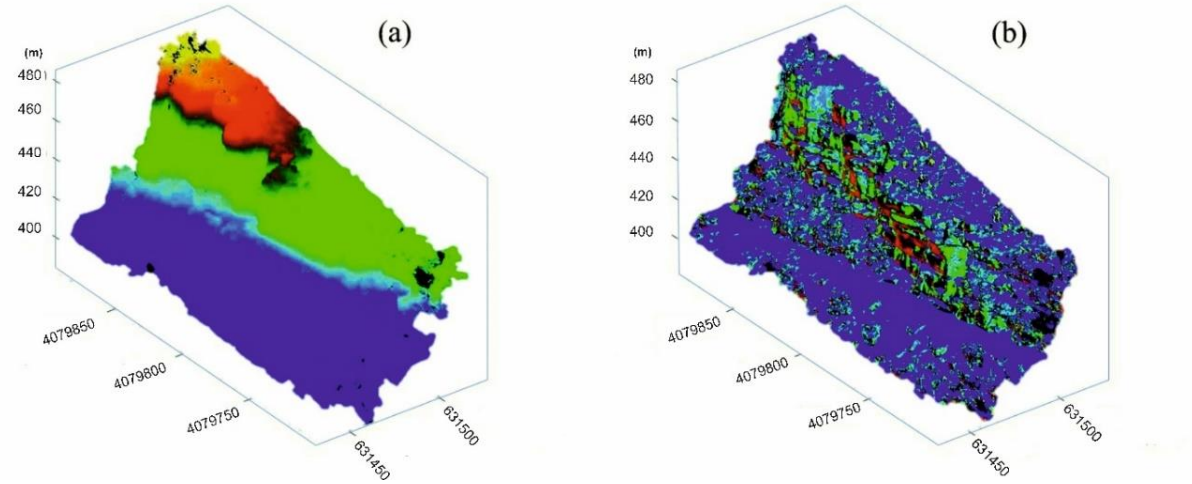
Uyumsuzluk Düzlemi	Eğim yönü	Eğim açısı	Yoğunluk	%
J1	135.01	3.87	7.98	18.04
J2	248.94	36.68	3.15	21.56
J3	205.70	71.01	0.36	5.36
J4	217.22	73.56	0.32	6.80
J5	284.41	81.40	0.29	5.45
J6	106.93	59.57	0.28	6.92
J7	297.47	67.70	0.28	6.68
J8	91.55	82.77	0.27	2.90
J9	70.21	64.63	0.26	4.74
J10	73.45	85.16	0.25	6.63

DSE programında SYM (Şekil 4.20), sıcaklık ve yoğunluk (Şekil 4.21), 3D nokta bulutu ve 3D PPal (4.22), ve kutup yoğunluk (4.23) haritaları üretilmiştir.

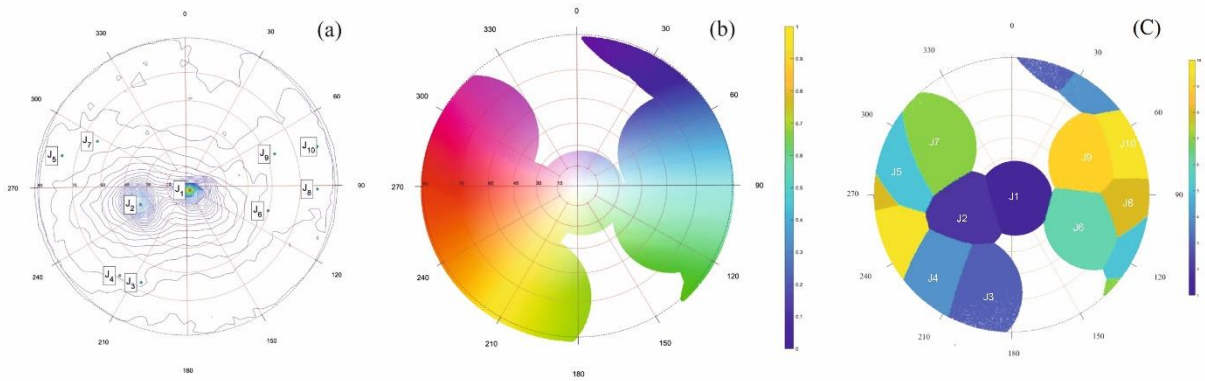
**Şekil 4.20** Emirler-Değirmendere Yolu Sayısal yükseklik modeli (DSE).



Şekil 4.21 Sıcaklık haritası (a) ve yoğunluk haritası (b).



Şekil 4.22 (a) 3D point Cloud ve (b) 3D PPal.



Şekil 4.23. Kutup yoğunluğu (a), Vektör kutupları (b) Temel kutuplar (c).

Emirler-Değirmendere Yolu üzerinde Faro Focus S350 kullanarak 4 adet lazer tarama yapılmıştır (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. Emirler-Değirmendere Yolu lazer tarama.

Lazer taramalar SCENE 2019 programında 6.6 mm hata payı ile modellenmiş ve 3B nokta bulutu modeli elde edilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Lazer taramadan elde edilen 3B model.



Şekil 4.26. SCENE programından üretilen ortofoto.

4.3. Kaya Düşmesine Karşı Alınabilecek Önlemler

Kaya düşmesi tehlikesine karşı yapılabilecek işlemleri önleme, korunma ve kaçınma olarak kategorize etmekteyiz (AFAD, 2020). Önleme, kayaları yerine sabitleyerek düşmesini engelleme çalışmalarıdır. Koruma, kayalardan zarar görmeyi engellemek için alınan tedbirlerdir. Kaçınma kayalardan zarar görmeden insanların ve yapıların ortamdan uzaklaştırılmalarıdır.

Uygun çözüm yönteminin seçilmesi konusunda koruma yapılacak bölgenin fiziksel ve çevresel özellikleri hangi yöntemin seçileceği konusunda çok önemlidir. Kayaların sertliği ve süreksizlik setlerinin özellikleri kayaların düşme tehlikesine nasıl bir önlem alınması gerektiği konusunda belirleyici faktörlerdendir.

Kaya düşmesine karşı alınabilecek önlemler aktif ve pasif önlemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Nasery ve Çelik, 2020). Kaya harekete geçmeden önce durdurmaya aktif önlem, kaya harekete geçtikten sonra insanlara veya yapılara zara vermeden durdurmaya pasif önlem denilmektedir. Bu yöntemler Tablo 4.15’de gösterilmektedir. Kaya düşmesi önleme yöntemlerinin çoğunluğu periyodik bakım gerektirmektedir. Bu yüzden karar vermeden önce fayda-maliyet hesabının yapılması çok önemlidir.

Tablo 4.15. Kaya düşmesine karşı alınabilecek önlemler (Nasery ve Çelik, 2020; Çapar, 2018).

Aktif önlemler	Pasif önlemler
Ankrajlı çelik kafesler	Hendek
Çivi	Sabit ve esnek bariyerler
Bulon	Ağlar
Püskürtme beton	Kaya sundurmaları
Payanda	
Drenaj	
Kablo ile sabitleme	

Yağmur suyunun havadaki karbondioksiti ve oksijeni eriterek taneler arasına girmesiyle kayalarda mekanik ve kimyasal ayrışma gözlenmektedir (Uzuner, 2001). Bu durum taneler arası bağların zayıflamasına ve kayaların parçalanmasına sebep olmaktadır (Tarhan, 1996).

Öztürk vd., 2022, Niğde İli’nde kaya düşmesi görülen bölgede İHA uçuşları ile oluşturduğu SYM verisini RAMMS programında modellemiş ve istinat duvarı örerek kaya bloklarının çevreye zarar vermesini önlemeyi önermiştir. Taga ve Zorlu (2017) Karaman Ermenek’te yapmış oldukları çalışmada bölgedeki kayaların temizlenmesini önermişlerdir. Bulut (2019) Bitlis İli Muştakbaba Mahallesi’ndeki kayalık alanda Geo5 programını kullanarak yapmış olduğu analiz sonucunda ankrajlı çelik kafes modeli ile çözüm önerisinde bulunmuştur. Ertuğrul ve Kiwanuka (2023) Ankara-Pozantı Yolu’ndaki kaya sundurmalarının Geofom ile güçlendirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Kayabaşı (2018) Eskişehir Kızılınler Köyü’ndeki demiryolu üzerindeki kayalık bölge için dengesiz blokların kaldırılması, ağ ve basit bariyerler önermiştir. Geniş vd., (2017) Zonguldak-Ankara Yolu’nda Gökgöl Tüneli’nde kaya

düşmesi için esnek olmayan bariyer sistemini önermişlerdir. Ulaş ve Kılıç (2020) Ankara Keçiören’de bir maden ocağında blokların kaldırılması ve ankrajlı çelik kafes uygulanmasını önermişlerdir. Nasery ve Çelik (2020) Trabzon Kaymaklı Mahallesi’nde kaya düşmesi sorununa karşı blokların kontrollü temizlenmesi, istinat duvarı ve esnek çelik bariyer yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Keskin (2019) Zonguldak-Kilimli Yolu üzerinde kaya düşmesi sorunu için beton bariyer ve çelik kafes önermiştir.

Bu tez çalışmasında ise Karahıdırlı Mahallesi’nde yerleşim yerinin çok yakınında yüksek eğime sahip çok fazla sayıda irili ufaklı kumtaşı, çakıltası ve kireçtaşıyla oluşan sedimanter kayalar bulunduğu için bulon, kaya çivisi ve ankrajlı çelik kafes yöntemlerini önermekteyiz. Emirler-Değirmendere Yolu’nda kaya düşmesi bölgesi yola çok yakın olduğu için aktif yöntemlerden ankrajlı çelik kafes yöntemini önermekteyiz.

4.3.1. Aktif Yöntemler

Kaya düşmesi tehlikesi olan bölgede kaynak bölgedeki malzemenin kaymasını engelleyecek önlemlerdir. Aktif yöntemde kayaların düşmesinin engellenmesi hedeflenmektedir. Bu amaç için kaya düşmesini tetikleyen kuvvetler azaltılmakta, karşı koyan kuvvetler ise arttırılmaktadır (AFAD, 2020).

4.3.1.1. Ankrajlı Çelik Kafesler

Kaya blokların zayıflamasını engellemektedir. Eğim açısı azaldıkça tel kafesin şev yüzeyi ile teması daha fazla olacağı için bu sistem en iyi düşük eğimli şevlerde uygulanmaktadır. Gergisiz ve gergili olmak üzere iki çeşidi vardır. Ankrajlı çelik kafes yöntemi çalışma alanının Karahıdırlı bölümünde kayaların fiziksel ayrışmaya uygun özellikte olması nedeniyle uygulanmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Emirler-Değirmendere Yolu’nda yola çok yakın olmasından ve yüksek eğime sahip olmasından dolayı ankrajlı çelik kafes yöntemini önermekteyiz.



Şekil 4.27. Ankrajlı çelik kafes.

4.3.1.2. Çivi

Kaya çivileri potansiyel zayıflık düzlemi boyunca kayma dayanımını arttıran bir güçlendirme yöntemi olup, nispeten düz şevlerde uygulanmaktadır (AFAD, 2020). Kaya blokları arasında kilitlenmeye neden olan kaya çivileri kaymaya karşı direnci artırır. Kaya bloklarının hareketini önlemek için uygulanır. Kaya çivileri bulon ve ankrajlardan daha ekonomik bir çözüm yöntemidir (AFAD, 2020).

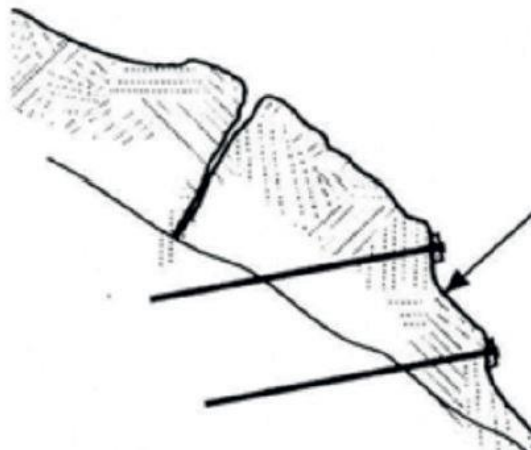
Kaya çivisi yöntemi Karahıdırlı yöresindeki üst rakımdaki bazı kayaların duraysız özellik sunması nedeniyle uygulanması önerilmektedir.



Şekil 4.28. Çivi.

4.3.1.3. Bulon

Kaya bulonu çekme gerilmesi oluşturarak güçlendirme sağlamakta ve kaya bloğunu bulunduğu yere sabitlemek için kullanılmaktadır. Bulon aralığı tasarımı kontrol eden önemli bir parametredir. Bulon Karahıdırlı yöresindeki üst kotlardaki kayaların duyarlılığını sağlamak için çivi ile birlikte kullanılmalıdır.



Şekil 4.29. Bulon.

4.3.1.4. Püskürtme Beton

Oluşturulan harcın şev yüzeyine püskürtülerek şevin çekme ve kesme dayanımını arttırmak amacıyla yapılan koruma yöntemidir (Çapar, 2018). Püskürtme betonun etkinliği kaya yüzey koşullarına bağlı olduğu için kaya yüzeyi kırılmış kaya parçalarından, toprak ve bitkiden arındırılmalıdır (AFAD, 2020).

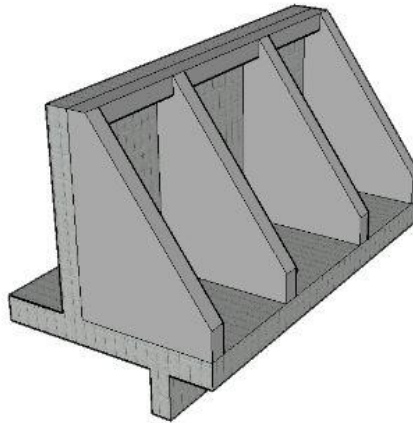


Şekil 4.30. Püskürtme beton.

4.3.1.5. Payanda

Zayıf kaya bloklarını yerinde tutmak ve asılı blokları desteklemek için kurulan payandalar arazinin geometrik yapısına göre tasarlanırlar (AFAD, 2020).

Malzeme gereksinimi ve tasarım özellikleri ekonomik açıdan uygun olmadığı için kaya bloğunu yerinden kaldırmaya uygun olmayan yerlerde ve şevin duyarlılık bakımından kritik öneme sahip kısımlarında kullanılması önerilmektedir (AFAD, 2020).



Şekil 4.31. Payanda.

4.3.1.5. Drenaj

Şevde drenaj deliklerinin açılması, şevden suyun uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bu durum şev içerisindeki su basıncını düşürmektedir.



Şekil 4.32. Drenaj.

4.3.1.6. Kablo ile Sabitleme

Kablo ile sabitleme kontrollü bir şekilde yerinden kaldırılması mümkün olmayan potansiyel duraysız kayaların çevredeki yerleşim yerlerine ve insanlara zarar vermesini engellemek için uygulanan bir tekniktir (AFAD, 2020). Dokuma çelik halattan yapılmış kabloların sayısı blok şekli ve boyutuna göre belirlenmektedir.



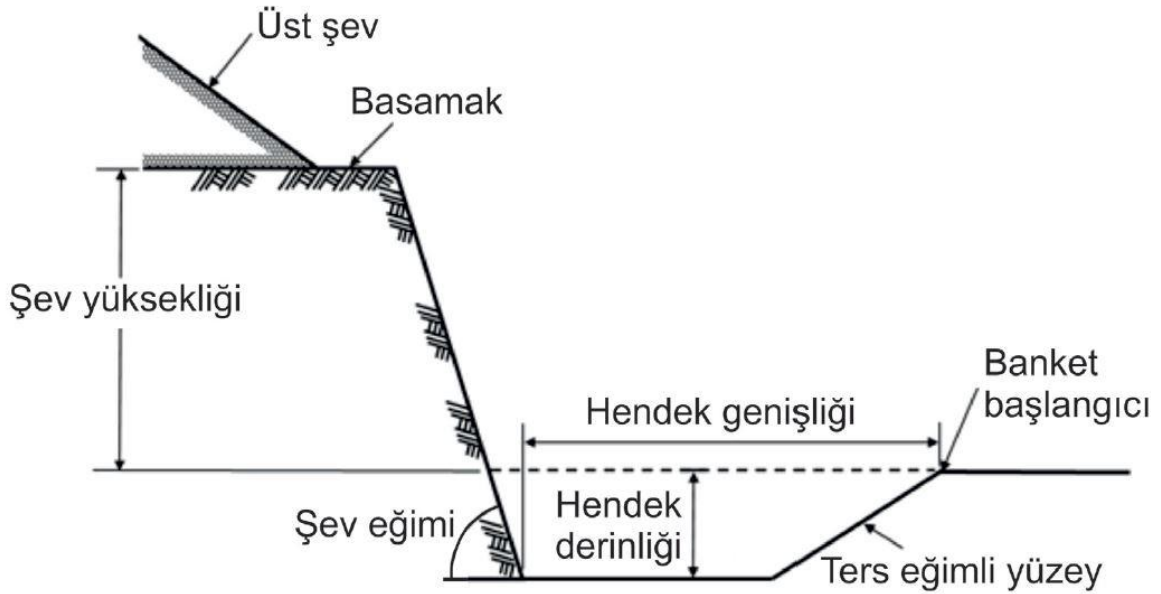
Şekil 4.33. Kablo ile sabitleme.

4.3.2. Pasif Yöntemler

Pasif yöntemler kaya düştükten sonra insanlara ve çevreye zarar vermesini engellemek amacıyla yapılan çalışmalardır. Kaya kütlelerinin davranışını belirlemek amacıyla 3B olarak düşme modellemesinden elde edilen parametreler kullanılarak uygun çözüm yöntemi sunulabilmektedir.

4.3.2.1. Hendek

Şevin taban kısmında yeterli bir alan olması durumunda hendekler ekonomik bir çözüm olarak görülmektedir. Hendeğin doğru geometride projelendirilmesi gerekmektedir. Derinliği, genişliği, yeri ve taban yapısı göz önüne alınması gereken parametrelerdir (Akın vd., 2019). Kaya blokları hendekte toplanır ve çevreye zarar vermesi engellenir. Hendek imalatı ve bakımı ekonomik olduğu için nüfusu az olan yerleşim yerlerinde tercih edilmektedir (Akın vd., 2019).



Şekil 4.34. Hendek.

4.3.2.2. Sabit ve Esnek Bariyerler

Sabit ve esnek bariyerler kayaların enerjilerini sönmölemek için örölen beton, ahşap veya toprak yapılarıdır. Bariyerlerin tutma kapasitesinin ve çevredeki kayaların sahip olabilecekleri enerjinin belirlenmesi gerekmektedir. Düşen kayalar bu yapılar sayesinde etrafa zarar vermeden bariyerlerin dibinde depolanırlar.



Şekil 4.35. Sabit toprak bariyer.



Şekil 4.36. Esnek bariyer.

4.3.2.3. Ağlar

Kaya yüzeyine yakın ağ serilerek kaya parçalarının etrafa saçılması engellenebilir. Kaya bloklarının enerjisi ağ tarafından sönmölenir. Kaya bloklarının momentumunu en az olabilmesi için kaya bloklarının üst kısmına serilmesi gerekmektedir.



Şekil 4.37. Ağ.

4.3.2.4. Kaya Sundurmaları ve Tüneller

Kaya sundurmalarının amacı kayaların enerjisini sönmölemekdir. Enerjiyi geniş alanlara yayarak bir noktada toplanmasını engellerler. Alınabilecek önlemlerin maliyetli olması durumunda kullanılabilecek bir seçenektir.



Şekil 4.38. Kaya sundurmaları.



Şekil 4.39. Tünel.

4.4. Heyelana Karşı Alınabilecek Önlemler

Heyelan riski görülen bölgelerde alınabilecek bazı önlemler ile heyelan olması tamamen veya kısmen engellenebilmektedir. Bunlar:

- Tarım alanlarında drenajı sağlayıcı arazi ıslahı ve korumalı tarım uygulamaları yapılmalı
- Havzaların yukarı kesimlerinde gereksiz, aşırı ve tekniğine uygun olmayan yol yapım çalışmalarının kısıtlanması, denetim altına alınmalı
- Dere yataklarının kenar ve civarında taşkın sınırlarında yerleşime izin verilmemeli
- Tüm arazilerde yağmur suyu drenaj sistemi oluşturulmalı, atık sular denetim altına alınmalı
- Dere yataklarındaki usulsüz yapı ve tesisler kaldırılmalı, dere yatakları temizlenmeli
- İstinat duvarları örülmeli
- Zemin sertleştirilmesi ve iyileştirilmesi yapılmalı
- Bitki örtüsünün korunması sağlanmalı

Aşırı yağış sonucu oluşan heyelan bölgelerinde hendek, kanal, oluk gibi drenaj sistemleri kullanılarak yeraltı suyu seviyesinin dengesi korunmakta ve kayma engellenebilmektedir (Topaçlı, 2023). Aydın ve Özer (2023) heyelan bölgesinde drenler ile yeraltı suyu seviyesini düşürmeyi ve sevi düzenleyerek heyelanı önlemeyi önermişlerdir. Erenoğlu ve ark. (2022) drenaj sistemin yeri tespitinde İHA teknolojisinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Aydın ve Özer (2023) yatay drenler ile yeraltı suyu seviyesini düşürmeyi önermişlerdir. Canoğlu (2018) Ordu İli'nde heyelan bölgesinde yapmış olduğu çalışma sonucunda iyi sıkışmamış zemine infiltre olan suların boşluk suyu basıncını arttırdığını belirtmiş ve drenaj sistemi kurulmasını önermiştir.

Genç (2010) İstanbul İli Avcılar İlçesi'nde heyelan bölgesinde yapmış olduğu çalışma sonucunda şevin yatıklaştırılmasını, fore kazık ve drenaj kurulmasını önermiştir. Pınarlık (2017) heyelan bölgelerinde zemin iyileştirme amacıyla kayma ve çekme mukavemetinde artış sağladığı için geosentetiklerin kullanılması önermiştir. Çoruk ve Kavak (2020), yüksek eğimli heyelan bölgesinde fore kazıklardan oluşan destek yapısının imalatını önermişlerdir. Kaba ve Türköz (2019) geogrid donatılı duvarın Düzce İli'ndeki heyelan bölgesinde kullanılmasını önermişlerdir.

Özdemir (2006) Adana-Mersin Otoyolu üzerinde oluşan heyelanlar için topluk kısmına yük konulmasını, drenaj sağlanmasını ve yamaç eğimlerinin mümkün olduğunca düşürülmesi gerektiğini önermiştir. Taga vd., (2015) Mersin-Tarsus Otoyolu'nda oluşan heyelan için drenaj ve istinat duvarı önermişlerdir. Ataş (2017) Mersin İli Tarsus-Çamlıyayla Otoyolu'nda oluşan heyelan için heyelanın topluk bölgesine kaya dolgusu, heyelan bölgesinde yük hafifletme ve drenaj önerilerinde bulunmuştur. Orhan (2022) Mersin İli Tarsus İlçesi'nde görülen heyelan için kaya dolgu ve fore kazık sistemlerini önermiştir.

Türkiye'de en çok heyelan Karadeniz Bölgesi'nde görülmektedir. Zonguldak Devrek İlçesi'nde yol yapımı sırasında heyelanı önlemek için drenaj, fore kazık ve beton bariyer ile yamaç stabilitesinin sağlanması önerilmiştir (Özdemir ve Kulaksız, 2019). Filiz vd., (2017) Rize Gündoğdu'da yaptıkları çalışma sonucunda yamaç eğim açısının düzeltilmesini, istinat duvarı yapılmasını, drenaj sistemi kurulmasını önermişlerdir.

Çalışma alanlarımızda aşırı yağış, tarımsal sulama kaynaklı nemli toprak ve eğimli arazi yapısı görülmektedir. Bu durumda heyelan bölgelerinden su drenaj sistemi oluşturularak uzaklaştırılmalıdır. Arazide çalışmaları ile yumuşak zemin tespit edilmeli ve çimento ile güçlendirme yapılmalıdır. Zeminin kaymasını engellemek için eğimin aniden arttığı yerlerde istinat duvarı örülmelidir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sürdürülebilir bir afet risk yönetim sistemi oluşturabilmek için arazinin güncel modelini oluşturmak çok önemlidir. Çevre ile ilişkilerimizin sağlıklı bir şekilde yönetilebilmesi ve huzurlu bir yaşantı sürebilmemiz için doğal afetlere karşı alınabilecek önlemlerin daha sağlıklı bir şekilde planlanabilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada doğal afet bölgeleri 3B olarak modellenmiştir. Bu çalışmada üretilen DSM'ler sayesinde çalışma alanlarının eğimli olduğunu, ortofotolar sayesinde ise güncel durumunu, bitki örtüsü ve binaları 2B olarak tespit edilmiştir. Afet bölgelerinin düzenli olarak izlenmesi sonucunda alınabilecek önlemler daha net ortaya çıkacaktır.

Çalışma sahalarımızdaki yıllık ortalama yağış miktarları 922.7 kg/m^2 olarak tespit edilmiştir. Bu durum ise çalışma alanlarının aşırı yağış tehlikesi altında olduğunu göstermektedir. Süreksizlik setleri su ile dolmakta ve boşluk suyu basınçları artmaktadır. Bunun için drenaj ile suyun sistemden uzaklaştırılması gerekmektedir.

Karahıdırlı Mahallesi'ndeki kayalar yerleşim yeri için tehlike oluşturmaktadır. Kayalarda fiziksel ve kimyasal ayrışmalar görülmektedir. Yüksek eğime sahip arazide aşırı yağış nedeniyle eğim aşağı harekete geçmektedir. Bu nedenle pasif yöntemler yerine aktif yöntemler tercih edilmelidir. Eğimli yüzeyde bulunan kayalar yerinde kırılmalıdır. Daha yüksek rakımlardaki sabit kayalar ise bulon, kaya çivileri ve ankrajlı çelik kafesler ile sağlamlaştırılmalıdır. Bulon ve kaya çivileri ile yük kayanın dışından içine aktarılmaktadır. Çelik kafesler şev topoğunda kayaçların herhangi bir tehlikeye neden olmadan yakalanması sağlayacaktır.

Emirler-Değirmençay Yolu üzerinde bulunan kayalık alan trafik akışının yoğun olduğu yolun hemen kenarında bulunmaktadır (Şekil 3.5). Çalışma alanında peridotit, serpentinit kayaçlar, kireçtaşı ve yamaç molozu görülmektedir. Nokta bulutu verisi sayesinde kayalardaki süreksizliklerin eğim açılarının genellikle 60° 'den fazla olduğu görülmektedir. Kayaların yola çok yakın olmasından dolayı pasif yöntemler kullanılamayacaktır. Eğimin fazla olduğu çalışma alanında çelik kafes uygulamasının en uygun yöntem olduğunu önermekteyiz.

Dört adet heyelan bölgesinin ortak özellikleri tarımsal amaçlı çok su kullanılması, aşırı yağış alan alanlarda bulunmaları ve yüksek eğim miktarına sahip olmalarıdır. Heyelan bölgelerinin jeolojik özellikleri birbirine çok benzerdir. Hepsinde kaliş, yamaç molozu, kireçtaşı, kıltaşı ve kumtaşı bulunmaktadır.

Heyelana karşı alınacak önlemler, kaydırıcı kuvvetleri azaltmak ve tutucu kuvvetleri arttırmak şeklinde olmalıdır. Afet bölgelerindeki birimlerin suya doymun hale geldiği belirlenmiştir. Su, kaydırıcı kuvvetleri arttırmakta, kaymaya karşı koyan kuvvetleri ise azaltmaktadır. Su çıkışı gözlenen yerlerde drenaj sistemi kullanılarak su sistemden uzaklaştırılmalıdır. Böylece yeraltı suyu seviyesi düşürülmüş olacaktır. Zeminin güçlendirilmesindeki amaç kohezyon ve içsel sürtünme açısını arttırmaktır. Çimento enjeksiyonu ile kayan zemin ve sağlam kaya birbirine tutturularak kayma engellenir. İstinat duvarları

zeminlerin kuvvetler dengesini sağlayarak yıkılmasını önlemektedir. Genellikle killi ve kumlu yapıda olan heyelan bölgelerinde yükselti farkının ani değiştiği yerlerde hazırlanacak istinat duvarı ve drenaj kanalları heyelan olmasını önleyecektir.

Heyelan bölgeleri için önerilerimiz:

- Drenaj sağlanmalı ve su bölgeden uzaklaştırılmalıdır.
- Zeminde güçlendirme yapılmalıdır.
- İstinat duvarı örülmelidir.



KAYNAKLAR

- Abbruzzese, J. M., ve Labiouse, V. (2020). “New cadanav methodology for rock fall hazard zoning based on 3D trajectory modelling.” *Geosciences*, Vol. 10, No. 11, pp. 434.
- Ağca, M., Gültekin, N. Y., ve Kaya, E. (2020). “İnsansız hava aracından elde edilen veriler ile kaya düşme potansiyelinin değerlendirilmesi: Adam Kayalar örneği, Mersin.” *Geomatik*, Vol. 5, No. 2, pp. 134-145.
- Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A. M., Noardo, F., ve Spanò, A. (2016). “UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing.” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 41, pp. 835-842.
- AFAD (2020). Kaya düşmelerinden kaynaklı afetlerin değerlendirilmesine yönelik teknik kılavuz.
- Akal, C., Koralay, O. E., Candan, O., Roland, O. ve Chen, F. (2011). “Geodynamic Significance of the Early Triassic Karaburun Granitoid (Western Turkey) for the Opening History of Neo-Tethys.” *Turkish Journal of Earth Sciences*, Vol. 20, No. 3, pp.255-271.
- Akay, S. S. (2021). Büyük Menderes Nehri’ndeki menderes yapıların zamansal hacim değişiminin insansız hava aracı tabanlı analizi ve ekstrem olayların etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Akçalı, E. (2011). Heyelan–Yağış ilişkisinin modellenmesi ve analizi; Trabzon ili örneği. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye
- Akın, M., Dinçer, İ., Orhan, A., Ok, A. Ö., Akın, M. K. ve Topal, T. (2019). “Kaya tutma hendek performansının 3-Boyutlu kaya düşme analizleriyle değerlendirilmesi: Akköy (Ürgüp) Örneği.” *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Vol. 43, No. 2, pp. 211-232
- Akın, Ö. (2020). Trabzon-Ortahisar İlçesi güneyindeki heyelanlı alanların Zemin özelliklerinin aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemleriyle incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

- Albrecht, C. M., Fisher, C., Freitag, M., Hamann, H. F., Pankanti, S., Pezzutti, F. ve Rossi, F. (2019, December). Learning and recognizing archeological features from LiDAR data. In *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, pp. 5630-5636
- Aldemir, E. (2016). Seyhan ve Ceyhan Havzalarının Çukurova bölgesinin hidrojeolojik incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Alizadeh, E. (2021). Altindere Vadisi (Maçka-Trabzon) boyunca gözlenen kaya şevlerindeki kaya düşme potansiyelinin çevresel etkilerinin 2 ve 3 boyutlu benzetim modeller ile incelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
- Alptekin, A. ve Bağcı, Z. H. (2018). "Engineering properties of caliche." 9th International Symposium of the Eastern Mediterranean Geology (ISEMG 2018), pp. 381
- Alptekin, A., Çelik, M. Ö., Doğan, Y. ve Yakar, M. (2019). "Mapping of a rockfall site with an unmanned aerial vehicle." *Mersin Photogrammetry Journal*, Vol.1, No.1, pp.12-16.
- Alptekin, A. ve Yakar, M. (2020a). "Mersin Akyar Falezi'nin 3B modeli." *Türkiye Lidar Dergisi*, Vol. 2, No. 1, pp. 5-9.
- Alptekin, A. ve Yakar, M. (2020b). "Determination of pond volume with using an unmanned aerial vehicle." *Mersin Photogrammetry Journal*, Vol.2, No.2, pp.59-63.
- Alptekin, A. ve Yakar, M. (2021). "İçel İli jeolojisine ve jeolojik sorunlarına genel bir bakış." *İçel Dergisi*, Vol. 1, No. 1, pp. 27-30.
- Alptekin, A. ve Yakar, M. (2022). "Software used to extract discontinuity sets from point clouds." *Advanced Engineering Days (AED)*, Vol. 2, pp. 107-109.
- Altın, T. B. (2008). "Ecemiş Çayı vadi oluşunda polisiklik topografya şekilleri." *Türk Coğrafya Dergisi*, Vol. 50, pp. 21-36
- Anaçalı, İ. ve Şirin, A. (2015). "Heyelan tanımlama ve veri oluşturma kılavuzu." T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, Jeolojik Hizmetler Şubesi Müdürlüğü, Ankara, 42.

- Ansari, M. K., Ahmad, M., Singh, R. ve Singh, T. N. (2018). “2D and 3D rockfall hazard analysis and protection measures for Saptashrunji Gad Temple, Vani, Nashik, Maharashtra–A case study.” *Journal of the Geological Society of India*, Vol. 91, pp. 47-56.
- Arca, D. (2015). Zemin hareketlerinin coğrafi bilgi sistemi destekli analizi: Kozlu Örneği, Doktora Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye
- Arif, F., Maulud, K. A. ve Ab Rahman, A. A. (2018, June). “Generation of digital elevation model through aerial technique.” In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 169, No. 1, pp. 012093. IOP Publishing.
- Arshad, B., Barthelemy, J. ve Perez, P. (2021). “Autonomous lidar-based monitoring of coastal lagoon entrances.” *Remote Sensing*, Vol. 13, No.7, pp.1320.
- Ataş, P. (2017). Landslide assessment and stabilization study along the Tarsus - Çamlıyayla provincial road at KM: 11+640 -12+080. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Aydın, S. ve Özer, M. (2023). “Heyelan Meydana Gelmiş Bir Parkta Göçme Mekanizmasının Araştırılması ve Heyelan Önleme Tedbirleri.” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Vol. 11, pp. 319-341.
- Ballı, F., Sönmez, M. ve Lermi, A. (2018). “Niğde GD kesiminin jeolojisi ve Niğde Fayı’na ilişkin yeni bulgular.” *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Vol. 7, No. 3, pp. 1180-1185
- Barton, N., Lien, R. ve Lunde, J. J. R. M. (1974). “Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support.” *Rock mechanics*, Vol. 6, pp. 189-236.
- Başalan, A. (2022). Tokat il merkezinin heyelan duyarlılık analizi, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, Türkiye
- Benito-Calvo, A., Gutiérrez, F., Martínez-Fernández, A., Carbonel, D., Karampaglidis, T., Desir, G., Sevil, J., Guerrero, J., Fabregat, I. ve García-Arnay, Á. (2018). “4D monitoring of active sinkholes with a terrestrial laser scanner (TLS): a case study in the evaporite karst of the ebro valley, NE Spain.” *Remote Sensing*, Vol.10, No.4, pp.571.

- Biçer, Ç. T. (2017). Heyelan risk haritalaması üzerine yarı sayısal bir değerlendirme, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Bieniawski, Z. T. (1989). "Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering." John Wiley & Sons.
- Borella, J., Quigley, M., Krauss, Z., Lincoln, K., Attanayake, J., Stamp, L., Lanman, H., Levine, S., Hampton, S. ve Gravley, D. (2019). "Geologic and geomorphic controls on rockfall hazard: how well do past rockfalls predict future distributions?." *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 19, No.10, pp. 2249-2280.
- Bozdağ, A. (2022). "Rockfall hazard assessment in a natural and historical site: The case of ancient Kilistra settlement (Konya), Turkey." *Journal of Mountain Science*, Vol. 19, No. 1, pp. 151-166.
- Brecheisen, Z. S. ve Richter, D. D. (2021). "Gully-erosion estimation and terrain reconstruction using analyses of microtopographic roughness and LiDAR." *Catena*, Vol. 202, pp. 105264.
- Bulut, Ö. (2019). Bitlis Merkez Muştakbaba Mahallesi Kaya Düşme Potansiyelinin İncelenmesi ve Çözüm Önerileri. Yüksek Lisans Tezi, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye.
- Buyer, A., Aichinger, S. ve Schubert, W. (2020). "Applying photogrammetry and semi-automated joint mapping for rock mass characterization." *Engineering Geology*, Vol. 264, pp. 105332.
- Büyüksalih, İ. ve Gazioğlu, C. (2019). "New approach in integrated basin modelling: Melen Airborne LIDAR." *International Journal of Environment and Geoinformatics*, Vol. 6, No.1, pp.22-32.
- Canal, A. ve Akin, M. (2016). "Assessment of rock slope stability by probabilistic-based Slope Stability Probability Classification method along highway cut slopes in Adilcevaz-Bitlis (Turkey)." *Journal of Mountain Science*, Vol. 13, No. 11, pp. 1893-1909.
- Canoğlu, M. C. (2015). Heyelan duyarlılığı haritalamarında yüzey suyunun etkisinin araştırılması: Yenice (Karabük) Havzası Örneği, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Canoğlu, M. C. (2017). "Boru hatlarında meydana gelen heyelan olaylarında jeoteknik etütler ve mühendislik jeolojisi yaklaşımları." *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 10, No.1, pp.12-21.

- Cappadonia, C., Cafiso, F., Ferraro, R., Martinello, C. ve Rotigliano, E. (2021). “Rockfall hazards of Mount Pellegrino area (Sicily, Southern Italy).” *Journal of Maps*, Vol. 17, No. 3, pp. 29-39.
- Castelli, M., Torsello, G. ve Vallero, G. (2021). “Preliminary Modeling of Rockfall Runout: Definition of the Input Parameters for the QGIS Plugin QPROTO.” *Geosciences*, Vol. 11, No.2, pp.88.
- Cavalli, M., Tarolli, P., Marchi, L. ve Dalla Fontana, G. (2008). “The effectiveness of airborne LiDAR data in the recognition of channel-bed morphology.” *Catena*, Vol.73, No.3, pp.249-260.
- Cihangir, M. E. (2018). Kelkit Çayı vadisinde (Umurca-Koyulhisar arası) heyelan riskinin belirlenmesi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Corona, C., Lopez-Saez, J., Favillier, A., Mainieri, R., Eckert, N., Trappmann, D., Stoffel, M., Bourrier, F. ve Berger, F. (2017). “Modeling rockfall frequency and bounce height from three-dimensional simulation process models and growth disturbances in submontane broadleaved trees.” *Geomorphology*, Vol. 281, pp. 66-77.
- Cottaz, Y., Barnichon, J. D., Badertscher, N. ve Gainon, F. (2010). “PiR3D®, an effective and user-friendly 3D rockfall simulation software: formulation and case-study application.” *Rock Slope Stability Symposium*, Paris, pp. 1-16.
- Cruden, D. M. ve Varnes, D. J. (1996). Landslides: investigation and mitigation. Chapter 3-Landslide types and processes. *Transportation research board special report*, (247), 36-75
- Cunningham, D., Grebbby, S., Tansey, K., Gosar, A. ve Kastelic, V. (2006). “Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, southeastern Alps, Slovenia.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, No.20, pp. 1-5
- Çapar, N. (2018). Kaya düşmesi analizinde geri sıçrama katsayısının etkisinin deneysel ve analitik yöntemlerle incelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Çelik, H., Baş, N. ve Coşkun, H. G. (2014). “Taşkın Modelleme ve Risk Analizinde LiDAR Verisiyle Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi.” *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Vol.4, No.1, pp.117-125.
- Çelik, H. (2017). Taşkın modellemede lidar verisi ile performans analizleri, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

- Çellek, S. (2013). Sinop-Gerze yöresinin heyelan duyarlılık analizi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
- Çoruk, Ö. ve Kavak, A. (2020). “Causes of Bursa Yıldırım district Mollaarap landslide and its improvement studies.” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol. 26, No. 8, pp. 1408-1412
- Çömert, R. (2018). İnsansız hava aracı verilerinden nesne tabanlı sınıflandırma yaklaşımı ile sığ heyelanların tespiti, Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye
- Dikmen, A. T. (2019). Türkiye’de doğal afetlerin makroekonomik etkileri, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye
- Dinçer, İ., Orhan, A., Frattini, P. ve Crosta, G. B. (2016). “Rockfall at the heritage site of the Tatların Underground City (Cappadocia, Turkey).” Natural Hazards, Vol. 82, pp. 1075-1098.
- Doğruluk, M. (2021). Çok yüksek çözünürlüklü stereo uydu ve İHA görüntülerinden elde edilen sayısal yükseklik modellerinin doğruluğunun araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Dokuz, U. E. (2015). Göksu Deltası sağ yakası (Mersin-Silifke) kıyı akiferi yeraltısuyu sisteminin modellenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Dokuz, H. (2019). Kırşehir Masifi kuzeyindeki Oligosen istiflerinin sedimantolojisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Domingo, G. A., Claridades, A. R. C. ve Tupas, M. E. A. (2018). “Unmanned aerial vehicle (UAV) survey-assisted 3D mangrove tree modeling.” *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 42, pp. 123-127.
- Dündar, S. (2020). Antalya Körfezi Denizel Üst Miyosen ve Pliyosen çökellerinin sedimantolojisi ve sismik yansıma verilerinin yorumlanması, GB Anadolu, Türkiye, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Effeindzourou, A., Thoeni, K., Giacomini, A. ve Wendeler, C. (2017). “Efficient discrete modelling of composite structures for rockfall protection.” *Computers and Geotechnics*, Vol. 87, pp. 99-114.

- Eker, R. (2018). Heyelan ve kar kaynaklı doğal afetlerin izlenmesi ve haritalanmasında modern uzaktan algılama tekniklerinin kullanılması, Doktora Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye
- Elkhrachy, I. (2021). Accuracy assessment of low-cost unmanned aerial vehicle (UAV) photogrammetry. *Alexandria Engineering Journal*, 60(6), 5579-5590.
- Erenoğlu, O., Erenoğlu, R. C. ve Ulugergerli, E. U. (2022). The Effect of Designed Drainage Structures on Landslide Areas: UAV Results of the Güzelyalı Landslide. *Lapseki Meslek Yüksekokulu Uygulamalı Araştırmalar Dergisi*, vol. 3, No. 5, pp. 36-48.
- Erfen, H. F. W. S. ve Musta, B. (2022, November). “Rock Endpoints and Barriers Estimation of Slope Failure in Pinousuk Gravel Slopes using Rocfall Simulation.” In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 1103, No. 1, p. 012033.
- Erdağ, D. Ş., Tüysüz, O. ve Akyüz, S. (2009). “Ecemiş Fay Zonu’nun morfotektonik özellikleri ve morфометrik analizi.” *İTÜDERGİSİ/d*, Vol. 8, No. 5, pp. 67-79.
- Ertugrul, O. L. ve Kiwanuka, A. (2023). “Dynamic analysis of rock fall impact for a cantilever rock shed with geofoam cushion.” *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, Vol. 27, No.5, pp. 1989-2014.
- Esirtgen, T. ve Işık, V. (2021). “Geological characteristics of the boundary between Bolkardağı-Bozkır Units and the Ulukışla Basin and the structural evolution of the region, Central Taurides, Turkey.” *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, Vol. 165, pp. 163-190
- Esirtgen, T. (2022). Orta Toroslar’ın yapısal analizi ve Mezozoyik-Senozoyik tektonik evrimi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Fanos, A. M., Pradhan, B., Alamri, A. ve Lee, C. W. (2020). “Machine learning-based and 3d kinematic models for rockfall hazard assessment using LiDAR data and GIS.” *Remote Sensing*, Vol. 12, No.11, pp. 1755.
- Ferrero, A. M., Forlani, G., Roncella, R. ve Voyat, H. I. (2009). “Advanced geosstructural survey methods applied to rock mass characterization.” *Rock Mechanics and Rock Engineering*, Vol.42, pp. 631-665.

- Filin, S., Baruch, A., Avni, Y. ve Marco, S. (2011). “Sinkhole characterization in the Dead Sea area using airborne laser scanning.” *Natural Hazards*, Vol.58, pp.1135-1154.
- Filiz, M., Avcı, H. ve Usta, P. (2011). “Heyelanların yerleşim alanlarına etkilerinin incelenmesi (Rize-Gündoğdu Örneği).” *Engineering Sciences*, Vol. 6, No.4, pp. 1200-1211.
- Gargoum, S. A. ve El Basyouny, K. (2019). “A literature synthesis of LiDAR applications in transportation: Feature extraction and geometric assessments of highways.” *GIScience & Remote Sensing*, Vol. 56, No. 6, pp. 864-893.
- Genç, G. (2010). Kazık Grupları ile Şev Stabilite Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye
- Geniş, M., Sakız, U. ve Çolak Aydınır, B. (2017). “A stability assessment of the rockfall problem around the Gökgöl Tunnel (Zonguldak, Turkey).” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 76, pp. 1237-1248.
- Gigli, G. ve Casagli, N. (2011). “Semi-automatic extraction of rock mass structural data from high resolution LIDAR point clouds.” *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 48, No. 2, pp. 187-198.
- Glennie, C. L., Hinojosa-Corona, A., Nissen, E., Kusari, A., Oskin, M. E., Arrowsmith, J. R. ve Borsa, A. (2014). “Optimization of legacy lidar data sets for measuring near-field earthquake displacements.” *Geophysical Research Letters*, Vol.41, No.10, pp.3494-3501.
- Godfrey, I., Brenes, J. P. S., Cruz, M. M., Avard, G. ve Meghraoui, K. (2023). “Botos Lagoon, Poás Volcano National Park, Costa Rica–Consumer drones in professional research.” *Advanced UAV*, Vol. 3, No. 1, pp. 35-53.
- Göncüoğlu, M. C. (2010). Introduction to the geology of Turkey: geodynamic evolution of the pre-alpine and alpine terranes. MTA Monogr Series, p 66. ISBN 978-605-4075-74
- Görücü, M. Z. (2011). Ulukışla (Niğde) güney kesimlerindeki tersiyer evaporitik çökellerinin sedimentolojisi ve bölgenin paleocoğrafik evrimi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

- Guzzetti, F., Crosta, G., Detti, R. ve Agliardi, F. (2002). “Stone: a computer program for the three-dimensional simulation of rock-falls.” *Computers & Geosciences*, Vol. 28, pp. 1079-1093
- Gümüş, K. (2014). Yersel lazer tarayıcıların doğruluk araştırması ve mühendislik yapılarında kullanılabilirliği: Oymapınar Barajı örneği, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Gümüş, E. (2015). Ecemiş Fay Hattı’nda meydana gelmiş depremlere ait yer hareketi kayıtlarının tek serbestlik dereceli sistemlerin sismik davranışa etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye
- Gürler, G. (2017). Mut Baseni (Güney Türkiye) miyosen resiflerin mercan sistematiği, stratigrafisi, biyofasiyesleri ve paleoekolojisi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Hardie, L. A. ve Lowenstein, T. K. (2004). Did the Mediterranean Sea dry out during the Miocene? A reassessment of the evaporite evidence from DSDP Legs 13 and 42A cores. *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 74, No. 4, pp. 453-461.
- Hepdeniz, K. (2019). “Eğirdir İlçesi (Isparta) için kaya düşmesi duyarlılık bölgelerinin haritalandırılması.” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*. Vol. 15, pp. 193-198.
- Jaboyedoff, M., Baillifard, F., Philippossian, F. ve Rouiller, J. D. (2004). “Assessing fracture occurrence using" weighted fracturing density": a step towards estimating rock instability hazard.” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 4, No. 1, pp.83-93.
- Jaboyedoff, M., Couture, R. ve Locat, P. (2009). “Structural analysis of Turtle Mountain (Alberta) using digital elevation model: toward a progressive failure.” *Geomorphology*, Vol. 103, No.1, pp. 5-16.
- Jiang, N., Li, H. B. ve Zhou, J. W. (2021). “Quantitative hazard analysis and mitigation measures of rockfall in a high-frequency rockfall region.” *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 80, pp. 3439-3456.
- Kaba, E. ve Türköz, M. (2019). “Heyelan stabilizasyonunda rijit ve geosentetik donatılı duvarların karşılaştırmalı analizi ve bir uygulama.” *Eskişehir Teknik Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, Vol. 7, No.2, pp. 146-158.

- Kaçka, N. (2019). Karamürsel (Kocaeli) güneyi ve güneybatısındaki heyelanların sismik deformasyon analizi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Kalelioğlu, Ö. (2013). Aster ve Landsat uydu görüntüleri kullanılarak Erdemli (Mersin) kuzeyinin litolojik ve tektonik özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye
- Kalender, A. (2017). Konik yayılım yaklaşımıyla kaya düşmesi potansiyelinin değerlendirilmesine yönelik bir yöntem önerisi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Kanun, E., Alptekin, A., Karataş, L. ve Yakar, M. (2022). “The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of “Kanytellis”.” *Advanced UAV*, Vol. 2, No.2, pp.41-50.
- Karataş, L., Alptekin, A., Kanun, E. ve Yakar, M. (2022). “Tarihi kârgir yapılarda taş malzeme bozulmalarının İHA fotogrametrisi kullanarak tespiti ve belgelenmesi: Mersin Kanlıdivane ören yeri vaka çalışması.” *İçel Dergisi*, Vol. 2, No.2, pp.41-49.
- Kartal, R. F., Beyhan, G., Keskinsezer, A. ve Kadirioglu, F. T. (2014). “Seismic hazard analysis of Mersin Province, Turkey using probabilistic and statistical methods.” *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 7, pp. 4443-4459.
- Kayabaşı, A. (2018). “The assesment of rockfall analysis near a railroad: a case study at the Kızılınler village of Eskişehir, Turkey.” *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 11, pp. 1-20.
- Keçeli, S. U. (2016). Mersin Melanji (KB Mersin) Geç Triyas – Erken Jura yaşlı pelajik istiflerinin radyolarya biyostratigrafisi, taksonomisi ve ortamsal yorumlamaları, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Kesikoğlu, A. (2020). Düşük irtifa görüntüleme sistemlerinin ortofoto üretiminde kullanımı, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye
- Keskin, İ. (2013). “Evaluation of rock falls in an urban area: the case of Boğaziçi (Erzincan/Turkey).” *Environmental earth sciences*, Vol. 70, No. 4, pp. 1619-1628.
- Keskin, B. (2019). Zonguldak-Kilimli Yolunda kaya düşme potansiyelinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

- Keskin, B., Bacak, G., Bilir, M. E. ve Geniş, M. (2020). “Investigation of rockfall potential of Zonguldak-Kilimli roadway (Turkey).” *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, pp. 1-11.
- Keskin, İ. ve Polat, A. (2022). “Kinematic Analysis and Rockfall Assessment of Rock Slope at the UNESCO World Heritage city (Safranbolu/Turkey).” *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, Vol.46, No.1, pp. 367-384.
- Ketin, İ. (1966). “Anadolu’nun tektonik birlikleri.” *MTA Dergisi*, Vol. 66, No. 20, pp. 20-34
- Kim, H. ve Choi, Y. (2021). “Location estimation of autonomous driving robot and 3D tunnel mapping in underground mines using pattern matched LiDAR sequential images.” *International Journal of mining science and technology*, Vol. 31, No.5, pp. 779-788.
- Kim, D. H., Gratchev, I. ve Balasubramaniam, A. (2015). “Back analysis of a natural jointed rock slope based on the photogrammetry method.” *Landslides*, Vol. 12, pp. 147-154.
- Korkanç, M. (1998). *Ecemiş Koridoru ve Eynelli-Bademdere (Çamardı-Niğde) yöresinin sedimantolojik ve tektonik incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Niğde, Türkiye
- Kuçak, R. A. (2021). *Nokta bulutlarının otomatik birleştirilmesinde yeni bir yöntem önerisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Kusak, L., Unel, F. B., Alptekin, A., Celik, M. O. ve Yakar, M. (2021). “Apriori association rule and K-means clustering algorithms for interpretation of pre-event landslide areas and landslide inventory mapping.” *Open Geosciences*, Vol.13, No.1, pp.1226-1244.
- Lanfranconi, C., Sala, G., Frattini, P., Crosta, G. B. ve Valagussa, A. (2020). “Assessing the rockfall protection efficiency of forests at the regional scale.” *Landslides*, Vol.17, pp. 2703-2721.
- Leine, R. I., Schweizer, A., Christen, M., Glover, J., Bartelt, P. ve Gerber, W. (2014). “Simulation of rockfall trajectories with consideration of rock shape.” *Multibody System Dynamics*, Vol. 32, pp. 241-271.
- Leventeli, Y. (2002). *Mühendislik projelerinde jeoloji ve jeotekniğin önemi: Ecemiş Fay Kuşağı, Adana-Niğde*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

- Mineo, S., Pappalardo, G., D'urso, A. ve Calcaterra, D. (2017). "Event tree analysis for rockfall risk assessment along a strategic mountainous transportation route." *Environmental Earth Sciences*, Vol. 76, pp. 1-21.
- Menegoni, N., Giordan, D., Perotti, C. ve Tannant, D. D. (2019). "Detection and geometric characterization of rock mass discontinuities using a 3D high-resolution digital outcrop model generated from RPAS imagery—Ormea rock slope, Italy." *Engineering Geology*, Vol. 252, pp. 145-163.
- MTA (2018). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Konya N29 Paftası.
- MTA (2011). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Adana N33 Paftası.
- MTA (2016). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Silifke O31 Paftası.
- MTA (2013). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Silifke O32 Paftası.
- MTA (2009a). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Mersin O33 Paftası.
- MTA (2009b). Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Mersin O34 Paftası.
- Munich RE (2024). <https://www.munichre.com/en/company/media-relations/media-information-and-corporate-news/media-information/2024/natural-disaster-figures-2023.html>
- Nasery, M. M. ve Çelik, M. (2020). "Kaya islahi çalışmalarında birleşik çözümlerin incelenmesi: Trabzon Kaymaklı Örneği." *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, Vol.25, No. 1, pp. 539-554.
- Nugraha, M. G., Kirana, K. H., Srigutomo, W., Saepuzaman, D., Hapsoro, C. A. ve Septiyanto, R. F. (2017). "The prediction of rockfall run-out using CRSP 3D: A case study at Gunung Batu, Lembang, West Java, Indonesia." *Pertanika Journal of Science and Technology*, Vol. 25, pp. 47-56.
- O'Dea, A., Brodie, K. L. ve Hartzell, P. (2019). "Continuous coastal monitoring with an automated terrestrial lidar scanner." *Journal of Marine Science and Engineering*, Vol.7, No.2, pp. 37.
- Okay, A. I. (2008). "Geology of Turkey: a synopsis." *Anschnitt*, Vol.21, pp. 19-42.

- Orhan, A. (2022). “Enerji Nakil Hattını Etkileyen Çevreli Köyü (Mersin) Heyelanının İncelenmesi ve İyileştirme Yöntemlerinin Değerlendirilmesi.” *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, Vol. 46, No.1, pp. 17-40.
- Ortega, S., Trujillo, A., Santana, J. M., Suárez, J. P. ve Santana, J. (2019). “Characterization and modeling of power line corridor elements from LiDAR point clouds.” *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 152, pp. 24-33.
- Özdemir, S. (2006). Adana - Mersin otoban güzergahında oluşan heyelanlar ve ıslah önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Özdemir, M. A. ve Kulaksız, E. E. (2022). Devrek (Zonguldak/Türkiye) Heyelanı. *Social Sciences Studies Journal*, Vol. 5, No. 47, pp. 5852-5864.
- Özgül, N. (1976). “Torosların bazı temel jeolojik özellikleri.” Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, Vol. 19, pp. 65-78.
- Özgül, N. ve Kozlu, H. (2002). “Kozan-Feke (Doğu Toroslar) yöresinin stratigrafisi ve yapısal konumu ile ilgili bulgular.” Türkiye Petrolleri Jeologları Derneği Bülteni, Vol. 14, No. 1, pp. 1-36
- Öztürk, K. (2002). “Heyelanlar ve Türkiye’ye Etkileri.” *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Vol. 22 No.2, pp. 35-50
- Öztürk, M. Z., Utlı, M. ve Şimşek, M. (2022). “Kaya düşmesi tehlikesinin belirlenmesi ve önlenmesinde İHA tabanlı 3B modelleme çalışmaları: Murtaza Köyü örneği (Niğde).” *Yerbilimleri*, Vol. 43, No.2, pp. 182-196.
- Pack, G., Kieffer, D. S., Metzler, I. ve Liu, Q. (2021, August). “Approaches for the digital measurement of rock mass discontinuities.” In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 833, No. 1, p. 012059. IOP Publishing.
- Parrot (2018). “Anafi User Manual v2.2.” pp.1-73.
- Perret, S., Dolf, F. ve Kienholz, H. (2004). “Rockfalls into forests: analysis and simulation of rockfall trajectories—considerations with respect to mountainous forests in Switzerland.” *Landslides*, Vol.1, pp. 123-130.

- Perroy, R. L., Bookhagen, B., Asner, G. P. ve Chadwick, O. A. (2010). "Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California." *Geomorphology*, Vol.118, No. (3-4), pp. 288-300.
- Polat, A., Keskin, I. ve Denizli, I. (2016). "Preventing and analysis of falling rocks: A case of Sarica village (Gürün, Turkey)." *Journal of the Geological Society of India*, Vol. 88, pp. 763-772.
- Park, S. ve Choi, Y. (2020). "Applications of unmanned aerial vehicles in mining from exploration to reclamation: A review." *Minerals*, Vol. 10, No. 8, pp. 1-31
- Polat, N. ve Uysal, M. (2016). "Hava lazer tarama sistemi, uygulama alanları ve kullanılan yazılımlara genel bir bakış." *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 16, No. 3, pp. 679-692.
- Pradhan, B. ve Fanos, A. M. (2017). "Rockfall hazard assessment: an overview." *Laser scanning applications in landslide assessment*, pp. 299-322.
- Preh, A., Mitchell, A., Hungr, O. ve Kolenprat, B. (2015). "Stochastic analysis of rock fall dynamics on quarry slopes." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol. 80, pp. 57-66.
- Ritchie, A. M. (1963). "Evaluation of rockfall and its control." *Highway research record*, Vol.17. pp.13-28
- Riquelme, A. J., Abellán, A., Tomás, R. ve Jaboyedoff, M. (2014). "A new approach for semi-automatic rock mass joints recognition from 3D point clouds." *Computers & Geosciences*, Vol. 68, pp. 38-52.
- Sakız, U., Geniş, M., Bilir, M. E. ve Sakız, P. (2021). "Rockfall analysis and risk assessment on steep slopes of the roadway (Zonguldak, Turkey)." *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 14, No. 13, pp. 1225.
- San, N. E., Topal, T. ve Akin, M. K. (2020). "Rockfall hazard assessment around Ankara Citadel (Turkey) using rockfall analyses and hazard rating system." *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 38, pp. 3831-3851.

- Saunders, G., Galland, O. ve Mair, K. (2014, May). Aerial Photogrammetric Analysis of a Scree Slope and Cliff. In *EGU General Assembly Conference Abstract*, pp.7172.
- Scavia, C., Barbero, M., Castelli, M., Marchelli, M., Peila, D., Torsello, G. ve Vallero, G. (2020). “Evaluating rockfall risk: Some critical aspects.” *Geosciences*, Vol. 10, No.3, pp. 98.
- Siler, M. (2016). Anamur çevresinin karst jeomorfolojisi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
- Slob, S., van Knapen, B., Hack, R., Turner, K. ve Kemeny, J. (2005). “Method for automated discontinuity analysis of rock slopes with three-dimensional laser scanning.” *Transportation Research Record*, Vol. 1913, No.1, pp. 187-194.
- Sudhakar, S., Vijayakumar, V., Kumar, C. S., Priya, V., Ravi, L. ve Subramaniaswamy, V. (2020). Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based Forest Fire Detection and monitoring for reducing false alarms in forest-fires. *Computer Communications*, Vol. 149, pp. 1-16.
- Sür, Ö. (1972). “Heyelan Olaylarına sebep olan faktörler ve bunların Türkiye’de etkili bulunduğu alanlar.” *Coğrafya Araştırmaları Dergisi*, Vol. (1-2), pp. 215-223.
- Şahin, E. K. (2017). Özellik seçimi algoritmaları kullanılarak heyelanda etkili faktörlerin belirlenmesi ve heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Şener, E. (2019). “İnsansız Hava Araçları Kullanılarak Olası Kaya Düşmelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı 3D Modellenmesi: Kasımlar Köyü (Isparta-Türkiye) Örneği.” *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Vol. 23, No. 2, pp. 419-426
- Taga, H. ve Zorlu, K. (2017). “Assessment of Rockfall Hazard on Steep Slopes: Ermenek (Karaman, Turkey)”. *Yerbilimleri*, Vol. 38, No. 2, pp. 161-178.
- Taraf, F. (2017). Karaisali Formasyonu’nun (Adana Baseni Kuzeyi) sedimantolojik evrimi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Tarhan, F. (1996). Mühendislik Jeolojisi Prensipleri. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

- Taşkanat, T. (2020). Evrimsel algoritmalar kullanılarak heyelan duyarlılık haritalarının üretilmesi, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye
- Tekin, S. (2019). Göksu Nehri havzasının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı jeomorfometrik analizi ve olası tehlike niceliksel heyelan değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye
- Topaçlı, Z. K. (2023). Development of methodology and methods for mitigating damages caused by landslides at basin scale (Bolaman Micro Basin, Ordu). Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye
- Tsouros, D. C., Bibi, S. ve Sarigiannidis, P. G. (2019). “A review on UAV-based applications for precision agriculture.” *Information*, Vol. 10, No. 11, pp. 349.
- Uçar, F. (2020). Zaman atlamalı elektrik öz direnç yönteminin (tl-ert) heyelan aktivitesinin modellenmesinde kullanımı: Batı Antalya’da örnek uygulamalar, Doktora Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye
- Ulaş, K. ve Kılıç, R. (2020). “Combined instability assessment and rockfall hazard in volcanic rocks (Keçiören, Ankara).” *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 13, pp. 1-10.
- Ulusay, R. (2007). “Heyelanlar ve mühendislik şevlerindeki duraysızlıklar: Türleri, etkileri ve zararların azaltılması.” *Sel-Heyelan-Çığ Sempozyumu, Samsun*, pp. 157-185.
- Uray, F. (2022). Derin öğrenme tekniklerini kullanarak hava lidar nokta bulutlarının sınıflandırılması, Doktora Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Konya, Türkiye
- Utlu, M. (2019). Farklı çözünürlüklü veri kaynaklarına bağlı taşkın tehlike analizi: Biga Çayı Havzası örneği, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A. ve Yakar, M. (2020). “Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi.” *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, Vol.2, No.1, pp.33-40.
- Usta, M. (2016). Anamur (Mersin) dolayının stratigrafisi ve kambriyen yaşlı kuvarsitler ile dolomitlerin endüstriyel hammadde potansiyeli, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye

- Utlı, M., Öztürk, M. Z. ve Şimşek, M. (2020). “Rockfall analysis based on UAV technology in Kazıklıali Gorge, Aladağlar (Taurus Mountains, Turkey).” *International Journal of Environment and Geoinformatics*, Vol. 7, No.3, pp. 239-251.
- Uzuner, B. A. (2001). *Temel Zemin Mekaniği*. Teknik Yayınevi.
- VanValkenburgh, P., Cushman, K. C., Butters, L. J. C., Vega, C. R., Roberts, C. B., Kepler, C. ve Kellner, J. (2020). “Lasers without lost cities: Using drone lidar to capture architectural complexity at Kuelap, Amazonas, Peru.” *Journal of Field Archaeology*, Vol. 45, pp. 75-88.
- Volkwein, A., Schellenberg, K., Labiouse, V., Agliardi, F., Berger, F., Bourrier, F., Dorren, L. K. A., Gerber, W. ve Jaboyedoff, M. (2011). “Rockfall characterisation and structural protection – a review.” *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol. 11, pp. 2617–2651
- Vöge, M., Lato, M. J. ve Diederichs, M. S. (2013). “Automated rockmass discontinuity mapping from 3-dimensional surface data.” *Engineering Geology*, Vol. 164, pp. 155-162.
- Wang, J., Wang, L., Feng, S., Peng, B., Huang, L., Fatholahi, S. N., ... ve Li, J. (2023). “An Overview of Shoreline Mapping by Using Airborne LiDAR.” *Remote Sensing*, Vol. 15, No. 1, pp. 253.
- Woltjer, M., Rammer, W., Brauner, M., Seidl, R., Mohren, G. M. J. ve Lexer, M. J. (2008). “Coupling a 3D patch model and a rockfall module to assess rockfall protection in mountain forests.” *Journal of environmental management*, Vol. 87, No.3, pp.373-388.
- Yadav, A., Goel, S., Lohani, B. ve Singh, S. (2021). “A uav traffic management system for india: Requirement and preliminary analysis.” *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Vol. 49, pp. 515-525.
- Yakar, M., Ulvi, A., Yiğit, A. Y. ve Alptekin, A. (2022). “Discontinuity set extraction from 3D point clouds obtained by UAV Photogrammetry in a rockfall site.” *Survey Review*, pp.1-13.
- Yılmaz, H. M., Aktan, N., Çolak, A. ve Alptekin, A. (2022). “Modelling Ozancık village (Aksaray) in computer environment using UAV photogrammetry.” *Mersin Photogrammetry Journal*, Vol.4, No.1, pp.32-36.
- Yılmaz, İ. (2004). *Doğu Torosların Mansurlu-Saimbeyli (Adana) kesiminin jeolojisi ve tektonik özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Yüreğir, M. B. (2021). Kirazlık (Gümüşhane) heyelanından kaynaklanacak olası itki dalgalarının Torul Baraj Gölündeki yayılımının değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye

Zeybek, M. (2017). Yüksek çözünürlüklü topoğrafik veriler yardımıyla heyelanların izlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye.



