



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ



İHA DESTEKLİ HEYELAN AKTİVİTESİ İZLEME:
UYGULAMALAR VE AÇIK KONULAR
İrfan ZİREK
Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

ÇANAKKALE

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İHA DESTEKLİ HEYELAN AKTİVİTESİ İZLEME:
UYGULAMALAR VE AÇIK KONULAR
İrfan ZİREK

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı

Tezin Sunulduğu Tarih: **18/06/2018**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. R. Cüneyt ERENOĞLU

ÇANAKKALE

İrfan ZİREK tarafından Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU yönetiminde hazırlanan ve **18/06/2018** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “**İHA Destekli Heyelan Aktivitesi İzleme: Uygulamalar ve Açık Konular**” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

Doç. Dr. Ramazan Cüneyt ERENOĞLU

Başkan

Doç. Dr. Özgün AKÇAY

Üye

Doç. Dr. Ercenk ATA

Üye

Prof. Dr. Levent GENÇ

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Sıra No:

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

İrfan ZİREK

TEŞEKKÜR

Bu tezin gerçekleŐtirilmesinde, çalışmanın her aşamasında değerli desteklerini esirgemeyen ve tecrübesi ve bilgisi ile yol gÖsteren saygı değer hocam Doç. Dr. R. Cüneyt ERENOğLU'na teşekkür ederim.

Veri toplama aşamasında saha çalıŐmalarına katılarak yardımlarını esirgemeyen kıymetli arkadaşlarım Rıdvan CİHAN ve Alper YAŐAR'a, mesleki bilgi ve tecrübeleri ile çalıŐmama katkıda bulunan Ali ALKAN, Zeki ALKAN ve Serbülent YILMAZ'a teŐekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen sevgili eŐim Gökçe ZİREK'e, varlığı ile motivasyon kaynağım olan oğlum Miraz ZİREK'e, değerli annem Hatun ZİREK, babam Ali Ekber ZİREK ve kardeŐim İlhan ZİREK'e teşekkür ederim.

İrfan ZİREK
anakkale, Haziran 2018

SİMGELER VE KISALTMALAR

İHA	İnsansız hava aracı
GPS	Global Positioning System
SYM	Sayısal yüzey modeli
SAM	Sayısal arazi modeli
UAV	Unmanned aerial vehicle
DTM	Digital terrain model
DSM	Digital surface model
YKN	Yer kontrol noktası
CBS	Coğrafi bilgi sistemleri
UA	Uzaktan algılama
SFM	Structure from Motion
WGS84	World Geodetic System 1984
ITRF96	International Terrestrial Reference Frame 1996

ÖZET

İHA DESTEKLİ HEYELAN AKTİVİTESİ İZLEME: UYGULAMALAR VE AÇIK KONULAR

İrfan ZİREK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. R. Cüneyt ERENOĞLU

18/06/2018, 68

Bu çalışmada insansız hava araçları (İHA) tabanlı heyelan gelişiminin izlenmesi yaklaşımı, veri toplama, veri işleme, analizler ve sonuçlar sunulmuştur. Çanakkale ili Sarıcaeli köyünde meydana gelen heyelanın gelişimi dijital kamera entegre edilmiş bir insansız hava aracı (İHA) ve küresel konumlama sistemi (GPS) alıcısı kullanılarak izlenmiş ve takip edilmiştir. Mayıs 2016, Eylül 2016 ve Ocak 2017’de olmak üzere üç farklı ölçüm gerçekleştirilmiş ve hava fotoğraflarına dayalı fotogrametrik yöntemler kullanılarak heyelan ve civarına ait sayısal yüzey modelleri (SYM), sayısal arazi modelleri (SAM), üç boyutlu modeller ve ortomozaikler üretilmiştir. Heyelan üzerinde meydana gelen yer değiştirmeler bu veriler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Heyelan, İHA, GPS/GNSS, Fotogrametri, SYM, SAM

ABSTRACT

UAV-ASSISTED LANDSLIDE ACTIVITY MONITORING: APPLICATIONS AND OPEN ISSUES

İrfan ZİREK

Çanakkale Onsekiz Mart University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master of Science Thesis in Geographic Information Technologies

Advisor: Assoc. Prof. Dr. R. Cüneyt ERENOĞLU

18/06/2018, 68

In this study, landslide development monitoring approach based on an unmanned aerial vehicle (UAV), data acquisition, data processing, analyzes and results were presented. The development of the landslide that took place in Sarıcaeli Village in Çanakkale Province were tracked and monitored by using a digital camera integrated unmanned aerial vehicle (UAV) and a Global Positioning System (GPS) receiver. Three consecutive measurements were performed on May 2016, October 2016 and January 2017 and digital surface models (DSM), digital terrain models (DTM), three dimensional models and orthomosaics were produced by using photogrammetry methods based on the aerial images. The displacements on the landslide were evaluated based on these datas.

Keywords: Landslide, UAV, GPS/GNSS, Photogrammetry, DSM, DTM

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEZ SINAVI SONUÇ FORMU.....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1. Heyelan	1
1.1.1. Heyelan Kavramı.....	1
1.1.2. Heyelan Türleri.....	4
1.1.2.1. Düşme	5
1.1.2.2. Devrilme	5
1.1.2.3. Kayma.....	6
1.1.2.4. Yanal Yayılma	6
1.1.2.5. Akma.....	7
1.1.3. Heyelan Nedenleri	7
1.1.3.1. Jeolojik Nedenler	7
1.1.3.2. Morfolojik Nedenler	7
1.1.3.3. Fiziksel Nedenler	8
1.1.3.4. İnsan Kaynaklı Nedenler	8
1.2. Fotogrametri	8
1.2.1. Hava Fotogrametrisi	10
1.2.2. Sayısal (Dijital) Fotogrametri.....	11
1.2.3. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli	13
1.3. Sayısal (Dijital) Görüntü	16
1.4. İnsansız Hava Araçları	17
1.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri	18
1.5.1. CBS'nin Bileşenleri.....	18
1.5.2. CBS Kullanım Alanları	18
1.5.3. CBS Veri Tipleri.....	19

1.5.4. CBS’de Veri Modelleri.....	20
1.5.4.1. Vektör Veri	20
1.5.4.2. Raster Veri	21
1.6. Uzaktan Algılama.....	21
1.6.1. UA Kullanım Alanları	22
1.6.2. UA İşlem Adımları	23
1.7. Küresel Konumlama Sistemi.....	24
1.7.1. GPS’in Bölümleri	25
1.7.1.1. Uzay Bölümü	25
1.7.1.2. Kontrol Bölümü	26
1.7.1.3. Kullanıcı Bölümü.....	27
BÖLÜM 2	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	28
BÖLÜM 3	
MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1. Çalışma Alanı.....	31
3.1.1. Derin Tabanlı Heyelan	34
3.1.2. Çalışma Alanı ve Civarı Jeolojisi	34
3.2. Veri Toplama	34
3.2.1. İHA Tabanlı Uzaktan Algılama ve Heyelan Analizi.....	34
3.2.2. Yer Kontrol Noktalarının Tesisi ve Koordinat Ölçümü	35
3.2.3. Kullanılan İHA ve Dijital Kameranın Teknik Özellikleri ve Görüntü Alımı.....	37
3.3. Veri İşleme	40
3.3.1. SfM Algoritması ile 3B Model Üretimi	40
3.3.2. Fotoğrafların Yüklenmesi.....	41
3.3.3. Fotoğrafların Hizalanması, Görüntü Eşleme ve Seyrek Nokta Bulutunun Oluşturulması	41
3.3.4. Yoğun Nokta Bulutu.....	43
3.3.5. 3B Poligonal Model.....	44
3.3.6. Doku (Texture) Haritalama	45
3.3.7. Sayısal Yüzey Modeli.....	45
3.3.8. Sayısal Arazi Modeli	47
3.3.9. Ortomozaik	49
3.3.10. Projeksiyon Dönüşümü	50

BÖLÜM 4	
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	51
4.1. Analiz	51
4.1.1. Boşluk Doldurma.....	51
4.1.2. Yeniden Örnekleme.....	52
4.1.3. Akış Doğrultusu Belirleme.....	53
4.1.4. Yamaç Eğimi	54
4.1.5. Yamaç Yönelimi (Bakı)	56
4.1.6. Grid Ağı.....	57
4.1.7. Kabartma	58
4.1.8. Analiz Modeli.....	59
BÖLÜM 5	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	60
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	I

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Dönel bir heyelan ve detayları.....	2
Şekil 1.2. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Cevizli köyü Akyar Tepesi	2
Şekil 1.3. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Cevizli köyü Sivri Tepe civarı	3
Şekil 1.4. Çanakkale ili Merkez ilçe Yağcılar köyü Sarıyar Mevkii	3
Şekil 1.5. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Bayırköy köyü Şeytan Tepesi	4
Şekil 1.6. Heyelan türleri	4
Şekil 1.7. Clear Creek Canyon Colorado, ABD	5
Şekil 1.8. Forh St. John British Columbia, Kanada	5
Şekil 1.9. Beatton River Valley, British Columbia, Kanada	6
Şekil 1.10. Loma Prieta, California, ABD	6
Şekil 1.11. Cordillera de la Costan Venezuela	7
Şekil 1.12. Örnek hava fotogrametrisi uygulaması.....	11
Şekil 1.13. Örnek sayısal fotogrametri uygulaması.....	12
Şekil 1.14. Sayısal (dijital) fotogrametri ortamının şematik diyagramı	13
Şekil 1.15. Fotogrametrinin matematiksel modeli.....	13
Şekil 1.16. Yersel fotogrametrik izdüşüm	14
Şekil 1.17. Sayısal görüntü bir 2B piksel dizisidir. Her piksel, (x, y) koordinatları ve değeri ile karakterizedir.	16
Şekil 1.18. İHA örnekleri.....	17
Şekil 1.19. Mekânsal veriler	19
Şekil 1.20. Vektör veri modeli.....	20
Şekil 1.21. Raster veri modeli.....	21
Şekil 1.22. Aktif ve pasif uzaktan algılama sistemleri	22
Şekil 1.23. UA işlemleri	23
Şekil 1.24. Navstar-2F GPS uydusu, U.S. Air Force.....	24
Şekil 1.25. GPS uydu yörüngeleri, NOAA	25
Şekil 1.26. GPS kontrol bölümü	26
Şekil 1.27. GPS kullanıcı bölümü.....	27
Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası	31
Şekil 3.2. Çalışma alanı	32
Şekil 3.3. Çalışma alanı	32
Şekil 3.4. Çalışma alanı	33
Şekil 3.5. Çalışma alanı	33
Şekil 3.6. Kullanılan GPS alıcısı	36
Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan yer kontrol noktası	36
Şekil 3.8. Yer kontrol noktalarının konumları (30 Mayıs 2016)	37
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan DJI Inspire 1 insansız hava aracı ve DJI Zenmuse X3 marka dijital kamera	38
Şekil 3.10. Fotoğraf çekim noktaları (30 Mayıs 2016).....	39
Şekil 3.11. Örnek hava fotoğrafı.....	40
Şekil 3.12. Fotoğrafların yüklenmesi.....	41
Şekil 3.13. Fotoğrafların hizalanması	42
Şekil 3.14. Seyrek nokta bulutu	42
Şekil 3.15. Yoğun nokta bulutunun oluşturulması	43
Şekil 3.16. Yoğun nokta bulutu	43
Şekil 3.17. 3B poligonal model oluşturulması.....	44
Şekil 3.18. 3B poligonal model	44

Şekil 3.19. Doku (texture) haritalama.....	45
Şekil 3.20. Sayısal yüzey modeli üretimi	46
Şekil 3.21. Sayısal yüzey modeli (30 Mayıs 2016)	46
Şekil 3.22. Zemin noktalarının sınıflandırılması	47
Şekil 3.23. Sayısal arazi modeli (30 Mayıs 2016)	48
Şekil 3.24. Ortomozaik üretimi.....	49
Şekil 3.25. Ortomozaik (30 Mayıs 2016)	49
Şekil 4.1. Boşluk doldurma.....	51
Şekil 4.2. Boşluk doldurma.....	52
Şekil 4.3. Yeniden örnekleme.....	52
Şekil 4.4. Akış doğrultusu.....	53
Şekil 4.5. Akış yönleri	53
Şekil 4.6. Heyelan akış doğrultusu (30 Mayıs 2016).....	54
Şekil 4.7. Yüzde ve derece cinsinden yamaç eğimi.....	55
Şekil 4.8. Eğim haritası (30 Mayıs 2016)	55
Şekil 4.9. Bakı haritası (30 Mayıs 2016)	56
Şekil 4.10. Grid ağı (30 Mayıs 2016)	57
Şekil 4.11. SAM'ın kabartma harita ile gösterimi (30 Mayıs 2016)	58
Şekil 4.12. Analiz modeli	59
Şekil 5.1. Heyelan gelişimi (sol – epok 1, orta – epok 2 – sağ epok 3).....	60
Şekil 5.2. Heyelan gelişimi (sol – epok 1, orta – epok 2 – sağ epok 3).....	61
Şekil 5.3. SAM farkı (epok 2 – epok 1).....	62
Şekil 5.4. SAM farkı (epok 3 – epok 2).....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1. Yer kontrol noktaları koordinatları (30 Mayıs 2016)	37
Çizelge 3.2. İHA teknik özellikleri	38
Çizelge 3.3. Dijital kamera teknik özellikleri	39
Çizelge 5.1. Aylık yağış miktarı (kg/m ²)	61
Çizelge 5.2. Hacimsel değişim (kg/m ²)	62



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Heyelanlar dünya çapında görülen ve olumsuz ekonomik etkileri olan bazen de can kayıpları ile sonuçlanan doğa olaylarıdır. Yüksek eğim, zeminin stabil olmaması, yeraltı suları ve insan etkileri heyelanların oluşumuna neden olan faktörlerden bazılarıdır.

Dijital kameralar ile desteklenen İHA'lar ile istenildiği anda zor hava ve arazi koşullarında rahatlıkla veri toplanabilmektedir. Veri toplamanın hızlı ve daha az maliyetli olması bu araçların kullanılmasında önemli bir neden olmaktadır. İHA'lar aynı zamanda heyelanların hızlı ve yüksek yersel çözünürlükte haritalanmasına da olanak vermektedir.

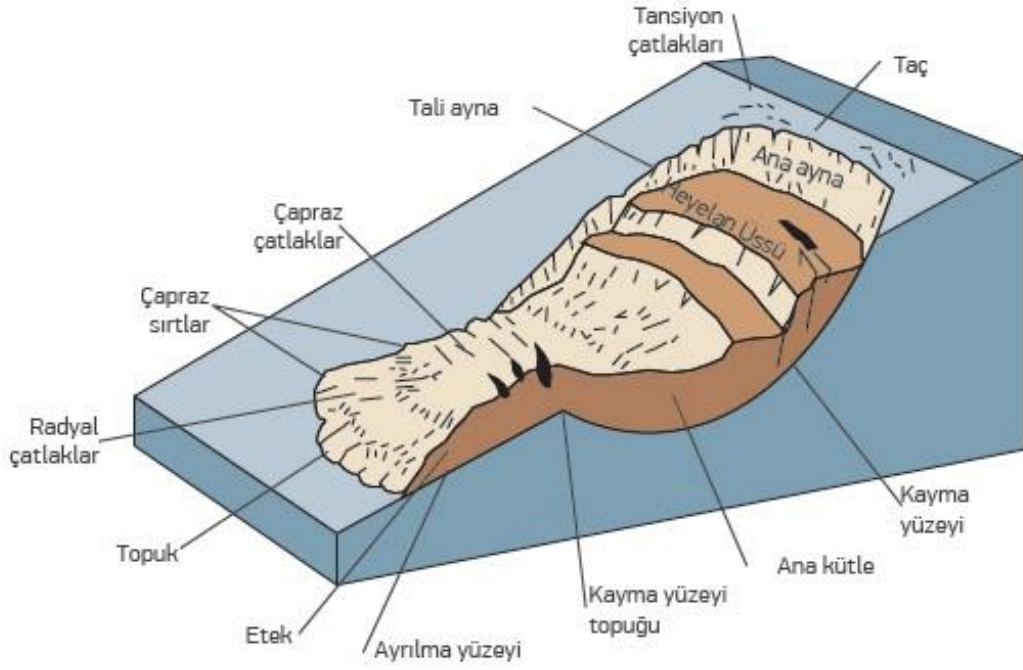
Bu çalışmada Çanakkale ili Merkez ilçe Sarıcaeli köyünde 2012 yılında meydana gelen heyelan alanında GPS yöntemleri ve İHA ile yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir. Heyelan bir sene boyunca gözlemlenmiş ve üç farklı kampanya şeklinde yapılan gözlemler ile heyelan alanının hava fotoğrafları İHA ile çekilmiştir. Hava fotoğrafları çekilmeden önce yer kontrol noktaları (YKN) tesis edilmiş ve YKN'lerin koordinatları jeodezik GPS alıcısı ile ölçülmüştür. Çekilen İHA fotoğrafları, fotogrametri teknikleri kullanılarak işlenmiştir.

Farklı zamanlarda elde edilen veriler ile kayan kütle alanı, hacmi, heyelanın yönü belirlenip gelişimi takip edilebilmektedir. Ayrıca kullanılan fotogrametri yöntemleri ve yazılımları ile heyelan alanının SYM, SAM, ortomozaik ve üç boyutlu modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan SAM'lardan yüzey eğimi, yamaç yönelimi gibi SAM türevleri üretilmiş ve GRID formattaki SAM'ların global hücre ilişkileri incelenerek heyelanın kayma yönü ve birikim alanı belirlenmiştir.

1.1. Heyelan

1.1.1. Heyelan Kavramı

Cruden ve Varnes (1996)'a göre heyelan, doğal kayaç, toprak, yapay dolgu veya bunların birleşiminden oluşan malzemenin eğim yönünde aşağı doğru hareketidir (Şekil 1.1). Heyelanlar, tek başına ya da heyelanları tetikleyebilecek depremler, volkanik patlamalar, orman yangınları ve büyük yağmur fırtınaları ile beraber, dünya çapında doğal afetlerde meydana gelen can kaybı, yaralanma ve maddi hasarların başlıca nedenidir (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.1. Dönel bir heyelan ve detayları (URL-1)

Dünyada tüm kıta, okyanus ve denizlerde görülebilen heyelanlar, birkaç metre karelik küçük bir toprak kaymasından, kara ve deniz tabanını kaplayan yüzlerce kilometrekarelik büyük denizaltı heyelanlarına kadar farklı büyüklükte gerçekleşebilir (Guzzetti, 2005). Çanakkale ilinde meydana gelen bazı heyelanlar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Cevizli köyü Akyar Tepesi, foto: Ali ALKAN



Şekil 1.3. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Cevizli köyü Sivri Tepe civarı, foto: Ali ALKAN



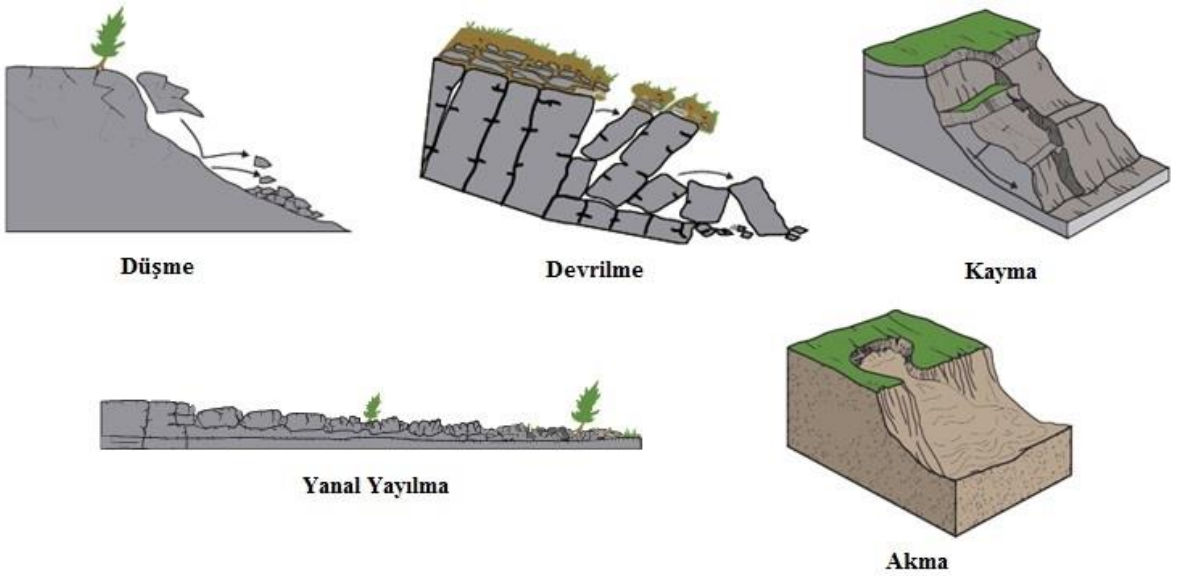
Şekil 1.4. Çanakkale ili Merkez ilçe Yağcılar köyü Sarıyar Mevkii, foto: Ali ALKAN



Şekil 1.5. Çanakkale ili Gelibolu ilçesi Bayırköy köyü Şeytan Tepesi, foto: Zeki ALKAN

1.1.2. Heyelan Türleri

UNESCO Working Party for World Landslide Inventory (1993) tarafından önerilen tanımlamalar aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 1.6. Heyelan türleri (AFAD, 2015)

1.1.2.1. Düşme

Düşme, makaslama yenilmesi olmaksızın dik bir eğimden bir yüzey boyunca toprak ya da kaya bloklarının ayrılması ile başlar. Malzeme daha sonra büyük oranda serbest düşerek, sıçrayarak ya da yuvarlanarak hareket eder (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.7. Clear Creek Canyon Colorado, ABD, foto: Colorado Geological Survey (URL-2)

1.1.2.2. Devrilme

Toprak ya da kaya kütlelerinin, yer değiştiren kütlelerin ağırlık merkezinin altındaki eksen ya da üzerindeki bir nokta boyunca ileri doğru rotasyonel (dönel) hareketidir (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.8. Forth St. John British Columbia, Kanada, foto: G. Bianchi Fasani (URL-2)

1.1.2.3. Kayma

Yoğun olarak kırılma ya da yoğun makaslama bölgelerinin göreceli ince olan yüzeylerinde meydana gelen, toprak ya da kaya kütlelerinin eğim yönünde aşağı doğru hareketidir (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.9. Beaton River Valley, British Columbia, Kanada, foto: Canada Geological Survey (URL-2)

1.1.2.4. Yanal Yayılma

Kohezyonlu toprak ya da kaya kütlelerinin, altında yer alan daha yumuşak malzeme içine doğru yayılmasıdır. Kopma yüzeyi, yoğun bir kayma yüzeyi değildir. Yayılma sıvılaşma ya da yumuşak malzemenin akışından kaynaklanabilir (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.10. Loma Prieta, California, ABD, foto: Steve Ellen, U.S. Geological Survey (URL-2)

1.1.2.5. Akma

Kayma yüzeylerinin kısa ömürlü, yakın aralıklı ve genellikle korunmamış olduğu sürekli mekânsal bir harekettir. Yer değiştirme kütlesindeki hızların dağılımını, viskoz sıvılar ile benzerlik gösterir (WP/WLI, 1993).



Şekil 1.11. Cordillera de la Costan Venezuela, foto: L.M. Smith, Waterways Experiment Station, U.S. Army Corps of Engineers (URL-2)

1.1.3. Heyelan Nedenleri

Literatürde farklı tanımlamaları bulunan heyelan nedenlerini, Cruden ve Varnes (1996) zemin kaynaklı, morfolojik, fiziksel ve insan kaynaklı olmak üzere aşağıdaki Şekilde açıklamıŐtır.

1.1.3.1. Jeolojik Nedenler

- a) Zayıf, hassas ya da ayrıŐmıŐ malzeme
- b) MakaslanmıŐ, eklemlili ya da çatlaklı malzeme
- c) Ters yönlü kütle süreksizliği (yataklanma, tabakalanma, yapraklanma vb.)
- ) Ters yönlü yapısal süreksizlik (fay, uyumsuzluk, dokanak vb.)
- d) Malzemelerin sertlik ve geçirgenliğindeki zıtlık

1.1.3.2. Morfolojik Nedenler

- a) Tektonik ve volkanik yükselme
- b) Buzul gerilemesi

- c) Yamaç topuğundaki akarsu, dalga, buzul aşındırması
- ç) Yanal kenar boşluklarının aşınması
- d) Yeraltı aşındırması (erime, çözülme, boru sistemi)
- e) Yamaç üzerinde veya yamaç tepesinde tortu birikmesi
- f) Orman yangınları ya da kuraklık gibi nedenlerle bitki örtüsünün yok olması

1.1.3.3. Fiziksel Nedenler

- a) Yoğun yağış
- b) Hızlı kar erimesi
- c) Uzun süreli istisnai yağışlar
- ç) Su seviyesinin hızlı çekilmesi (taşkın ve gelgit olaylarında)
- d) Deprem
- e) Volkanik püskürme
- f) Erime
- g) Şişme - büzülme ya da donma ve çözülme yoluyla ayrışma

1.1.3.4. İnsan Kaynaklı Nedenler

- a) Yamaç veya yamaç topuğunun kazılması
- b) Yamaca veya yamaç tepesine yük bindirilmesi
- c) Su seviyesinin inmesi (su depoları)
- ç) Ormansızlaştırma
- d) Sulama
- e) Madencilik faaliyetleri
- f) Yapay titreşimler
- g) Su kaçakları

1.2. Fotogrametri

Fotogrametri (photogrammetry) kelimesi eski Yunancada “photos (ışık)”, “gramma (çizim)” ve “metron (ölçme)” kelimelerinin birleşmesinden meydana gelmiştir. Kelime olarak fotogrametri ışık yardımıyla çizme, ölçme anlamı taşımaktadır.

Fotogrametri, nesnelere fiziksel temas olmaksızın, nesnelerin özellikleri hakkında güvenilir bilgilerin elde edilmesi ve bu bilgilerin ölçülmesi ve yorumlanması bilimidir (Schenk, 2005). Fotogrametri terimi, resimlerde görünen nesnelerin boyutu, şekli ve

mekânsal nitelikleri hakkında çıkarımlar yapmak amacıyla fotoğrafların ve görüntülerin ölçümünü ifade etmektedir (Richard Liew ve Chen, 2003).

Bu teknik ile ölçülmek istenen arazinin ya da obje ve çevresinin fotoğrafları çekilir. Bu fotoğraflar üzerinde yer alan görüntülerin ölçümü ile istenilen bilgiler elde edilebilir, fotogrametrik yazılımlar ya da özel donanımlar kullanılarak bu fotoğrafik görüntüler harita ya da plana dönüştürülebilir. Fotogrametri aynı zamanda fotoğraflar üzerinden ölçme ve güvenilir bilgi elde etme bilimi ya da sanatıdır. Fotoğrafik görüntülerden metrik bilgiler elde edilebildiği gibi, obje ve civarına ait yüzey örtüsü, yapısal özellikler gibi bilgiler de elde edilebilir (Yaşayan ve ark., 2011).

Fotogrametri bir mühendislik disiplini olup bilgisayar bilimleri ve elektronik alanındaki gelişmelerden yoğun bir biçimde etkilenmiştir. Bilgisayarların giderek artan kullanımı, fotogrametri üzerinde büyük bir etkiye sahip olmuş ve olmaya devam etmektedir. Disiplin sürekli bir değişim durumundadır. Bu değişim, analogdan analitik ve dijital metotlara geçişte özellikle belirginleşmiştir (Schenk, 2005).

Schenk (2005)'e göre fotogrametri 4 temel evrede bilim ve teknolojideki gelişmelere bağlı olarak aşağıdaki şekilde gelişim göstermiştir.

Fotogrametrinin dört temel evresi fotoğrafın keşfi, hava araçları, bilgisayar ve elektronikteki teknolojik gelişmelerle doğrudan ilişkilidir. 1839 yılında Niepce ve Daguerre tarafından fotoğrafın icat edilmesiyle fotogrametrinin ilk evresi başlamıştır. 19. yy. ortalarından sonlarına kadar süren bu evre yersel ve balonlu fotogrametride kayda değer başarıların sağlandığı öncü ve deneysel bir evredir. Genellikle *analog fotogrametri* olarak adlandırılan ikinci evre, Pulfrich'in (1901) stereofotogrametriyi icadı ile nitelendirilir. Bunu ilk stereoplotterın 1908 yılında Orel tarafından icadı takip etmiştir. İki dünya savaşı arasındaki dönemde havadan ölçüm tekniklerinin temelleri atılmıştır. Mekanik ve optik teknolojiye dayanan analog rektifikasyon ve stereoplotter aletleri yaygın bir şekilde kullanılabilir hale gelmiştir. Fotogrametri etkili bir ölçüm ve haritalama metodu olmuştur. Bilgisayarların ortaya çıkışı ile *analitik fotogrametri* denilen evreye geçilmiştir. Bilgisayara erişimi olan ilk fotogrametri uzmanlarından Schmid ellili yıllarda matris cebiri kullanarak analitik fotogrametrinin temelini atmıştır. Geliştirilen yazılımlar neticesinde hava triyngulasyonu doğruluk performansı on kat arttırılmıştır. Hava triyngulasyonu dışında analitik plotter bu evrenin bir başka önemli buluşudur. Fotogrametrinin dördüncü evresi *sayısal fotogrametridir*. Bu evrede sayısal görüntüler hava fotoğraflarının yerini almıştır. Sayısal görüntülere hızlı erişim sağlayan depolama aygıtlarının kullanılabilirliği

ve özel mikroişlemci çipler sayesinde, sayısal fotogrametrinin kullanımı ciddi bir şekilde artmıştır.

Tarihsel süreç içerisinde fotoğrafın çekildiği konuma göre yersel fotogrametri ve hava fotogrametrisi olmak üzere iki sınıf oluşmuştur. Yersel fotogrametride fotoğrafın çekim noktası yer üzerinde ya da yere yakın bir noktadadır. Yersel fotogrametri bu noktadan çekim yapılan fotoğraflar üzerinde çalışılan bir tekniktir. Hava fotogrametrisinde ise fotoğraf çekim noktası konumu değiştirilerek genel olarak uçak, balon vb. gibi bir hava aracına taşınmıştır.

Fotogrametriyi ayrıca değerlendirmede kullanılan resim sayısına göre; tek resim ve çift resim fotogrametrisi, uygulama alanına göre; foto yorumlama, topografik ve topografik olmayan fotogrametri, kadastro fotogrametrisi, jeodezik fotogrametri, mühendislik fotogrametrisi, mimarlık fotogrametrisi, endüstri fotogrametrisi, metrik fotogrametri, ortofotografi, obje büyüklüğüne göre; mikro ve makro fotogrametri gibi sınıflara ayırmak mümkündür.

1.2.1. Hava Fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi tekniği, uçak, balon gibi hava araçları yardımıyla yerden belirli bir yükseklikte çekilen fotoğrafların kullanıldığı bir harita yapım yöntemidir. Her türlü harita üretiminde kullanılan bu teknik özellikle büyük alanların haritalanmasında kullanışlı olmaktadır. Hava fotoğrafları, harita üretiminin dışında, bilgi sistemleri oluşturma, bitki örtüsü ve yer yüzeyi yapısı ile ilgili bilgi edinme gibi amaçlar için de kullanılabilir (Toprak, 2014).

Yersel çekim teknikleriyle ulaşılamayan alanların, yerden yüksekte fotoğraflarının çekilerek geniş alanların haritalanmasında sağladığı hız ve ekonomik avantaj nedeniyle yersel fotogrametrinin yerini zaman içerisinde hava fotogrametrisi almıştır.

Sabit odak uzaklığı, düşük distorsiyon, yüksek ayırma gücü olan objektiflere sahip özel hava kameraları kullanılarak çekilen hava fotoğrafları siyah/beyaz, doğal ve yapay renkli olabilir. Son yıllarda siyah/beyaz fotoğrafların yanında doğal renkli hava fotoğrafları ile sayısal hava fotoğrafları da kullanılmaktadır. Yorumlama ve ortofoto üretiminde siyah/beyaz fotoğraflara göre çok daha fazla bilgi taşıyan renkli hava fotoğrafları tercih edilmektedir (Yaşayan ve ark., 2011).



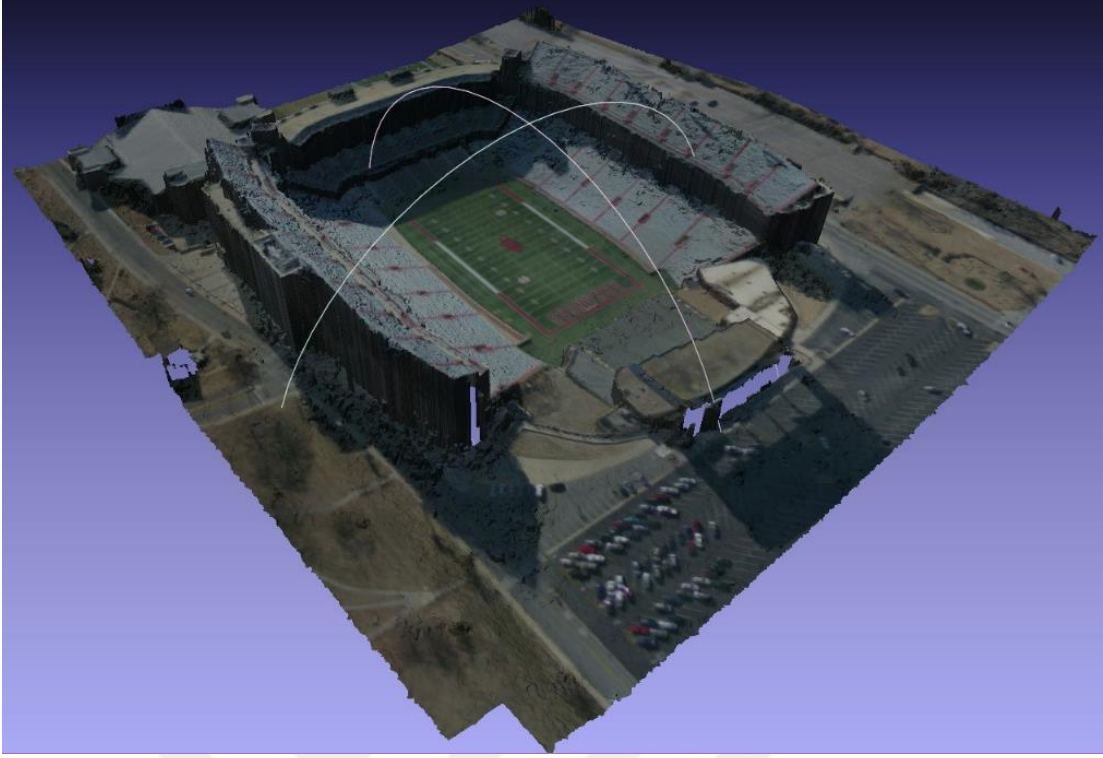
Şekil 1.12. Örnek hava fotogrametrisi uygulaması (URL-3)

Avşar (2006)'a göre hava fotogrametrisinde uygulanması gereken işlem adımları şu şekildedir (Kılınçoğlu, 2016).

- 1- Üretilecek haritanın ölçeğine göre hava fotoğrafları çekilecek alanda uçuş planı hazırlanır.
- 2- Hava fotoğraflarında net bir şekilde görülebilecek YKN'ler tesis edilir.
- 3- YKN'lerin koordinatları yüksek hassasiyette ölçülür.
- 4- Çekilen hava fotoğrafları işlenerek konumsal bilgiler üretilir.

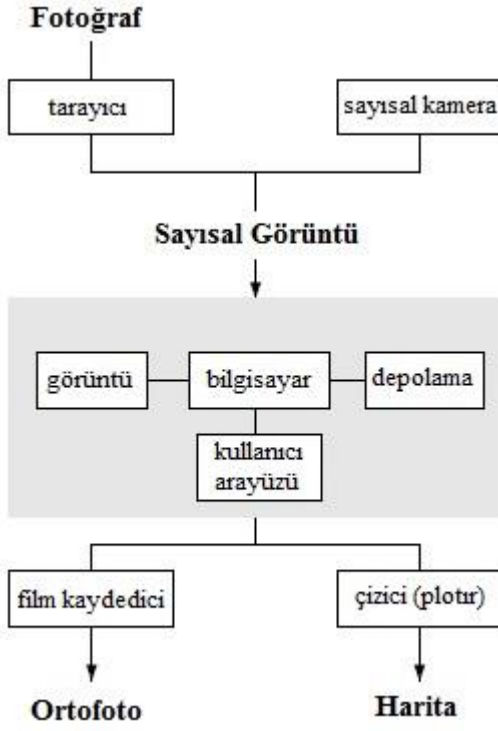
1.2.2. Sayısal (Dijital) Fotogrametri

Fotogrametri, son yıllarda "sayısal fotogrametriye" dönüşümü ile dikkate değer bir evrim geçirmiştir. Veri uçaktan coğrafi bilgi sistemleri (CBS) son kullanıcıya sayısal olarak taşınabileceğinden, fotogrametri, uzaktan algılama (UA), jeodezi ve CBS arasındaki farklar hızla ortadan kalkmaktadır. Dijital araçların kapsamlı kullanımı ve işlemlerin otomasyonu, maliyetleri önemli ölçüde azaltmış ve işlem süresini kısaltmıştır. Sayısal hava kameralarının piyasaya çıkması ve gittikçe daha fazla sayıda yeni dijital aracın piyasaya sürülmesi, stereoskopik becerilere ihtiyaç duyulmadan operatörlerin çalışmalarının basitleştirilmesini sağlamıştır. Diğer alanlardaki mühendisler ve teknisyenler, uzman fotogrametristlere ihtiyaç duymadan fotogrametrik çalışmalarını gerçekleştirebilmektedir (Egels ve Kasser, s. 1, 2002).



Şekil 1.13. Örnek sayısal fotogrametri uygulaması (URL-4)

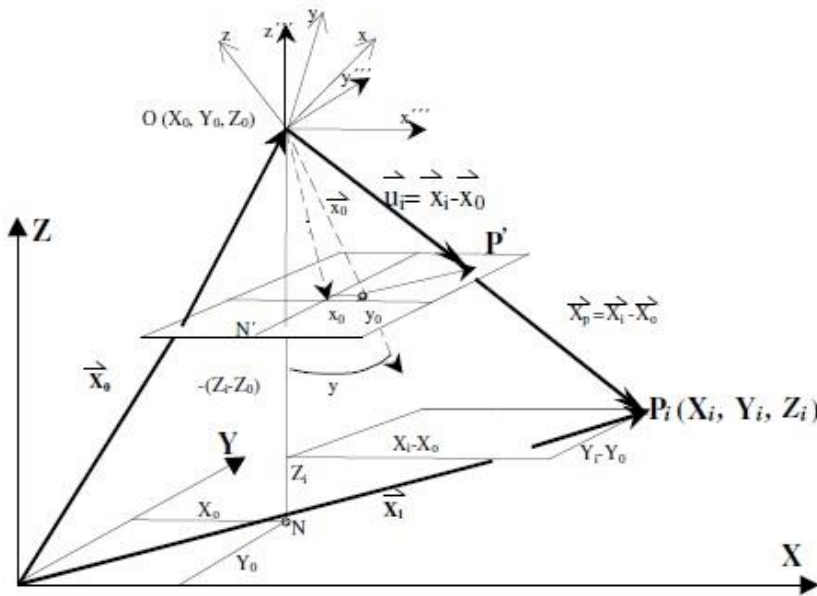
Sayısal fotogrametride tüm veriler sayısal olarak bilgisayar ortamında tutulur. Girdi kısmını dijital kameralardan elde edilen fotoğraflar ya da bir tarayıcı ile taranarak sayısallaştırılmış hava fotoğrafları oluşturur. Bunlar aynı zamanda sayısal fotogrametride veri elde etme yöntemleridir. İşleme kısmı ise sayısal fotogrametrinin merkezindedir. Çıktı bölümü, raster formatta üretim sağlayacak bir film kaydedici ve vektör formatta kopya sağlayacak bir çiziciyi içerir. Sayısal görüntüler doğrudan elektronik kameralar kullanılarak veya mevcut fotoğrafların taranmasıyla dolaylı olarak elde edilmektedir. Sayısal fotogrametri ürünlerinin doğruluğu büyük ölçüde elektronik kameraların veya tarayıcıların doğruluğuna ve kullanılan algoritmalara bağlıdır (Schenk, 2005).



Şekil 1.14. Sayısal (dijital) fotogrametri ortamının şematik diyagramı (Schenk, 2005)

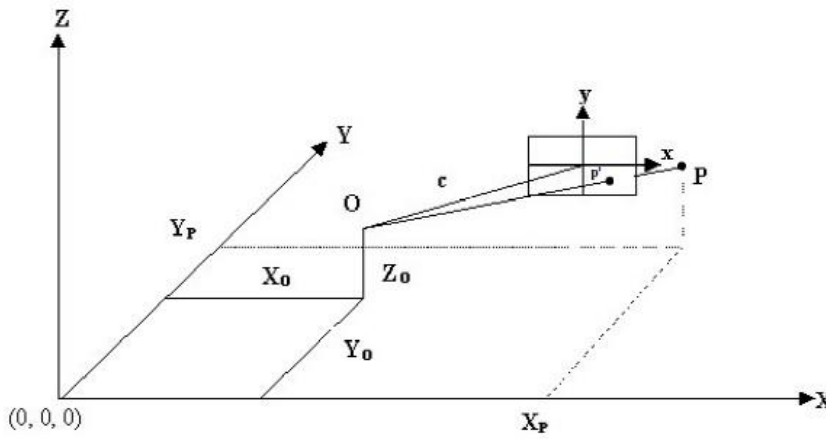
1.2.3. Fotogrametrinin Matematiksel Modeli

Fotogrametride kullanılan temel matematiksel model merkezsel izdüşümdür. Matematiksel model ile fotoğraflardaki objelerin fiziksel özellikleri (boyut, konum, şekil vb.) matematiksel ifadelerle belirlenebilir (URL-5).



Şekil 1.15. Fotogrametrinin matematiksel modeli

Matematiksel model cisim uzay koordinat sisteminde yer alan noktaların fiziksel oluşum esaslarının matematiksel ifadelerle gösterimidir. Bu noktaları gösteren ışınlar resim çekme makinesi izdüşüm merkezinden gerçek resim düzlemine bir doğru boyunca kolinearite koşuluna göre iz düşürülür. Görüntülerin yeniden oluşturulması problemi resim çekme makinesinin iç yöneltme (ana nokta koordinatları ve uzunluğu) ve dış yöneltme parametrelerinin (w, j, c dönüklüğü ile X_0, Y_0-Z_0 koordinatlarındaki istasyon noktasından çekilen fotoğrafların cisim uzay koordinat sistemindeki koordinatları) belirlenmesini içeren iki adımda çözülür (Duran, 2003).



Şekil 1.16. Yersel fotogrametrik izdüşüm

Resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arası açısal ilişkiler, koordinat eksenleri arası doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu (3x3) ortogonal dönüşüm matrisi ile belirlenir.

Koordinat eksenleri arası doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu (3x3) ortogonal dönüşüm matrisi ile resim ve cisim uzay koordinat sistemleri arası açısal ilişkiler belirlenir.

Resim koordinat sisteminde p noktasının konumunu belirleyen resim vektörü;

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ 0 - c \end{bmatrix}$$

(1.1)

olur.

x_0 , ve y_0 ana nokta koordinatları, c odak uzaklığıdır.

Odak uzaklığı, resim çekme makinesi sonsuza odaklanmadıkça ana nokta uzaklığına eşit değildir. Bu durumda ana nokta uzunluk değeri, odak uzaklığından Δf kadar sapma değerine sahip olur.

$$c = f + \Delta f \quad (1.2)$$

P noktasının cisim uzay koordinat sistemindeki konum vektörü,

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

olur.

Kolinearite eşitliğine göre, p resim ve P cisim vektörleri arasındaki matematiksel bağıntı,

$$\mathbf{P} = k \cdot \mathbf{D} \cdot \mathbf{p} \quad (1.4)$$

$$\begin{bmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ 0 - c \end{bmatrix} = k \cdot \mathbf{D} \cdot \begin{bmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

şeklinde ifade edilir. Burada k ölçek faktördür ve

$$k = \frac{P}{P} \quad (1.6)$$

formülü ile ifade edilir.

Resim koordinatları bilinen değerlere sahip olması durumunda cisim koordinatları,

$$k = \frac{1}{k} \cdot \mathbf{D}^T \cdot \mathbf{p} \quad (1.7)$$

$$\begin{pmatrix} x_p - x_0 \\ y_p - y_0 \\ 0 - c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ \mathbf{D}^T \\ \mathbf{k} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_p - X_0 \\ Y_p - Y_0 \\ Z_p - Z_0 \end{pmatrix} \quad (1.8)$$

olarak elde edilir.

Kolinearite eşitliklerinde her bir ışın için ayrı ayrı k ölçek faktörünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda oluşan matematiksel ifadelerden k ölçek faktörü yok edilirse;

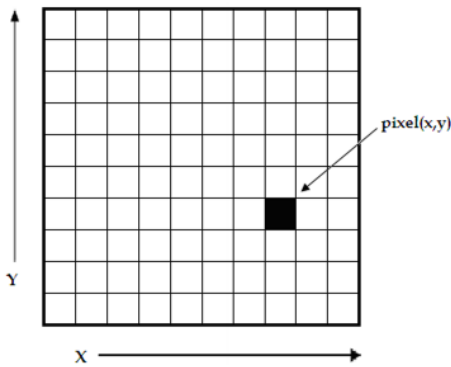
$$f_1 = x - x_0 + c \frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (1.9)$$

$$f_2 = y - y_0 + c \frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \quad (1.10)$$

matematiksel ifadeleri elde edilir (Duran, 2003).

1.3. Sayısal (Dijital) Görüntü

Sayısal görüntü x ve y'nin düzlem koordinatları olduğu, 2 boyutlu f(x,y) fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Herhangi bir koordinat çiftindeki (x,y) f genliği, görüntünün o noktadaki yoğunluk ya da gri düzeyi olarak adlandırılır. “x, y” ve “f” genlik değerleri sonlu olduğu zaman görüntü sayısal görüntü olarak adlandırılır. Sayısal görüntü, her biri belirli bir konumu ve değeri olan sınırlı sayıda elemandan oluşur. Bu elemanlar resim elemanları, görüntü elemanları ve piksel olarak adlandırılır (Gonzales ve Woods, 2008).



Şekil 1.17. Sayısal görüntü bir 2B piksel dizisidir. Her piksel, (x, y) koordinatları ve değeri ile karakterizedir (Lyra ve ark, 2011).

1.4. İnsansız Hava Araçları

İHA'lar pilotsuz, uzaktan kontrol edilen (örneğin; yer kontrol istasyonundaki bir pilot tarafından uçurulan) ya da önceden programlanmış uçuş planları veya daha karmaşık dinamik otomasyon sistemlerine dayanan, kendi kendine uçabilen hava araçlarıdır (URL-6).



Şekil 1.18. İHA örnekleri

İHA'lar, irtifa yüksekliklerine, havada kalış süresine, ağırlıklarına, kullanım alanlarına ve amaçlarına göre farklı şekilde sınıflandırılmışlardır. Kullanım amaçlarına göre İHA'lar aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır (URL-6).

1. *Hedef ve Tuzak*: Bir düşman uçağını ya da füzesini simüle ederek hedef olarak kullanılan araçlar.

2. *Keşif*: İstihbarat toplama amacıyla kullanılan araçlar.

3. *Muharebe*: Yüksek risk taşıyan görevlerde saldırı amacıyla kullanılan araçlar.

4. *Araştırma ve Geliştirme*: İHA teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılan araçlar.

5. *Sivil ve Ticari*: Sivil ve ticari amaçla kullanılan araçlar

Hassas saldırılar, arama ve kurtarma faaliyetleri, heyelan alanlarının incelenmesi, afet ve acil durum yönetimi, meteorolojik araştırmalar, sınır güvenliği, yangın, jeolojik araştırmalar, arkeoloji alanların incelenmesi, deformasyon analizleri, haritalama, 3 boyutlu modelleme gibi alanlar İHA'ların sıklıkla kullanıldığı alanlardır.

İHA'ların, insan hayatını riske atmadan yüksek riskli durumlarda, erişilemeyen alanlarda, alçak irtifada ve insanlı sistemlerin uçamadığı yerlerde kullanılabilmesi, insanlı hava araçları sistemlerine göre en büyük avantajlarıdır. Doğal afet alanları, dağlık

ve volkanik alanlar, sel alanları, deprem ve çöl alanları, erişimin zor olduğu ve insanlı hava aracının bulunmadığı veya uçuş izni verilmeyen alanlarda, veri toplamanın mümkün olmadığı olumsuz hava şartlarında İHA'lar bazen tek pratik alternatif olmaktadır (Eisenbeiss, 2009).

Verinin, uydu sistemleri ve insanlı hava araçları gibi belirli bir gün ve saat kısıtlaması olmadan istenildiği zaman, hızlı ve anlık olarak elde edilmesi, aynı alanda tekrarlı uçuşların yapılabilmesi ve uçuş maliyetinin uydu ve uçaklara göre çok daha düşük olması İHA'ların diğer avantajlarındanır.

1.5. Coğrafi Bilgi Sistemleri

CBS, coğrafi verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, analiz edilmesi ve görüntülenmesinde kullanılan bilgisayar sistemidir. Coğrafi olarak referanslanmış veri de denilen coğrafi veri, yol, parsel, bitki örtüsü gibi mekânsal verilerin karakteristiğini ve konumlarını tanımlayan verilerdir (Chang, 2007).

1.5.1. CBS'nin Bileşenleri

Bilgisayar Sistemi: CBS'yi çalıştıracak bilgisayar ve işletim sistemlerini içerir. Ekranlar, mekânsal veri girdisini sağlayacak sayısallaştırıcılar, tarayıcılar, saha çalışmalarında kullanılan mobil araçlar ile GPS alıcıları ve yazıcılar da bu sistemlere dâhil edilebilir.

CBS Yazılımı: Program ve kullanıcı arayüzünü içerir. CBS'de yaygın olarak kullanılan arayüzler, "menüler, grafiksel simgeler, komut satırları ve kodlar"dır.

İnsan: Amaçları ve hedefleri tanımlayan, CBS kullanma nedenlerini ve gerekçelerini sağlayan kullanıcılar ve CBS uzmanları bu bileşeni oluşturur.

Veri: Sistemin bilgi üretmek için kullandığı çeşitli türde girdilerdir.

Altyapı: CBS uygulamalarını destekleyecek, gerekli fiziksel, organizasyonel, yönetsel ve çevresel altyapıları içerir. Altyapı, gerekli becerileri, veri standartlarını, genel organizasyon modellerini içerir (Chang, 2007).

1.5.2. CBS Kullanım Alanları

- Doğal kaynak yönetimi
- Kentsel ve kırsal planlama
- Araç takip sistemleri
- Kent bilgi sistemleri

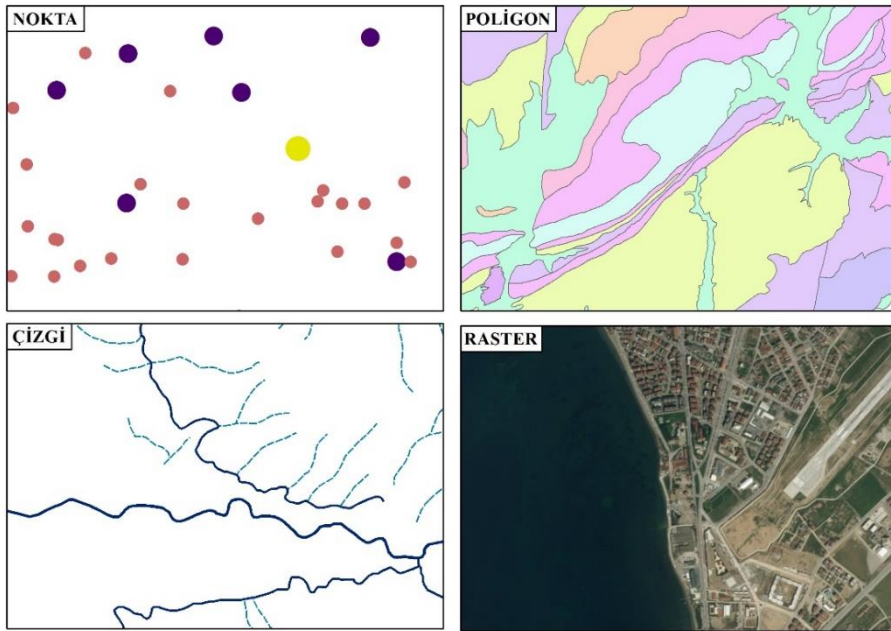
- Elektrik, su, doğalgaz şebeke ağları
- Tarımsal uygulamalar (toprak haritaları, bitki örtüsü vb.)
- Taşkın kontrolü
- Çevre uygulamaları (iklim, erozyon, su kaynakları vb.)
- Doğal afet yönetimi
- Yerbilimleri uygulamaları (deprem risk analizleri, jeolojik haritalar vb.)
- Ormancılık uygulamaları (orman amenajman planları vb.)
- Arkeoloji uygulamaları
- Şehir bölge planlama uygulamaları
- Arazi kullanım haritaları
- Bütünleşik afet tehlike haritalarının hazırlanması

Coğrafi bilgi sistemlerinin kullanım alanlarından bazılarıdır.

1.5.3. CBS Veri Tipleri

CBS’de mekânsal ve öznitelik olmak üzere iki veri tipi bulunmaktadır.

Mekânsal veriler, sürekli ya da ayırık mekânsal detayların konumsal bilgilerini içeren verilerdir. Ayırık detaylar ayrı ayrı ayırt edilebilir farklı sınırlarla temsil edilen nokta (kuyu, ağaç vb.), çizgi (yol, akarsu vb.) ve alan (heyelan, arazi kullanım tipleri vb.) detaylarıdır. Sürekli detaylara örnek olarak ise yükseklik ve yağış gibi raster veriler verilebilir (Chang, 2007).



Şekil 1.19. Mekânsal veriler

Bilgisayarlar verileri ayrı depoladığından, sürekli veriler genellikle düzensiz üçgen ağları (TIN), rasterlar veya eşyükselti eğrileri ile temsil edilir. Her bir konumun ya belirli ya da türetilmiş bir değeri vardır (Wade ve Sommer, 2006).

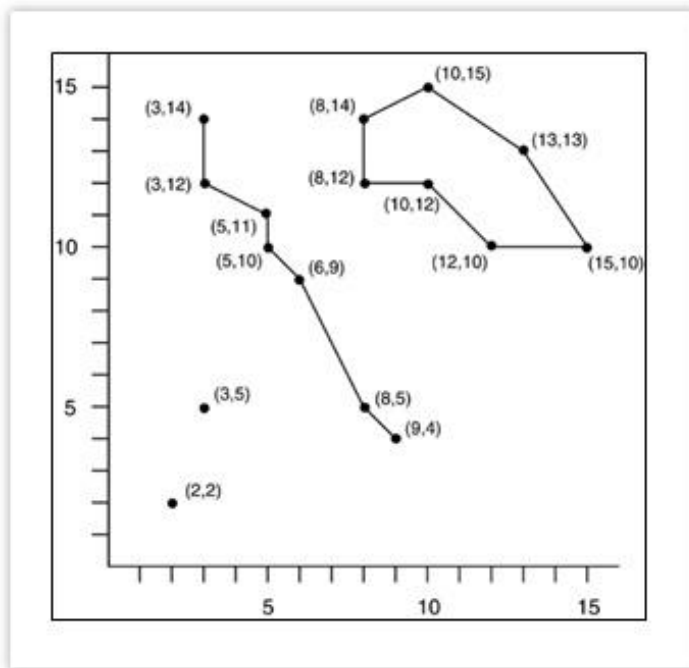
Öznetelik verisi, mekânsal detayların karakteristik özelliklerini tanımlayan verilerdir. Raster verilerde her hücre, mekânsal detayın o konumdaki öznetelik bilgisine karşılık gelen bir değere sahiptir. Her hücre kendi değerine sıkıca bağlıdır. Vektör veride ise öznetelik verisinin sayısı mekânsal detaya bağlı olarak çeşitlilik gösterebilir. Örneğin; yol detayı sadece uzunluk ve hız limiti bilgisine sahipken, toprak verisinde bu bilgiler düzinelere olabilir (Chang, 2007).

1.5.4. CBS'de Veri Modelleri

CBS'de veri modelleri Chang (2007) tarafından aşağıdaki şekilde tarif edilmiştir.

1.5.4.1. Vektör Veri

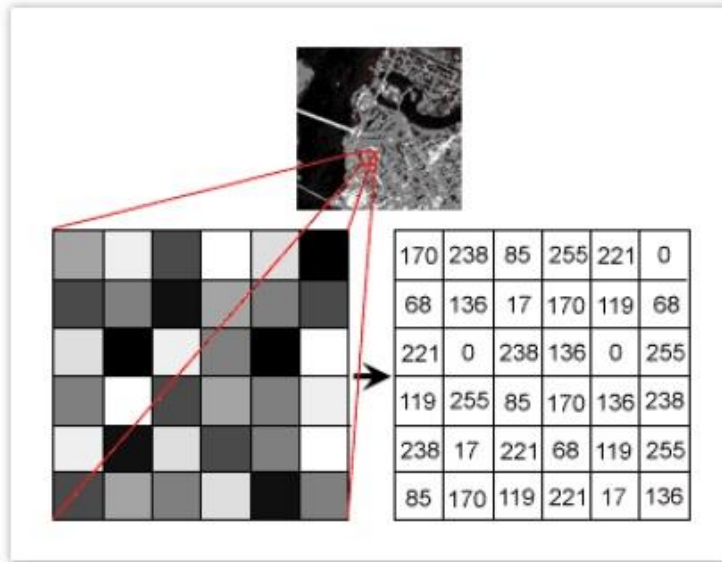
Vektör veriler konumları bilinen nokta, çizgi ve poligon olmak üzere üç farklı geometriye sahip verilerdir. Vektör veri modelinde nokta, çizgi ve poligon detaylarını oluşturmak için noktalar ve noktaların x, y koordinatlarını kullanır. Bu noktalar birleştirilerek çizgi ve poligon detaylar oluşturulur. Vektör veri ayrık detayların gösterimi için oldukça uygundur.



Şekil 1.20. Vektör veri modeli (URL-7)

1.5.4.2. Raster Veri

Sürekli verilerin gösteriminde oldukça kullanışlı olan raster veriler, detayın mekânsal değişiminin grid ve grid hücreleri ile gösterildiği verilerdir. Raster veri modelinde sabit hücre konumları ile satır ve sütunlardan oluşan basit veri yapısı kullanılır. Hava fotoğrafları, uydu görüntüleri, taranmış harita ve fotoğraflar raster veri yapısındaki verilerdir.



Şekil 1.21. Raster veri modeli (URL-7)

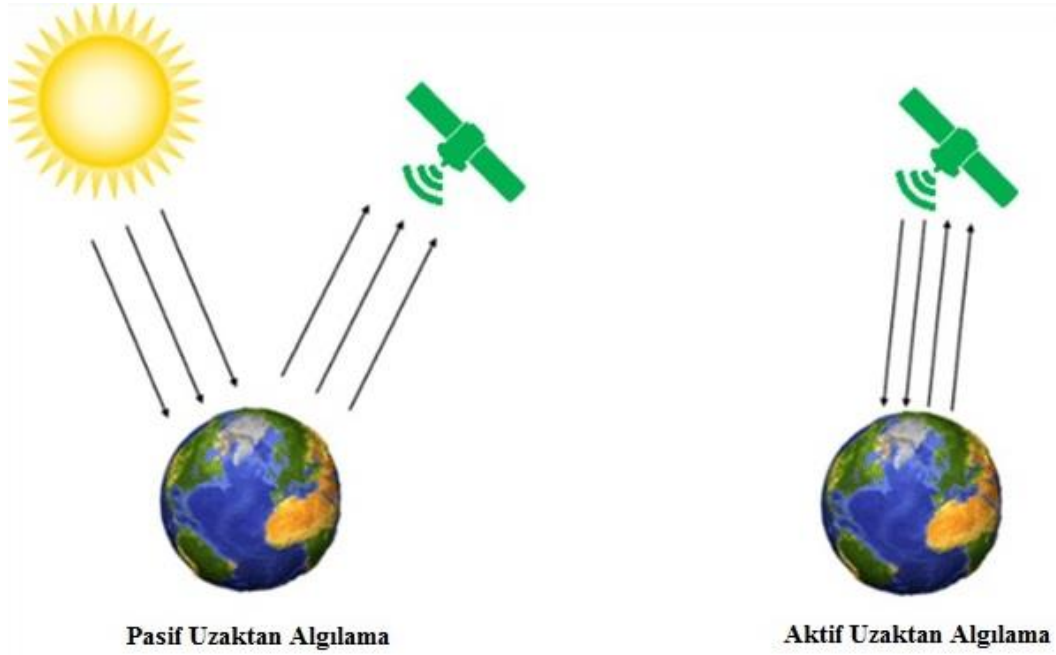
1.6. Uzaktan Algılama

UA, birçok farklı şekilde tanımlanmıştır. Bu tanımlamalardan biri Bakker ve ark. (2009)'larına göre şöyledir; uzaktan algılama, enstrümana dayalı tekniklerle bir nesneyi, sahneyi veya fenomeni gözlemlenme sanatı, bilimi ve teknolojisidir.

UA terimi, görüntü içeriğinin en iyi yorumlanmasını sağlamak amacıyla fotoğrafların ve görüntülerin analizini ifade eder (Richard ve Chen, 2003). UA'da gözlem, objelerle fiziksel temas olmaksızın yeryüzünden belirli bir uzaklıkta yapılır.

UA, aktif uzaktan algılama ve pasif uzaktan algılama olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Aktif uzaktan algılamada sensörler kendi enerjilerini üretirler. İncelenecek hedefe sensörün kendi ürettiği enerji gönderilir. Daha sonra hedeften yansıyan bu enerji sensör tarafından toplanarak ölçülür. Güneş ışığına bağlı olmaksızın istenildiği zaman ölçüm yapılabilmesi nedeniyle kullanımı avantajlıdır. Synthetic aperture radar (SAR) aktif uzaktan algılamada kullanılan sensörlerden biridir. Pasif uzaktan algılamada doğal olarak var olan mevcut enerji (güneş enerjisi) kullanılır. Güneşten yayılan elektromanyetik

radasyunun hedef objeden yansması ve sensörler tarafından algılanması ile hedefin özellikleri hakkında bilgi edinilir.



Şekil 1.22. Aktif ve pasif uzaktan algılama sistemleri (URL-8)

1.6.1. UA Kullanım Alanları

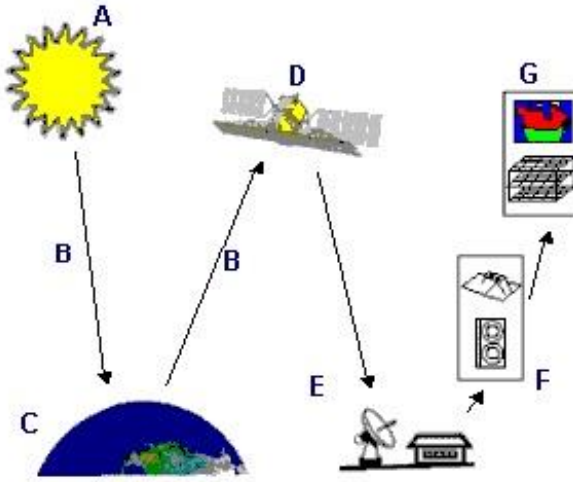
UA'nın bazı kullanım alanları aşağıda verilmiştir (URL-9).

- Toprak nemliliğinin belirlenmesi
- Google Earth, OpenStreetMap gibi uygulamalar
- Deniz yaşamı ve çevre koruma faaliyetleri (petrol sızıntı alanlarının tespiti)
- Bitki örtüsü ve orman alanlarını incelenmesi
- Hava durumu tahmini, rüzgâr yönü ve hızı ölçümü
- Düşman gözetleme faaliyetleri
- Arazi örtüsü ve kullanım türlerini tespiti
- Tarımsal planlamada toprak türlerinin haritalanması
- Orman hastalıklarının yayılmasının önlenmesi
- Alt atmosferdeki hava kalitesini izleme
- Arkeolojik kalıntıların ortaya çıkarılması
- Okyanus akıntılarının izlenmesi
- Buzul erimesi ve deniz seviyesine etkisini inceleme
- Nehir ve göllere tortu taşınımının incelenmesi

- Geçmiş ve bugünü karşılaştırarak insan etkilerinin incelenmesi
- Termal uzaktan algılama kullanarak aktif yanardağları izleme
- İnterferometri ile potansiyel heyelan envanteri toplama
- Deprem sonrası hasarı ölçme
- İklim değişimlerinin incelenmesi
- Dünya yüzeyinin jeolojisini incelemek
- Arazi kullanım değişimini kullanarak kentsel alanlarda nüfus artışını gözlemlemek
- Su havzalarının belirlenmesi
- Deniz seviyesindeki değişimleri takip etme

1.6.2. UA İşlem Adımları

UA'nın 7 temel aşaması aşağıda verilmiştir (URL-10).



Şekil 1.23. UA işlemleri (URL-10)

1. *Enerji Kaynağı veya Aydınlatma (A)*: UA için ilk gereklilik, hedefi aydınlatan veya elektromanyetik enerji sağlayan bir enerji kaynağına sahip olmaktır.

2. *Yayım ve Atmosfer (B)*: Enerji, kaynağından hedefe doğru ilerledikçe, içinden geçtiği atmosferle temas kuracak ve etkileşime girecektir. Bu etkileşim, enerji hedeften sensöre doğru giderken ikinci kez de gerçekleşebilir.

3. *Hedefle Etkileşim (C)*: Enerji atmosferden hedefe ulaştığında, hem hedefin hem de yayımın özelliklerine bağlı olarak hedefle etkileşime girer.

4. *Enerjinin Sensör Tarafından Kaydedilmesi (D)*: Elektromanyetik enerji sensör tarafından, enerjinin atmosferde dağılması veya hedeften yansımalarını takiben toplanır ve kaydedilir.

5. *İletim, Alım ve İşleme (E)*: Enerjinin dağılmasından veya hedeften yayılmasından sonra, elektromanyetik ışımının toplanması ve kaydedilmesi için bir sensöre (hedefle temas halinde olmayan bir uzaklığa) ihtiyaç duyulur.

6. *Yorum ve Analiz (F)*: İşlenen görüntü, aydınlatılan hedef hakkında bilgi çıkarmak için görsel, sayısal veya elektronik olarak yorumlanır.

7. *Uygulama (G)*: UA sürecinin son unsuru, görüntülerden elde edilen bilgilerin, bazı yeni bilgileri ortaya çıkarabilecek veya belirli bir problemi çözmeye yardım edecek hale getirilmesi işlemleridir. Çıkarılan bilgiler belirli problemleri çözmek için karar almada kullanılır.

1.7. Küresel Konumlama Sistemi

GPS, uydu teknolojisine dayalı bir küresel konumlandırma sistemidir. GPS'in temel tekniği, alıcı ile eşzamanlı olarak gözlemlenen birkaç uydu arasındaki mesafenin ölçülmesidir. Konum belirleme GPS'in en önemli uygulamalarından biridir. Uyduların tahmin edilen konumları kullanıcıya bir GPS sinyali yoluyla iletilir. Konumu bilinen birkaç uydu ve alıcı ile uydu arasındaki ölçülen mesafe kullanılarak, alıcının konumu belirlenebilir. GPS, ölçmenin yanı sıra hava, deniz ve kara seyrüsefer, alçak yer yörüngesi (LEO) uydu yörüngesi belirleme, statik ve kinematik konumlandırma, uçuş durumu izleme vb. gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. GPS, günlük yaşam, endüstri, araştırma ve eğitim için bir gereklilik halini almıştır (Xu, 2007).

GPS, ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilmiştir. İlk GPS uydusu 1978 yılında fırlatılmış, sistem 1990'ların ortalarında tamamen operasyonel hale gelmiştir.



Şekil 1.24. Navstar-2F GPS uydusu, U.S. Air Force (URL-11)

GPS'in klasik sisteme göre bir takım avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- GPS sinyallerine dünyanın her yerinden istenildiği anda ulaşılabilir. Bu nedenle noktaların birbirini görme zorunluluğu gibi kısıtlamalardan etkilenmezler.

- GPS ölçümleri, kar, yağmur, yüksek veya düşük sıcaklıklar gibi olumsuz hava şartlarından etkilenmezler.

- Yüksek konum doğruluğu sağlamaktadır.

- Klasik sistemlere göre daha hızlı ve ekonomiktir.

Dezavantajları:

- GPS'in doğruluğu alınan sinyalin kalitesine bağlıdır. Multipath, atmosfer (iyonosfer), elektromanyetik parazit gibi durumlar GPS sinyalinde hatalara neden olur.

- GPS sinyallerinin güçlü olmaması nedeniyle alıcı antenin gökyüzünü görmediği kapalı alanlar, yoğun ağaçlıklı alanlar, tünel gibi alanlarda ölçüm yapılamaz (Aydın, 2007).

1.7.1. GPS'in Bölümleri

GPS uzay, kontrol ve kullanıcı olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadır.

1.7.1.1. Uzay Bölümü

GPS'in uzay bölümü, her bir düzlemde dört uyduya sahip altı yörüngesel düzlemde, ekvator düzlemi ile 55°'lik açı yapan toplam en az 24 uydudan oluşmaktadır. GPS uyduları dünya etrafında günde 2 defa ve yer yüzeyinden yaklaşık 20200 km yukarıda dönmektedirler. Gezegende hemen hemen her noktadan en az dört uydu izlenebilmektedir. Uydular en az yaklaşık 5 saat ufuk üzerinde kalırlar (Aydın, 2007). Uydular kendilerini, güneş panellerini güneşe, antenlerini ise dünyaya doğru işaret edecek şekilde yönlendirirler (Xu, 2007).



Şekil 1.25. GPS uydu yörüngeleri, NOAA (URL-11)

1.7.1.2. Kontrol Bölümü

GPS kontrol bölümü, GPS uydularını takip eden, yayınlarını izleyen, analizleri gerçekleştiren ve GPS kümesine komutlar ve veriler gönderen küresel bir yer hizmetleri ağından oluşur. Mevcut Operasyonel Kontrol Segmenti (OCS) bir ana kontrol istasyonu, bir alternatif ana kontrol istasyonu, 11 komut ve kontrol anteni ve 16 izleme tesisini içerir (URL-12).



Şekil 1.26. GPS kontrol bölümü (URL-11)

Ana kontrol istasyonu, uydu kümesinin komut ve kontrolünden sorumludur. Bu istasyon uyduların kesin konumlarını belirler, uydulara yüklenecek navigasyon mesajlarını oluşturur, uydu yayınlarını ve sistem bütünlüğünü izler.

İzleme istasyonları, uydu geçişlerini izler, atmosferik verileri ve navigasyon mesajlarını toplar.

Yer antenleri, komutları uydulara gönderir, uzaktan ölçümleri toplar, S bandı ile iletişim kurar, 4 özel GPS yer anteni ve 7 Hava Kuvvetleri Uydu Kontrol Ağı (AFSCN) uzaktan izleme istasyonundan oluşur (URL-12).

1.7.1.3. Kullanıcı Bölümü

GPS'in kullanıcı bölümü, kullanıcının 3 boyutlu konumunu ve zamanını hesaplamak için GPS uydularından gelen sinyali alan ve iletilen bilgiyi kullanan GPS alıcısı ve anteninden oluşur (URL-12). Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak askeri ve sivil kullanıcılar için büyük bir ilerleme kaydetmiştir. Amacına uygun hassasiyette tüm GPS alıcıları bu bölümü oluşturur.



Şekil 1.27. GPS kullanıcı bölümü

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Heyelan alanlarının gelişimlerinin fotogrametrik yöntemler ile analiz edildiği çalışmalar oldukça yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmalarda farklı zamanlarda elde edilen sayısal arazi modelleri kullanılarak, üretilen sayısal arazi modelleri arasındaki farklar, topografik profiller, hacim hesaplamaları, üç boyutlu yer değiştirme vektörleri gibi heyelan dinamikleri ortaya konmaktadır. Farklı zamanlarda elde edilen sayısal arazi modelleri ve ortofotolardan ölçme yoluyla elde edilen heyelan hareketinin gelişimi takibi gibi kompleks analizler yapılabilmektedir (Fernandez ve ark., 2015).

Erenoğlu ve ark (2014), çalışmalarında düşük maliyetli İHA ve sayısal kameralar kullanarak Çanakkale ilinde son aktivitesi 15 Kasım 2013 tarihinde gerçekleşen ve aktif bir heyelan olan Adatepe Heyelanı'nın hava fotoğraflarını kampanyalar halinde çekmiştir. Çekilen fotoğraflardan düzlem görüntü düzeltmesi metodu kullanılarak tüm Adatepe Heyelanı kayma alanını kapsayan cm seviyesinde çözünürlüğe sahip ortomozaik oluşturulmuştur. Ayrıca üretilen sayısal arazi modelinde yer değiştirmiş bölümler, yüzeydeki bölgesel farklılıklar, tümsekler, sırtlar, oluklar ölçeklenerek modellenmiştir. İHA tabanlı fotogrametrinin aktif heyelanların izlenmesi ve analiz edilmesinde kullanımı önerilmiştir.

Peterman (2015), Kuzeybatı Slovenya'nın batısında yer alan Karavanke Dağları'ndaki Korosko Bela köyü yakınlarında meydana gelen Potosko Planina heyelanını gözlemlemiş ve heyelanların İHA ile izlenmesine pratik bir örnek sunmuştur. Daha önce bölgede yapılan jeolojik araştırmalar sonucu yılda 10 cm'den fazla yer değiştirmenin meydana geldiği görülmüştür. Yılda iki kez gerçekleştirilen periyodik gözlemler sonucunda elde edilen veriler işlenmiş ve daha büyük hareketlerin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Niethammer ve ark. (2012) tarafından, Fransa'da meydana gelen Super Sauze heyelanının İHA ile çekilmiş fotoğrafları kullanılarak tüm heyelanın yüksek çözünürlüklü ortomozaik ile birçok bölgenin sayısal arazi modeli üretilmiştir. Heyelan yüzeyindeki çatlakların ve yer değiştirmelerin görüntülenmesi için İHA kabiliyeti değerlendirilmiş ve verilerin uygun şekilde coğrafi referanslanması için görüntü işleme yaklaşımları değerlendirilmiştir. Heyelanda Mayıs 2007 ve Ekim 2008 tarihleri arasında yapılan gözlemler neticesinde 7 m'den 55 m'ye kadar yatay yer değiştirmelerin meydana geldiği görülmüştür. Bu çalışmada, radyo kontrollü düşük maliyetli insansız hava araçlarının,

heyelanlarda yüksek çözünürlüklü UA verileri sunabileceği ve önerilen İHA tabanlı UA yaklaşımının, çatlakların ve yüzey kaplamasının analizini mümkün kılan yüksek çözünürlüklü ortomozaikler ve SAM'ların üretimi için önemli bir potansiyel taşıdığı gösterilmiştir.

Fernandez ve ark (2015) tarafından yapılan çalışmada, La Guardia'da (Jaen, Güney İspanya) meydana gelen çamur akışı 2012 ile 2014 yılları arasında gerçekleşen 4 İHA uçuşu ile ölçülmüştür. Bu ölçümler, daha önce geleneksel hava fotogrametrisi ve LIDAR ölçümlerinden elde edilen verilerle de karşılaştırılmıştır. Her ölçümde yüzeydeki değişimlerin kestirimine olanak veren SYM ve ilgili noktalardaki yatay ve düşey yer değişimlerinin belirlenebildiği ortofotolar elde edilmiştir. Bazı kampanyalar arasında düşeyde santimetre yatayda ise metre mertebesinde önemli yer değiştirmeler gözlenmiştir.

Rau ve ark (2011), Morakot Tayfun'u tarafından tetiklenen yüzlerce heyelanı içeren 21,3 km² büyüklüğündeki test alanını sabit kanatlı bir insansız hava aracı ile haritalamıştır. Elde edilen görüntülere, hava triyngulasyonu, ortofoto oluşturma ve mozaikleme uygulanmıştır. Nesne tabanlı görüntü analizi (OBIA) tekniğine dayanan otomatik bir heyelan saptama algoritması önerilmiştir. Renkli ortofoto ve SYM kullanılmıştır. Tayfundan önce ve sonra elde edilen ortofoto, yeni heyelan alanlarının kestirimi için kullanılmıştır. Deneysel sonuçlar, geliştirilen algoritmanın yüksek doğruluğa sahip olduğunu ve heyelan haritalaması için sabit kanatlı bir İHA'nın uygulanabilirliğini göstermektedir.

Farina ve ark (2017) tarafından yapılan çalışmalarda, İtalya'nın Toskana, Umbria ve Sicilya bölgelerinde yer alan farklı heyelanlar, Floransa Üniversitesi'nde geliştirilen bir araç olan Saturn multikopter kullanılarak incelenmiştir. İHA ile elde edilen hava fotoğrafları kullanılarak hassas bir SAM'ın ne kadar hızlı üretilebileceğinin gösterilmesi hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda İHA teknolojisiyle heyelan alanının yüksek çözünürlüklü nokta bulutları verilerinin elde edilmesiyle, incelenen alanın ana jeomorfolojik özellikleri tanımlanarak ayrıntılı bir jeomorfolojik haritasının hazırlanabileceği görülmüştür. Ayrıca yüzey deformasyonlarını birkaç santimetre dikey doğrulukla ölçmenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Turner ve ark (2015) tarafından yapılan çalışmada, İHA ile yüksek çözünürlüklü görüntüler 7 epokda 4 yıl boyunca toplanarak, toprak kayması dinamiklerini belirleme amacıyla kullanılmıştır. Heyelanın SYM'si, yatayda 4-5 cm, düşeyde 3-4 cm doğrulukta oluşturulmuştur. Zaman serileri üzerinden heyelanın belirli alanlarındaki hacimsel değişimler ölçülmüştür. Heyelanın yüzey hareketi izlenmiş, COSI-Corr görüntü korelasyon

algoritması ile zemin doğrulaması olmadan ölçülmüştür. Tarihsel hava fotoğrafları altlık sayısal yüzey modeli oluşturmak için kullanılmış ve heyelanın toplam yer değiştirmesi yaklaşık olarak 6630 m³ bulunmuştur. Bu çalışma ile heyelan dinamiğinin nispeten uzun bir zaman dizisi boyunca İHA ile haritalanmasını ve izlenmesini sağlayan sağlam ve tekrarlanabilir bir algoritma sunulmuştur.

Eker ve Aydın (2016), Aşağı Avusturya, YBBS Bölgesi'nde meydana gelen Hollenstein heyelanının, İHA uçuşları ile sayısal görüntülerini elde ederek fotogrametrik ölçüm amacıyla kullanmışlardır. Bu görüntülerden Structure from Motion (SfM) algoritması ile heyelanın ortofotosu ve 6 cm hata ile SYM'si üretilmiştir. 2009 yılında alınan 1 m çözünürlüğe sahip LIDAR görüntüsü ile oluşturulan SYM karşılaştırılarak alandaki deformasyon belirlenmiştir.

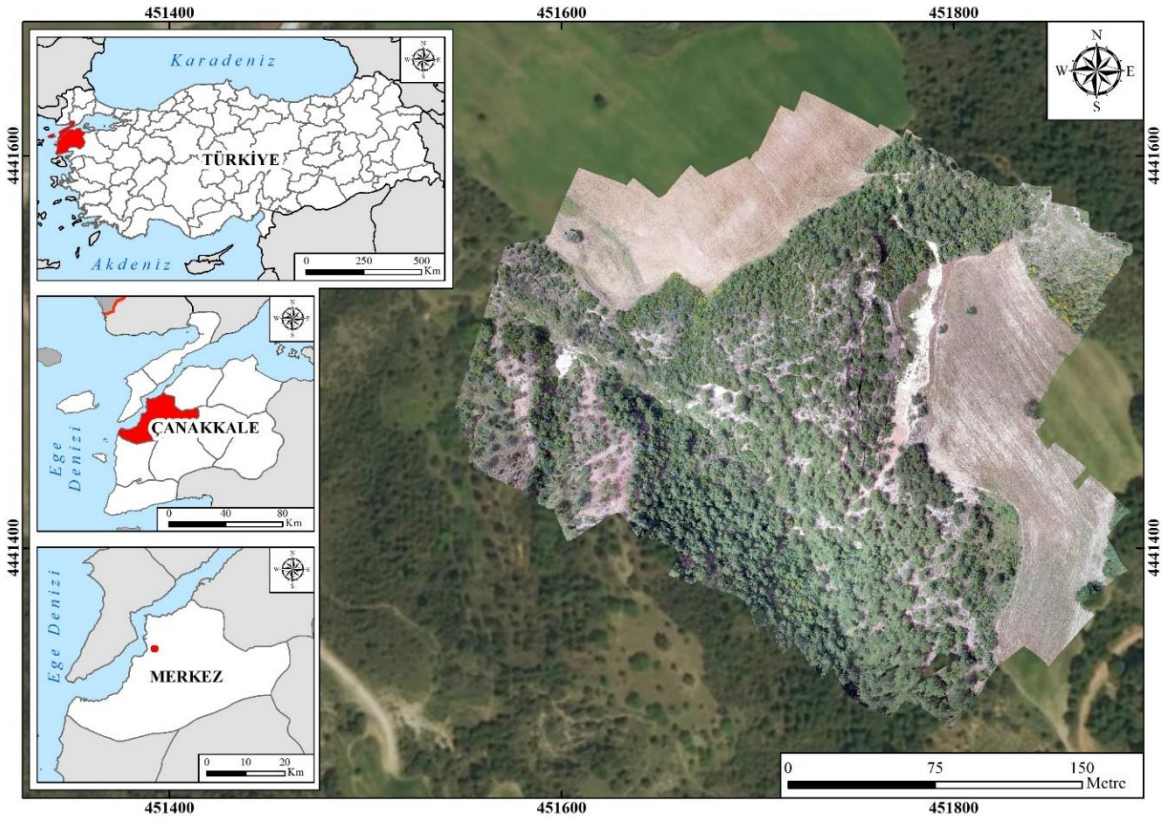
Lindner ve ark. (2015) Haziran 2013'te, yoğun yağışlar tarafından tetiklenen Avusturya'daki küçük bir köyde birkaç milyon metreküplük büyük bir toprak akışına, heyelanın izlenmesi ve belgelenmesi için jeofizik yöntemler (jeoelektrik, inklinometre, toprak nemi ve toprak sıcaklığı) ve GNSS ölçümleri gibi bir teknoloji paketi uygulamıştır. Ek olarak, heyelan sürecinin periyodik olarak değerlendirilmesi için bir İHA da kullanılmıştır. Toplamda, binlerce görüntü sağlayan bir dijital tek lensli refleks kamera (DSLR) ile donatılmış multikopter ile dokuz uçuş gerçekleştirilmiştir. Bu görüntülere ve heyelan alanının ayrıntılı GNSS ölçümlerine dayanarak, ortofotoların yanı sıra ± 10 cm'den küçük bir doğrulukla SYM'ler de üretilmiştir. Bu veri setlerinden çatlak izleme, akış yönü ve hızı ile kütle dengesi verileri elde edilmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Çalışma Alanı

40° 7' 14,48" K – 26° 26' 0,94" D koordinatlarında Çanakkale ili Merkez ilçe Sarıcaeli köyünde meydana gelen Sarıcaeli Heyelanı deniz seviyesinden yaklaşık 100 m yukarıda yer almaktadır. Meydana gelen heyelan **derin tabanlı dönel (deep seated rotational)** türde bir heyelandır ve Sarıcaeli köy merkezinden yaklaşık 1 km, Çanakkale il merkezinden ise yaklaşık 7 km uzaktadır. Heyelanın genişliği yaklaşık 150 m, uzunluğu ise yaklaşık 45 m'dir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı yer bulduru haritası



Şekil 3.2. Çalışma alanı, foto: Zeki ALKAN



Şekil 3.3. Çalışma alanı, foto: Zeki ALKAN



Şekil 3.4. Çalışma alanı, foto: Zeki ALKAN



Şekil 3.5. Çalışma alanı, foto: Zeki ALKAN

3.1.1. Derin Tabanlı Heyelan

Kayma yüzeyinin, ağaçların maksimum köklenme derinliğinden (10 metreden daha derin) daha aşağıda olduğu toprak kaymalarıdır. Derin tabanlı heyelanlar genellikle derin regolit, yıpranmış kaya ve / veya ana kayayı kapsar ve translasyonel, rotasyonel veya karmaşık hareketle ilişkili büyük yamaç kaymalarını içerir. Yılda birkaç metreye varan hızda hareket eden bu tür toprak kaymaları genellikle tektonik olarak aktif bölgelerde meydana gelir (URL-13).

3.1.2. Çalışma Alanı ve Civarı Jeolojisi

İnceleme alanının jeolojisini, kırmızı renkli çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşından oluşan kayaç topluluğu üzerinde yer alan ve egemen olarak ufak- kaba taneli kumtaşı ile daha az oranda çakılcık - ufak çakıllı konglomera, siltaşı ve çamurtaşından oluşan denizel birim oluşturmaktadır.

Kumtaşlarının bileşenlerini kuvars ve mika taneleri oluşturmaktadır. Çakıltaşları ise iyi gelişmiş düzlemsel paralel katmanlara sahiptir. Tüm bu çökeller çökme sırasında ortamda hüküm süren normal dalga ve akıntı süreçlerinin yanı sıra fırtına ve gel-git süreçlerinden etkilenmiş ve çökeller bu süreçlere bağlı olarak işlenmişlerdir (İlgar ve ark., 2008).

3.2. Veri Toplama

Veri toplama aşamasında, bir adet dört pervaneli DJI Inspire 1 marka İHA ve İHA'ya entegre edilmiş bir adet DJI Zenmuse X3 marka dijital kamera, bir adet CHC marka GPS alıcısı ve beş adet YKN kullanılmıştır. Heyelan alanında yapılan saha çalışmaları 30 Mayıs 2016, 6 Eylül 2016 ve 27 Ocak 2017 tarihlerinde gerçekleştirilen üç farklı epok şeklinde tekrar edilmiştir. Veri toplama aşaması tüm epoklar için aynıdır. Bu yüzden bu bölümde yalnızca 30 Mayıs 2016 tarihinde yapılan YKN tesisi, koordinat ölçümü ve görüntü alım işlemleri anlatılacaktır.

3.2.1. İHA Tabanlı Uzaktan Algılama ve Heyelan Analizi

İHA tabanlı UA çalışmaları uzun yıllardır yapılmaktadır. İHA fotogrametrisi için, 1970'lerin sonunda sabit kanatlı, uzaktan kumanda edilebilen ilk hava araçları üretilmiştir. Çeyrek yüzyıl sonra yüksek çözünürlüklü SYM'lerin üretilmesi için insansız helikopterler geliştirilmiştir. Bugün ise başka birçok İHA sistemi de kullanılmaktadır (Niethammer ve ark., 2010).

Uydu görüntülerine göre maliyetlerinin düşük olması, hava koşulları nedeniyle uydulardan görüntü elde edilemediği durumlarda ve istenildiği anda veri elde edilebilmesi nedeniyle İHA'lar oldukça kullanışlı olmaktadır. İstenilen alanın ortofotosu ve SYM'si kısa sürede üretilmektedir.

Görüntü alımı yapılacak alanın belirlenerek uçuş planının hazırlanması, İHA'ların fotogrametrik amaçla kullanımı için yeterlidir. İHA'ların kolay kullanımı, hafif nitelikte olması ve olumsuz hava şartlarında da kullanılabilmesi, uydu sistemlerine göre hızlı veri elde edilebilmesi, bu araçların arazi ölçme ve ortofoto üretiminde kullanımını yaygınlaştırmıştır. İHA'lar ile elde edilen verilerden fotogrametrik yaklaşımlar ile ortofotolar, üç boyutlu modeller, sayısal arazi ve yükseklik modelleri, nokta bulutları kolaylıkla üretilmektedir (Türk, 2013). İHA tabanlı UA uygulamalarının en büyük avantajlarından biri, heyelan, kaya düşmesi alanları gibi doğrudan ölçümlerin yapılamayacağı tehlikeli alanlarla ilgili bilgi toplama olanağı sağlamasıdır (Niethammer ve ark., 2010).

Aktif heyelanların izlenmesi ve analizi hem mekânsal hem de zamansal ölçümleri içerir. Ayrıca heyelan şartlarının (yer değiştirmelerin oranı ve kapsamını içeren yüzey topografyasındaki değişimlerin) sürekli değerlendirilmesi gerekir. Yer değiştirmeler büyük önem taşımaktadır ve farklı tarihlerde oluşturulmuş SYM ve ortofotoların karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Bu ölçümler manuel ya da otomatik olarak yapılabilmektedir. İHA kökenli üretilen ortofotolar, büyük ölçekli heyelan materyali ve çatlak yapıları analizlerine olanak vermektedir. Çatlak yapıları açıkça tespit edilip heyelan materyalindeki kırılma süreci ile ilişkilendirilebilmektedir. Ayrıca İHA kökenli ortofotolardaki yüksek çözünürlüklü dokusal bilgi heyelan yüzeyindeki toprak neminin analiz edilmesine de olanak vermektedir. İHA temelli üretilen SYM'ler kullanılarak ayrıca heyelan alanına ait eğim, bakı, eğrisellik gibi SYM türevleri ve heyelan birikim alanı verileri de üretilmektedir (Niethammer ve ark., 2010).

3.2.2. Yer Kontrol Noktalarının Tesisi ve Koordinat Ölçümü

Görüntü işleme aşamasında kullanılacak olan YKN'ler heyelan üst sınırına tesis edilmiştir. YKN'ler ve konumları İHA ile alınan görüntülerde kolayca görülebilecek şekilde seçilmiştir. Tesis edilen YKN'lerin koordinatları CHC marka GPS alıcısı ile santimetre mertebesinde ölçülmüştür.



Şekil 3.6. Kullanılan GPS alıcısı (URL-14)

YKN'ler, üretilecek SYM ve ortomozaiklerin coğrafi referanslamasında ve datum dönüşümlerinde kullanılmaktadır. YKN'lerin koordinatları Universal Transvers Merkator 3° (UTM) Projeksiyon Sistemi, International Terrestrial Reference Frame 1996 (ITRF96) Datumu'nda ölçülmüştür. Dilim numarası 27'dir.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan yer kontrol noktası



Şekil 3.8. Yer kontrol noktalarının konumları (30 Mayıs 2016)

Çizelge 3.1. Yer kontrol noktaları koordinatları (30 Mayıs 2016)

Nokta No	X	Y	Z
1	451733,4164	4443031,8872	147,0988
2	451729,2840	4443060,1914	146,7749
3	451730,5541	4443081,8219	145,3809
4	451734,4562	4443109,3111	142,7629
5	451734,4383	4443131,0045	140,7492

3.2.3. Kullanılan İHA ve Dijital Kameranın Teknik Özellikleri ve Görüntü Alımı

YKN'lerin tesisi ve koordinat ölçümünün tamamlanmasının ardından uçuş gerçekleştirilmiş ve heyelanın hava fotoğrafları 50 metre yükseklikten, yaklaşık 5 metre aralıklarla DJI Inspire 1 marka İHA ile çekilmiştir. Hava aracına entegre DJI Zenmuse X3 marka dijital kamera kullanılmıştır. İHA ve dijital kameraya ait teknik özellikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmiştir. Yaklaşık 6000 m²'lik bir alanın tamamı taranarak çözünürlüğü 4000 x 2250 piksel olan 91 adet hava fotoğrafı elde edilmiştir.



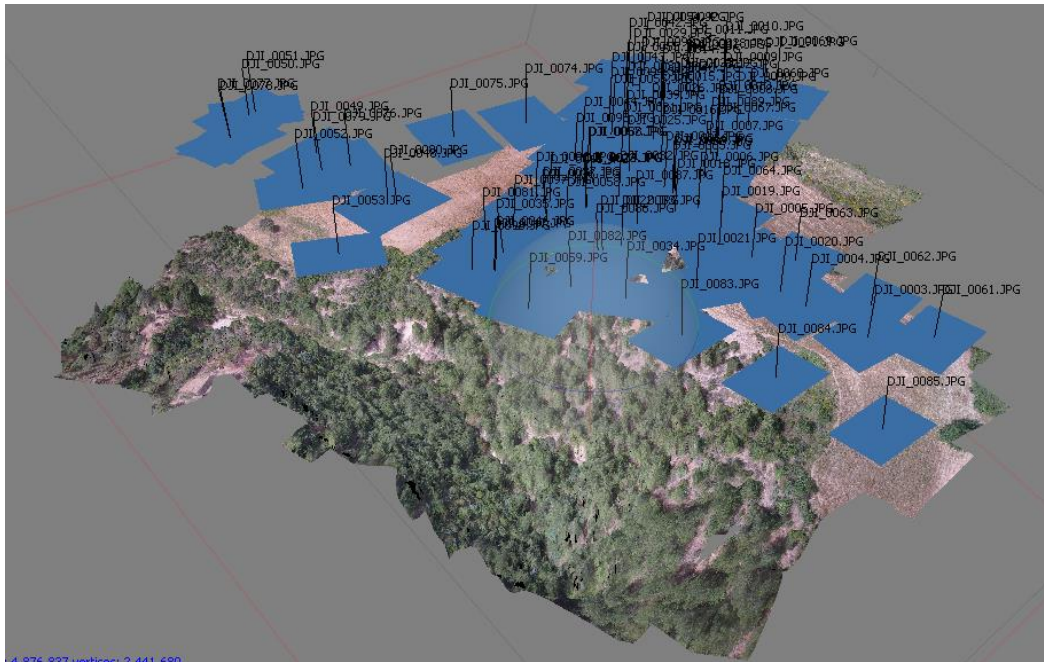
Şekil 3.9. Çalışmada kullanılan DJI Inspire 1 insansız hava aracı ve DJI Zenmuse X3 marka dijital kamera

Çizelge 3.2. İHA teknik özellikleri (URL-15)

Marka	DJI Inspire 1
Model	T600
Ağırlık	2845 gr, pervane ve batarya dâhil, gimbal ve kamera hariç 3060 gr, pervane, batarya ve kamera dâhil
Maksimum Kalkış Ağırlığı	3500 gr
GPS Gezinme Doğruluğu	Dikey: 0,5 m Yatay: 2,5 m
Maksimum Hız	79 km/s
Uçuş Süresi	Yaklaşık 18 dakika
Maksimum İrtifa	Deniz seviyesinden 2500 m (özel pervaneler ile 4500 m)
Çalışma Isısı	-10° den 40° ye
Maksimum Yükselme Hızı	5 m/s
Maksimum Alçalma Hızı	4 m/s
Maksimum Rüzgâr Hızı Direnci	10 m/s

Çizelge 3.3. Dijital kamera teknik özellikleri (URL-16)

Marka	Zenmuse X3
Ağırlık	221 gr
Boyut	107,3 × 75,5 × 94,8 mm
Foto Formatı	JPEG, DNG, JPEG + DNG
Video Formatı	MOV, MP4
Objektif Hızı	8 - 1/8000 s
Lens	F/2.8 20 mm (35 mm eşdeğer format)
Sensor	CMOS 1/2,3"
Sensor Genişliği	6,17 x 4,55 mm
Odak Uzaklığı	3,6 mm
Foto Çözünürlüğü	4000x3000
Video Çözünürlüğü	UHD: 4096 x 2160p 24/25 3840 x 2160 p24/25/30 FHD: 1920 x 1080 p24/25/30/48/50/60 HD: 1280 x 720 p24/25/30/48/50/60



Şekil 3.10. Fotoğraf çekim noktaları (30 Mayıs 2016)



Şekil 3.11. Örnek hava fotoğrafı

3.3. Veri İşleme

Veri toplama işleminin tamamlanmasının ardından veri işleme aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada Agisoft PhotoScan Professional Edition Version 1.2.4 yazılımı kullanılarak Structure from Motion (SfM) Algoritması ile nokta bulutu, SYM, SAM ve ortomozaik üretilmiştir. Yazılım ile fotoğrafların hizalanmasından sonra sırasıyla seyrek ve yoğun nokta bulutları, 3B poligonal model, SYM, SAM ve ortomozaikler üretilmiştir. Agisoft PhotoScan Kullanıcı Kılavuzunda yer alan genel iş akışına ve açıklamalara göre işlemler tamamlanmıştır. Bu işlemler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Veri işleme aşaması tüm epoklar için aynıdır. Bu yüzden bu bölümde yalnızca 30 Mayıs 2016 tarihinde elde edilen hava fotoğrafları temel alınarak yapılan çalışmalar anlatılacaktır.

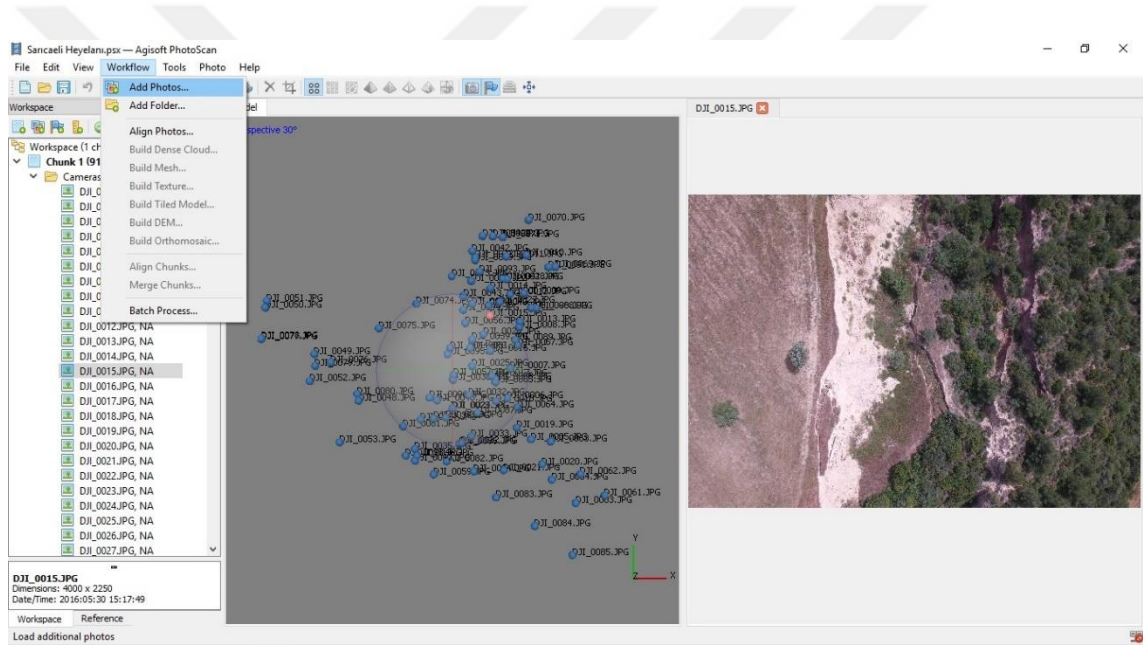
3.3.1. SfM Algoritması ile 3B Model Üretimi

SfM işlemi, ilgili obje fotoğraflarının, birden fazla konumdan ve / veya açılardan yeterli bindirme ile (örneğin % 80-90) elde edilmesi ile başlar. Karakteristik görüntü nesnelere, fotoğraflar arasında otomatik olarak algılanabilir, tanımlanabilir ve eşleştirilebilir. Ardından eşleşen detaylar üzerinde ışın demeti ile dengeleme uygulanır. Böylece detayların 3B konumları, kamera dönüklükleri ve fotoğraflardaki XYZ konumları belirlenir. Sonuç olarak seyrek nokta bulutu üretilir. Çok görüntülü stereopsis (MVS) ya da derinlik haritalama teknikleri ile çok yoğun 3B model üretmek için yoğunlaştırma tekniği

kullanılabilir. YKN'lerin kullanımı ve / veya kamera GPS konumlarının dâhil edilmesi, 3B modelin gerçek dünyadaki bir koordinat sisteminde yer almasına olanak tanır. Son olarak model, grid tabanlı bir SYM olarak dışarıya aktarılabilir ve çekilen fotoğraflara dayalı olarak ortomozaikler üretilebilir (Lucieer ve ark., 2014).

3.3.2. Fotoğrafların Yüklenmesi

Saha çalışmaları sırasında çekilen 91 adet hava fotoğrafı PhotoScan yazılımı kullanılarak “Workflow” menüsü altında yer alan “Add Photos” komutu ile yüklenmiştir. Yükleme sonrası açılan pencerelerde çekilen fotoğrafların listesi, çekim tarihi ve saati, fotoğraf çekim noktaları görüntülenebilmektedir. Ayrıca yazılım fotoğrafların tek tek açılarak incelenebilmesi olanağı da sunmaktadır.

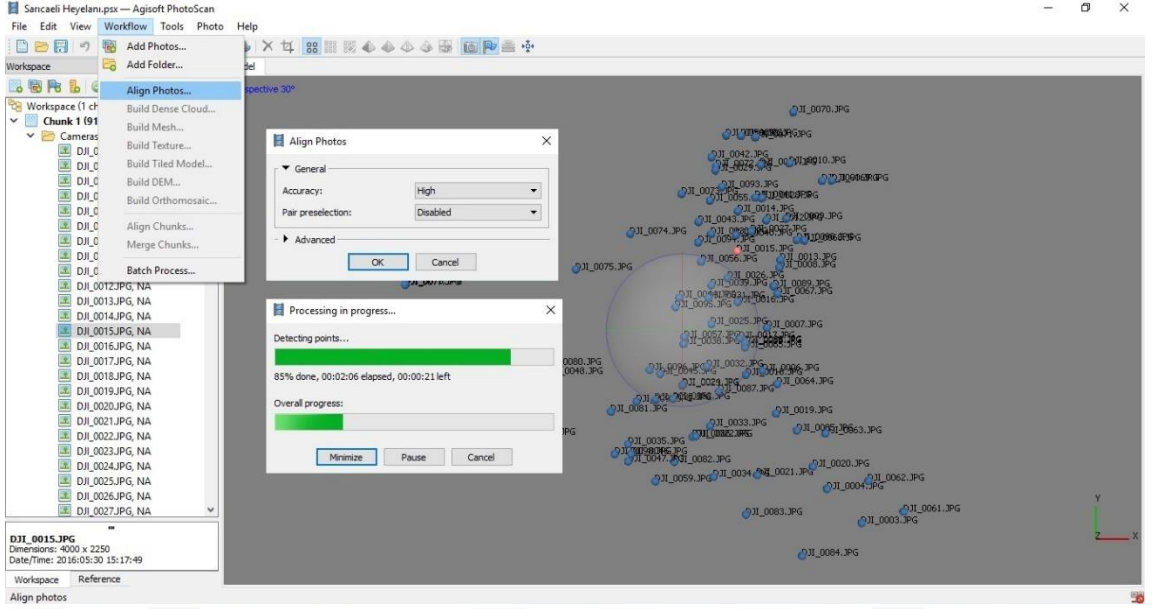


Şekil 3.12. Fotoğrafların yüklenmesi

3.3.3. Fotoğrafların Hizalanması, Görüntü Eşleme ve Seyrek Nokta Bulutunun Oluşturulması

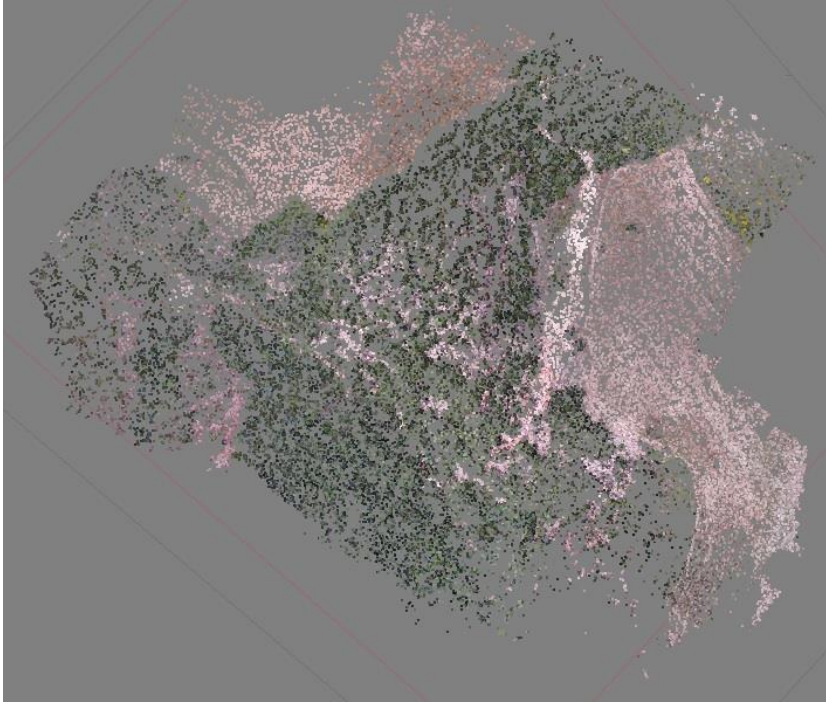
Fotoğraflar yüklendikten sonra yapılacak ilk işlem fotoğrafların hizalanmasıdır. Fotoğraflar “Workflow” menüsü altında yer alan “Align Photos” komutu ile yüksek doğruluk ve JPEG EXIF bilgilerinde saklanan GPS koordinatları temel alınan çift ön seçim (pair pre-selection) ayarı kullanılarak hizalanmıştır.

Fotoğraflara GPS koordinatlarının eklenmesi detay eşleştirme hızını artırır. PhotoScan yazılımı yalnızca bindirmeli fotoğraflardaki detayları eşleştirebilir. Detay eşlemeyi ışın demeti ile dengeleme takip eder (Lucieer ve ark., 2014).



Şekil 3.13. Fotoğrafların hizalanması

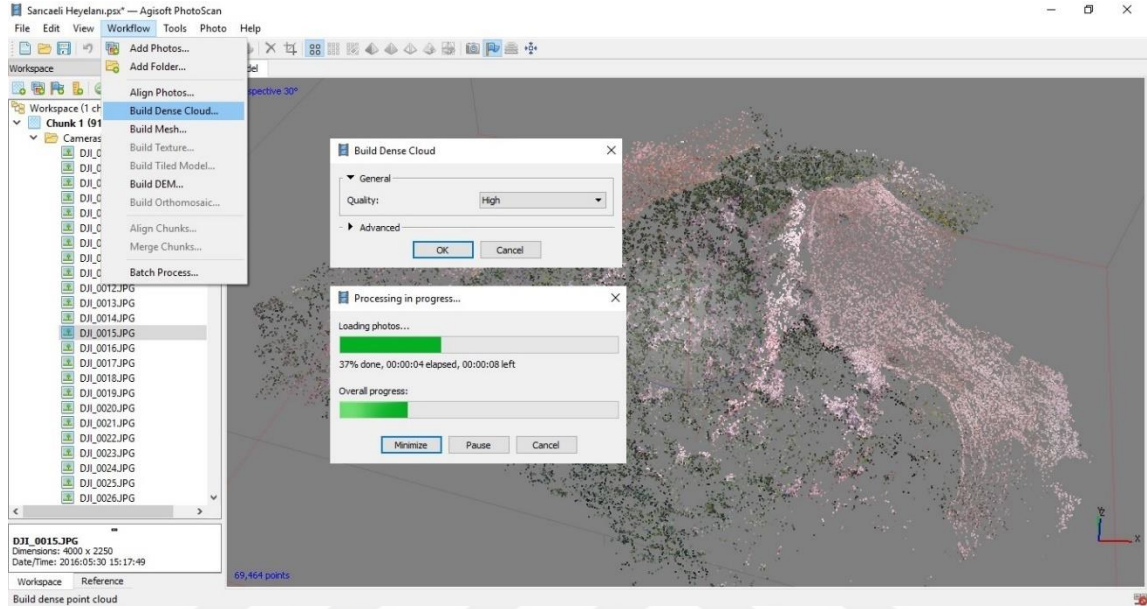
Bu aşamada, bindirmeli çekilen fotoğraflardan hem fotoğraflar üzerindeki ortak noktalar bulunur ve eşleştirilir hem de her fotoğraf için kamera konumu ile dönüklüğü bulunur ve kamera kalibrasyon parametreleri düzeltilir. Sonuç olarak seyrek nokta bulutu modeli ve kamera pozisyonları seti oluşturulur (PhotoScan UM, 2018).



Şekil 3.14. Seyrek nokta bulutu

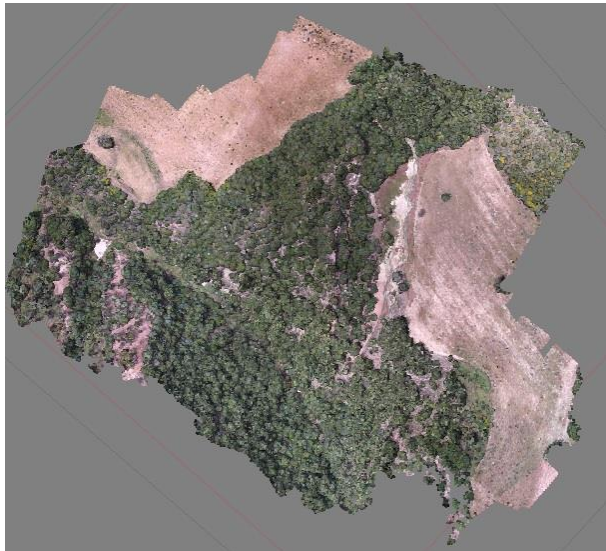
3.3.4. Yoğun Nokta Bulutu

“Workflow” menüsü altında yer alan “Build Dense Cloud” komutu ve yüksek kalite ayarı ile yoğun nokta bulutu oluşturma işlemi başlatılmıştır. Bu nokta bulutu, tahmini kamera pozisyonu ve fotoğraflardan üretilir.



Şekil 3.15. Yoğun nokta bulutunun oluşturulması

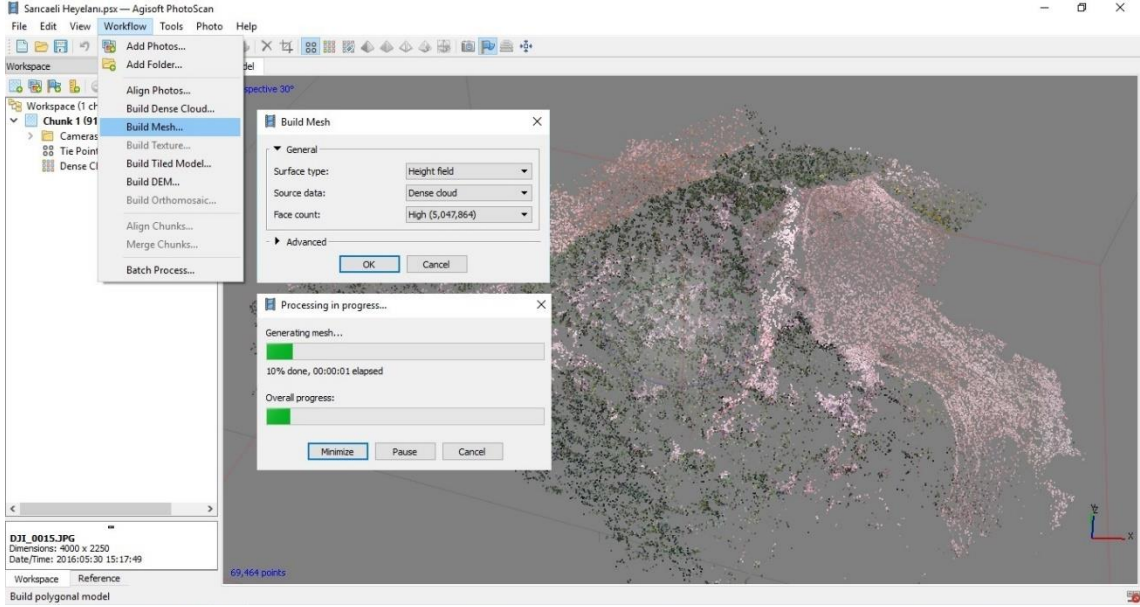
Program, tahmin edilen kamera konum bilgilerini temel alarak, tek bir yoğun nokta bulutunda toplanacak derinlik bilgilerini her kamera için hesaplar (PhotoScan UM, 2018). Üretilen yoğun nokta bulutunda 24.644.974 nokta bulunmaktadır.



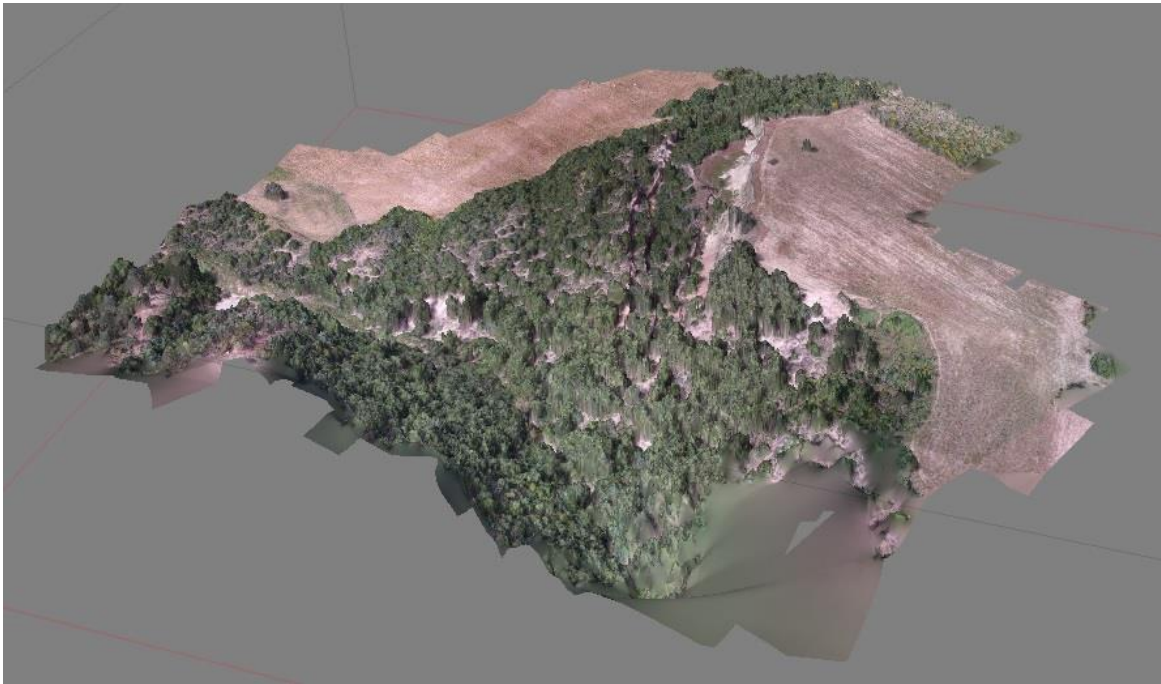
Şekil 3.16. Yoğun nokta bulutu

3.3.5. 3B Poligonal Model

Yoğun nokta bulutunun üretilmesinin ardından obje yüzeyini temsil eden 3B poligonal model üretilir. Bu model üretilirken seyrek ya da yoğun nokta bulutu temel alınır (PhotoScan UM, 2018). “Workflow” menüsü altında yer alan “Build Mesh” komutu ile yoğun nokta bulutu oluşturma işlemi başlatılmıştır. Model oluşturulurken kaynak veri olarak “yoğun nokta bulutu”, yüzey tipi olarak da “yükseklik alanı” seçilmiştir.



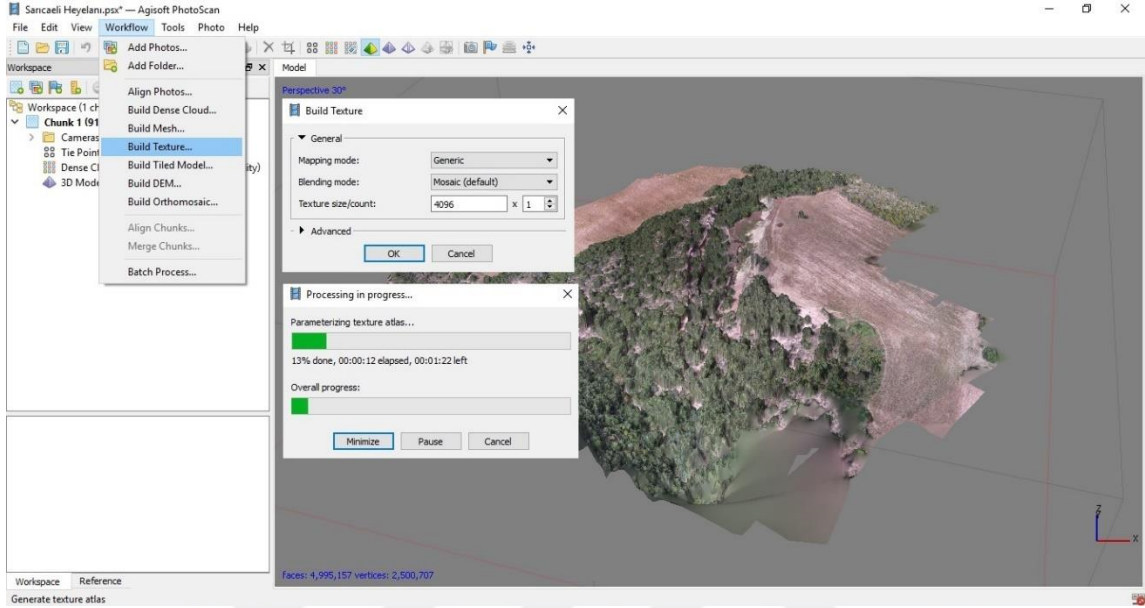
Şekil 3.17. 3B poligonal model oluşturulması



Şekil 3.18. 3B poligonal model

3.3.6. Doku (Texture) Haritalama

“Workflow” menüsü altında yer alan “Build Texture” komutu ile bir önceki adımda elde edilen modele, orijinal görüntülere ait gerçek renkler giydirilmiştir.



Şekil 3.19. Doku (texture) haritalama

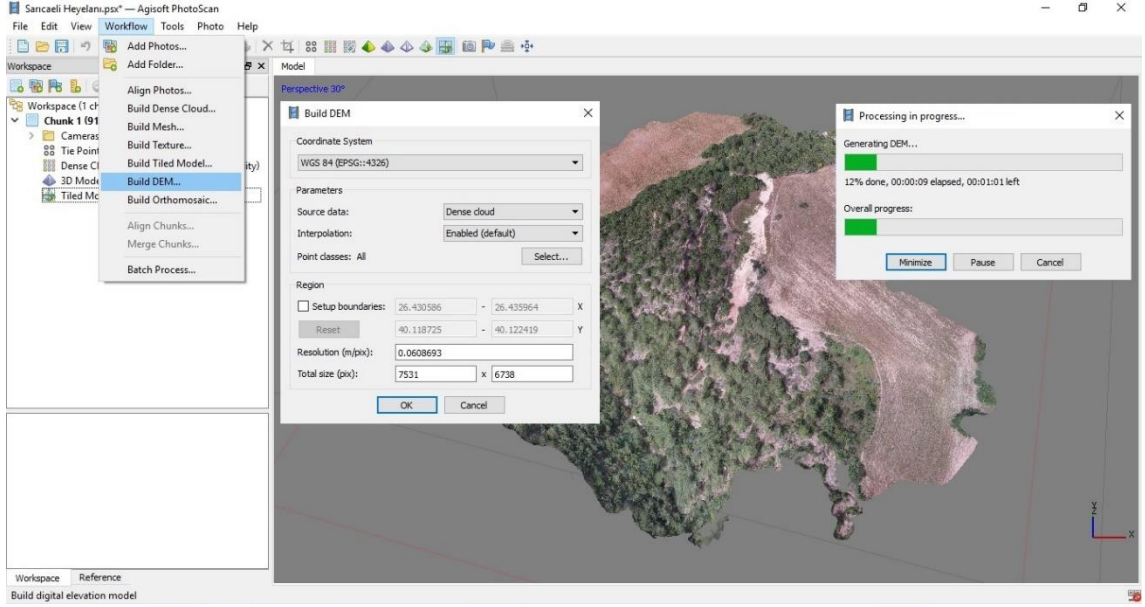
3.3.7. Sayısal Yüzey Modeli

SYM, dünya yüzeyinin sayısal olarak gösterildiği, yüzeye ait konum bilgileri ile beraber bitki örtüsü gibi doğal objelerin, bina gibi insan yapımı objeler ile çıplak yeryüzü üzerinde yükselen diğer objelerin tümünün yer aldığı modellerdir.

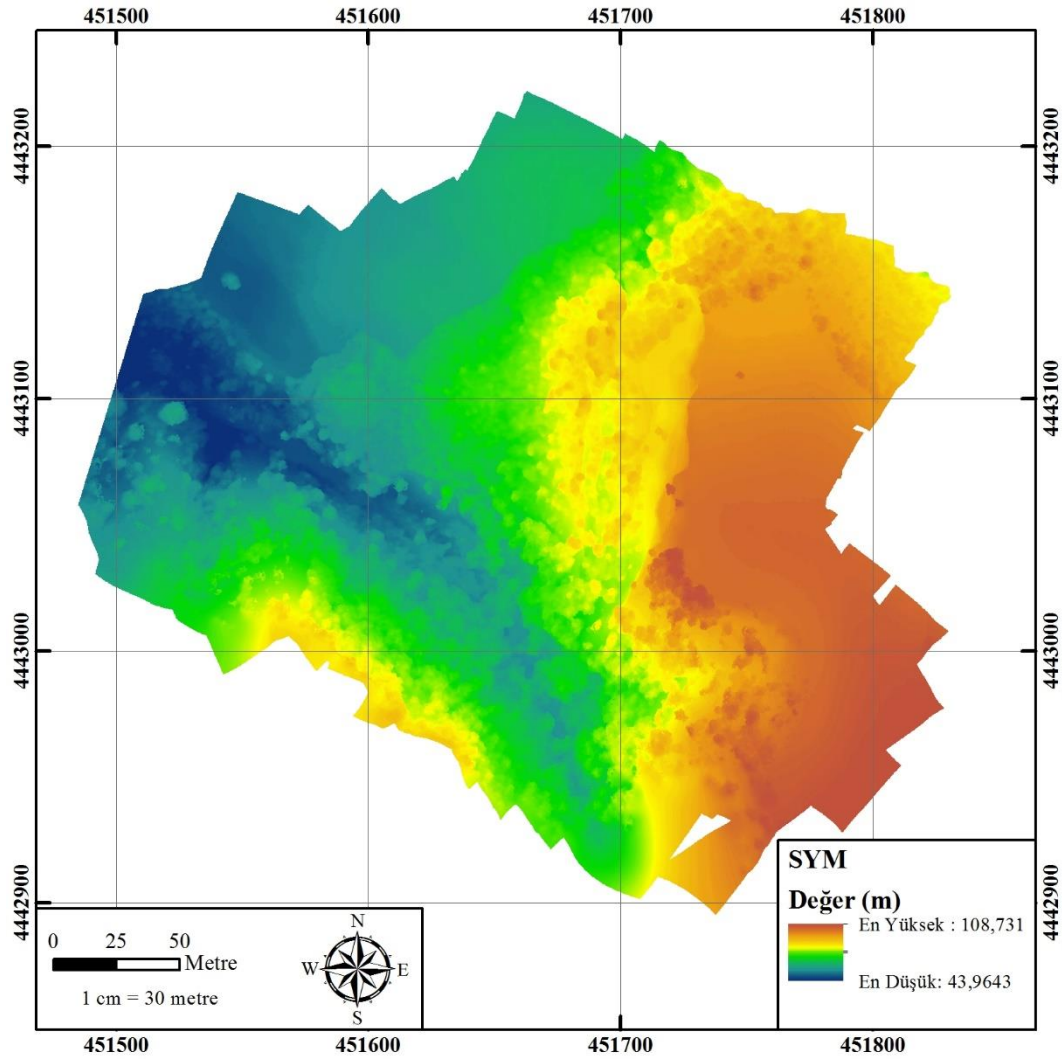
Ayrıca yüzey sürekliliğini bozan fay kırığı, yamaç, çukur, zirve, ani yükseklik değişimlerini de içerir (URL-17).

Kırsal ve kentsel alanlardaki üretilen SYM, telekomünikasyon antenlerinin konumunun optimizasyonu için karşılıklı görünürlük hesaplamaları, risk haritalaması, ortofoto üretimi, görev planlama ve provaları, sanal ve artırılmış gerçeklik uygulamaları ve şehir planlaması gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır (Zhang, 2015).

SYM, PhotoScan yazılımı ile seyrek nokta bulutu, ağ (3B poligonal model) ve yoğun nokta bulutundan üretilebilir. Fakat en doğru sonucu yoğun nokta bulutundan üretilen veri vermektedir (PhotoScan UM, 2018). “Workflow” menüsü altında yer alan “Build DEM” komutu ile 6,08 cm/piksel çözünürlüğe sahip SYM, GRID formatta üretilmiştir. Yazılım bu değeri kendi vermektedir. Yüzey verisi olarak yoğun nokta bulutu kullanılmış ve SYM, World Geodetic System 1984 (WGS84) datumunda üretilmiştir.



Şekil 3.20. Sayısal yüzey modeli üretimi



Şekil 3.21. Sayısal yüzey modeli (30 Mayıs 2016)

3.3.8. Sayısal Arazi Modeli

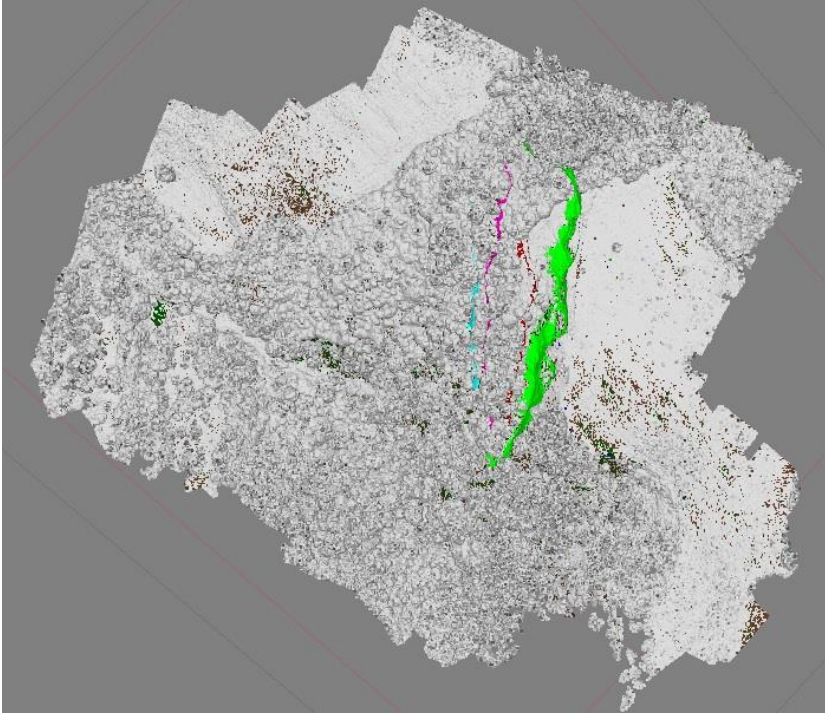
SAM, sayısal formatta tutulan X, Y, Z koordinatlarından oluşan arazi yüzeyinin üç boyutlu temsili olarak tanımlanabilir. Sadece yükseklikleri değil, diğer coğrafi öğeleri ve nehirler, sırt çizgileri gibi doğal detayları da içerir (URL-18).

SAM, dünya yüzeyindeki topoğrafik varyasyonların son derece ayrıntılı gösterimini sağlayan bir modeldir. Haritalar veya ortofotolar gibi diğer dijital verilerle birleştirildiğinde, arazi yüzeyinin 3 boyutlu görüntüsünü sağlayabilir (URL-19).

SAM, SYM'de yer alan bitki örtüsü ve binaların yanı sıra insan yapımı diğer detayların da bulunmadığı çıplak yer yüzeyinin, yer topografyası ve arazinin sayısal olarak gösterimidir. Çıplak yeryüzü (bare - earth) modeli olarak da adlandırılmaktadır.

SAM, su akışını, çığ ve toprak kayması gibi diğer hareketleri veya arazi kullanımı çalışmaları, ulaşım sistemi planlaması ve jeolojik uygulamaları modellemek için kullanılabilir. SAM'lar ayrıca coğrafi bilgi sistemlerine de dâhil edilmişlerdir (URL-20).

Bir önceki adımda üretilen SYM heyelan alanı ve civarının mevcut durumunu gösterecek ve bu alan üzerinde yer alan bitki örtüsü de bu veri üzerinde temsil edilecektir. Bu model kullanılarak üretilen eğim, bakı, heyelan akış doğrultusu gibi veriler alan ile ilgili doğru bilgiler sunmayacağından zemine ait noktaların sınıflandırılması ile SAM üretilmiş ve analizler bu model kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

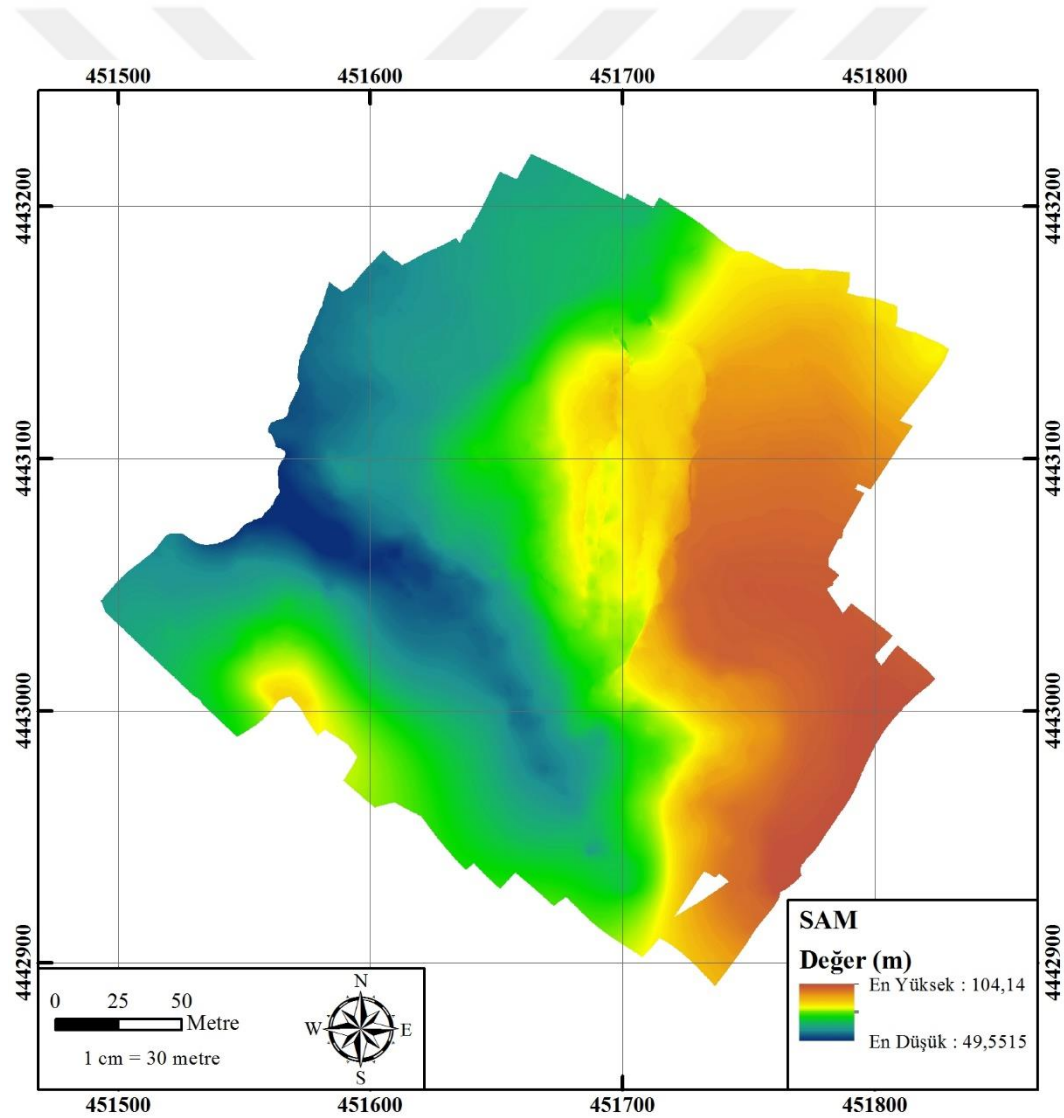


Şekil 3.22. Zemin noktalarının sınıflandırılması

Analizlerde kullanılacak SAM'ı oluşturmak için öncelikle yoğun nokta bulutunun sınıflandırılarak zemin noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için yoğun nokta bulutu otomatik sınıflandırılarak zemin noktaları belirlenmiştir. Bunun sonucunda arazi üzerinde yer alan bitki örtüsüne ait noktalar uzaklaştırılmıştır.

Sınıflandırmanın otomatik olarak yapılamadığı durumlar da ortaya çıkmıştır. Bu gibi durumlarda bu işlem manuel olarak yapılmış ve zemine ait olan renkler kullanılarak yoğun nokta bulutundaki zemin noktaları sınıflandırılmıştır.

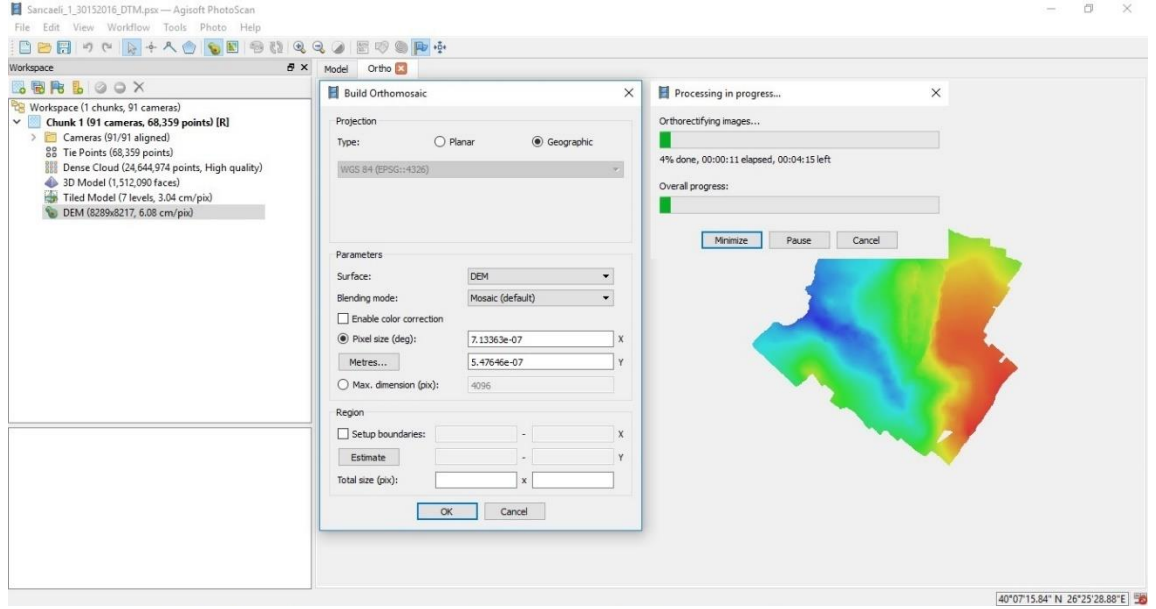
Sınıflandırılma işlemi tamamlandıktan sonra SYM üretimine benzer şekilde yüzey verisi olarak, sınıflandırılmış yoğun nokta bulutu kullanılmış ve SAM, WGS84 datumunda üretilmiştir. Sonuç olarak GRID formatta sayısal arazi modeli üretilmiştir. Oluşturulan sayısal arazi modelinin çözünürlüğü 6,08 cm/piksel'dir.



Şekil 3.23. Sayısal arazi modeli (30 Mayıs 2016)

3.3.9. Ortomozaik

SAM üretiminin ardından, çekilen hava fotoğrafları temel alınarak yüksek çözünürlüklü ortomozaik oluşturulmuştur. Heyelanın detaylı görünümü istendiğinde, çekilen hava fotoğraflarının birleştirilmesinden oluşan bu veri oldukça kullanışlı olmaktadır. “Workflow” menüsü altında yer alan “Build Orthomosaic” komutu ile üretilen ortomozağin çözünürlüğü 6,08 cm/piksel’dir. Yüzey verisi olarak SYM kullanılmış ve ortomozaik WGS84 datumunda üretilmiştir.



Şekil 3.24. Ortomozaik üretimi



Şekil 3.25. Ortomozaik (30 Mayıs 2016)

3.3.10. Projeksiyon Dönüşümü

Üretilen SYM, SAM ve ortomozaiklerin projeksiyonu coğrafi, datumu ise WGS84'tür. Yer kontrol noktaları kullanılarak datum dönüşümü yapılmış ve Universal Transvers Merkator (UTM) 3° projeksiyonu, International Terrestrial Reference Frame 1996 (ITRF96) datumuna dönüşüm sağlanmıştır.



BÖLÜM 4

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Analiz

Üretilen SAM ve ortomozaikler bir CBS yazılımı olan ArcGIS Desktop 10.5 paketi içerisinde yer alan ArcMap yazılımı kullanılarak açılmıştır. Analizlere başlamadan önce SAM’lar üzerindeki yapay boşluklar “boşluk doldurma (fill sink)” fonksiyonu ile giderilmiştir. Daha sonra SAM’ların çözünürlüğü yeniden örneklenmiştir. Boşluk doldurma fonksiyonu uygulanan ve yeniden örneklenen GRID formattaki SAM kullanılarak global hücre ilişkileri incelenmiş, heyelanın kayma yönü ve birikim alanı belirlenmiştir. Ayrıca SAM türevleri olan heyelan alanı ve çevresine ait yamaç eğimi ve yamaç yönelimi verileri de GRID formatta üretilmiştir. Farklı epoklarda toplanan ve üretilen veriye dayanarak oluşturulan SAM ve ortomozaikler arasında karşılaştırma yapabilmek için, SAM ile aynı genişlik ve aynı hücre boyutunda grid ağı oluşturulmuştur. Veri analiz aşaması tüm epoklar için aynıdır. Bu yüzden bu bölümde yalnızca 30 Mayıs 2016 tarihinde elde edilen hava fotoğrafları temel alınarak üretilen veriler üzerinde yapılan analizler anlatılacaktır.

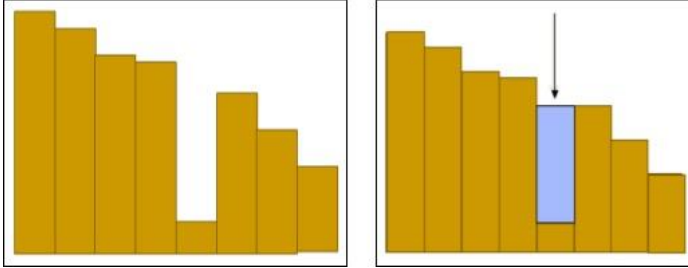
4.1.1. Boşluk Doldurma

GRID formattaki SAM üzerinde yer alan boşluk hatalarının giderilmesi amacıyla veri üzerinde “boşluk doldurma (fill sinks)” fonksiyonu uygulanmıştır. Bir hücre, Şekil 4.1’de de gösterildiği gibi etrafındaki diğer 8 hücreden daha az yükseklik değerine sahip olursa yüzey akışı sağlanamayacaktır. Bu nedenle yükseklik değerlerinin yeniden düzenlenerek bu boşlukların doldurulması gerekmektedir.

44	36	25	44	36	25
50	6	23	50	23	23
53	41	36	53	41	36

Şekil 4.1. Boşluk doldurma (URL-21)

Arcmap yazılımı ile açılan SAM üzerindeki bu kusurlar, birçok veri yönetimi, dönüşümü, analizini içeren geoprocessing fonksiyonunun yer aldığı Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Spatial Analyst Tools > Hydrology > **Fill** fonksiyonu ile giderilmiştir.

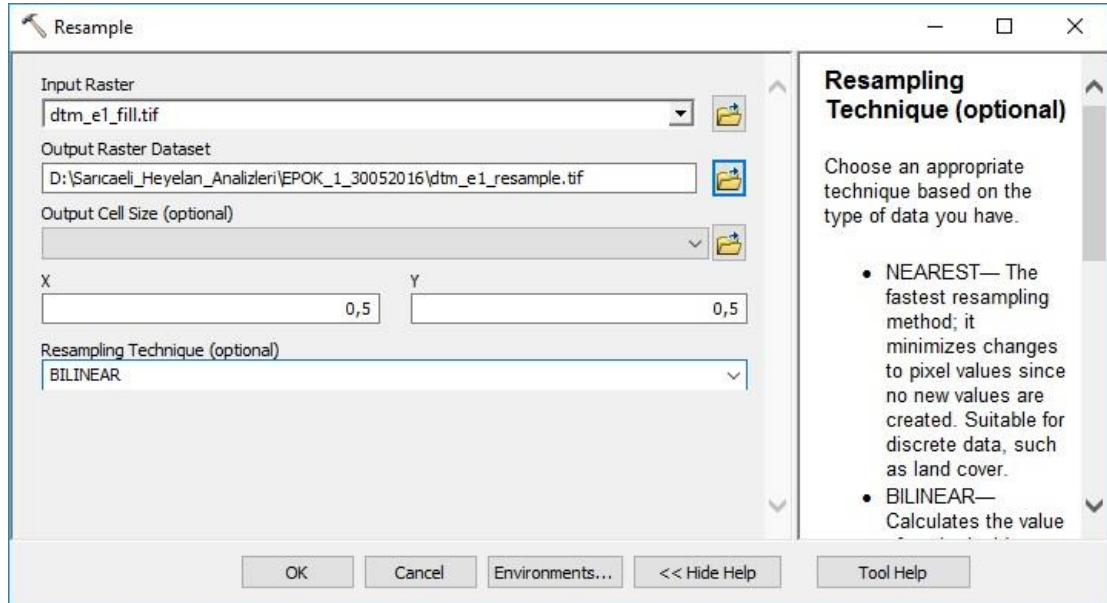


Şekil 4.2. Boşluk doldurma (Güreşçi, 2012)

4.1.2. Yeniden Örnekleme

Analizlere başlamadan önce yaklaşık 6 cm olan SAM'ın çözünürlüğü yeniden örnekleme (resample) ile 50 cm olacak şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu düzeltme yapılmadan yapılan analizlerin sağlıklı sonuç vermediği görülmüştür.

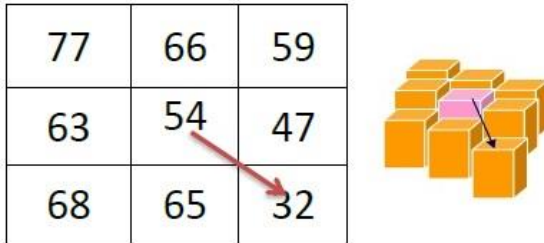
Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Data Management Tools > Raster > Raster Processing > **Resample** fonksiyonu ile yeniden örneklenmiştir.



Şekil 4.3. Yeniden örnekleme

4.1.3. Akış Doğrultusu Belirleme

Boşluk düzeltmesi yapılan SAM verisine “akış doğrultusu (flow direction)” fonksiyonu uygulanarak heyelanın akış doğrultusu belirlenmiştir. Bu fonksiyonda hücrenin yükseklik değeri, etrafındaki sekiz hücre ile karşılaştırılır. Akış kendi yükseklik değerinden daha düşük yüksekliğe sahip hücreye doğru olacaktır.



Şekil 4.4. Akış doğrultusu (Güreşçi, 2012)

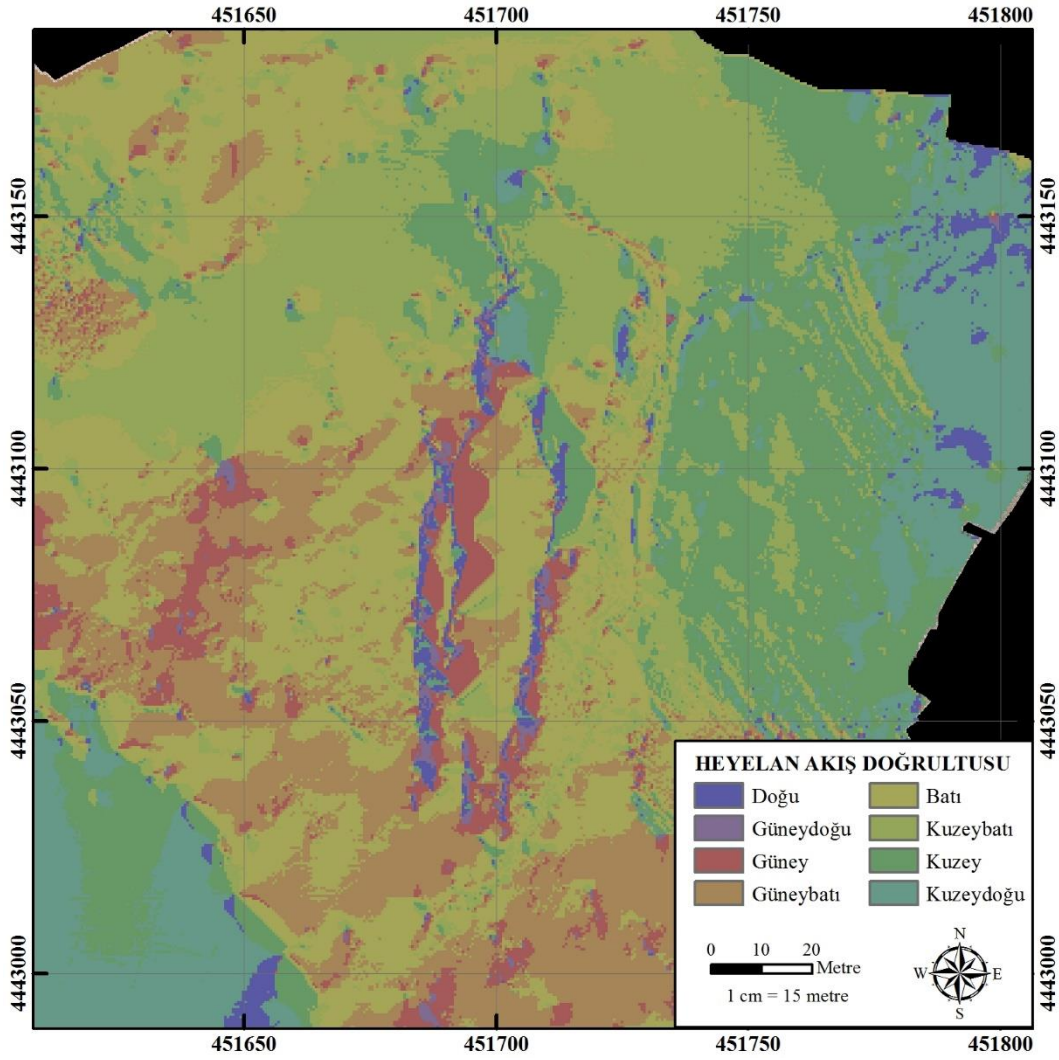
Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Spatial Analyst Tools > Hydrology > **Flow Direction** fonksiyonu ile akış doğrultusu verisi üretilmiştir.

Akış doğrultusu sayısal ortamda “8 yönlü akım modeli” ile ifade edilmektedir. Akış yönlerinin gösterimi Şekil 4.5’te gösterilen rakamsal değerlerle yapılmaktadır (Güreşçi, 2012).

32	64	128
16	↗↘	1
8	4	2

KB	Kuzey	KD
Batı		Doğu
GB	Güney	GD

Şekil 4.5. Akış yönleri (Güreşçi, 2012)

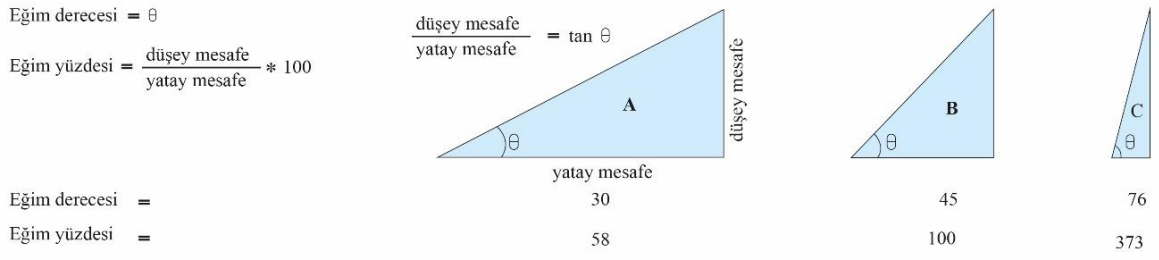


Şekil 4.6. Heyelan akış doğrultusu (30 Mayıs 2016)

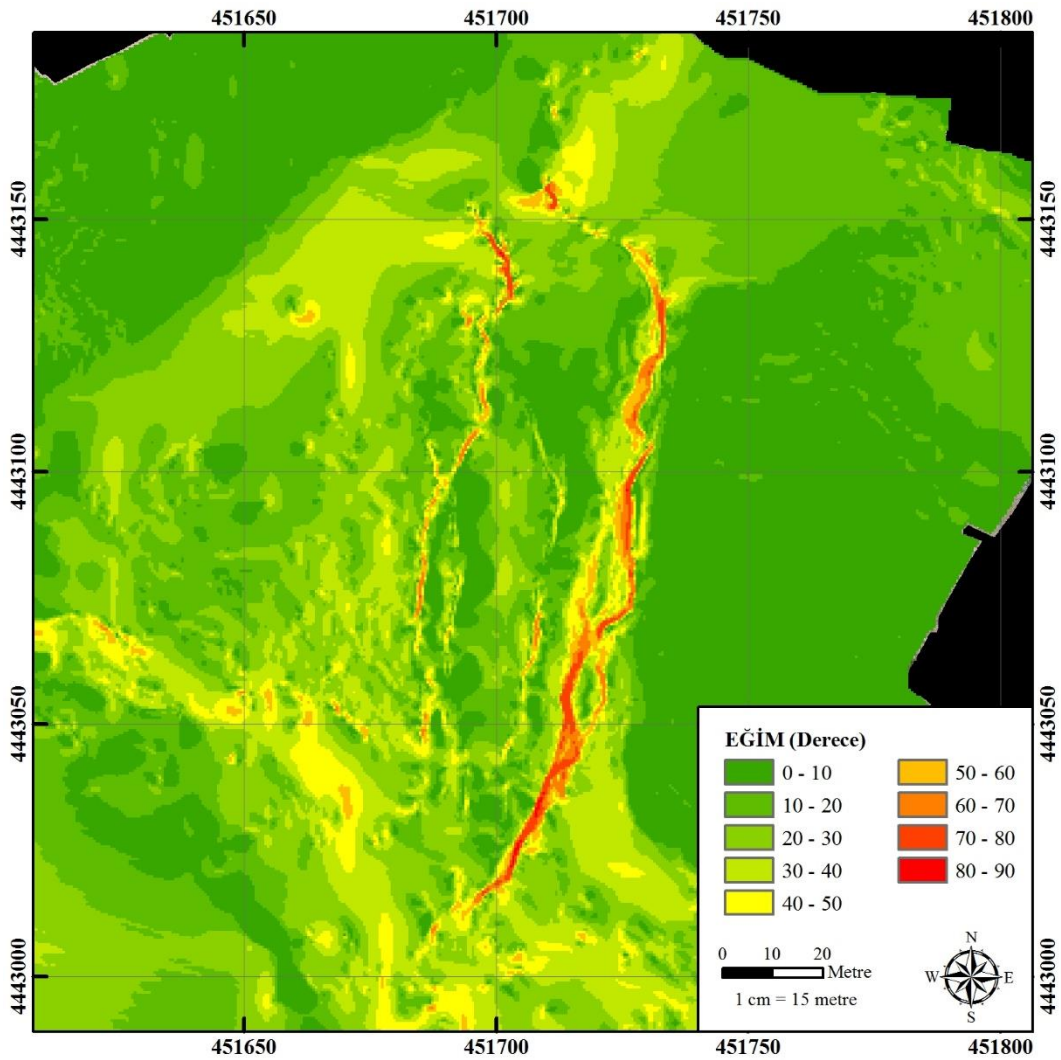
4.1.4. Yamaç Eğimi

Eğim, her hücreden maksimum z-değerindeki değişim oranıdır. Eğim, yüzde eğim veya derece eğim olarak ifade edilebilir (Chang, 2007). Yüzde cinsinden eğim, düşey mesafenin yatay mesafeye oranının yüzdesel ifadesidir. Derece cinsinden eğim ise, düşey mesafenin yatay mesafeye oranının tanjantıdır (Küpçü, 2015).

SAM türevi olan eğim verisi (slope), Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Spatial Analyst Tools > Surface > **Slope** fonksiyonu ile GRID formatta ve derece cinsinden üretilmiştir. Girdi veri olarak SAM kullanılmıştır. Üretilen verinin piksel boyutu, kolon ve satır sayısı SAM verisi ile aynıdır. Heyelan alanı ve çevresine ait GRID formatta üretilen yamaç eğimi verisinin çözünürlüğü de SAM verisi gibi 50 cm'dir.



Şekil 4.7. Yüzde ve derece cinsinden yamaç eğimi (URL-22)

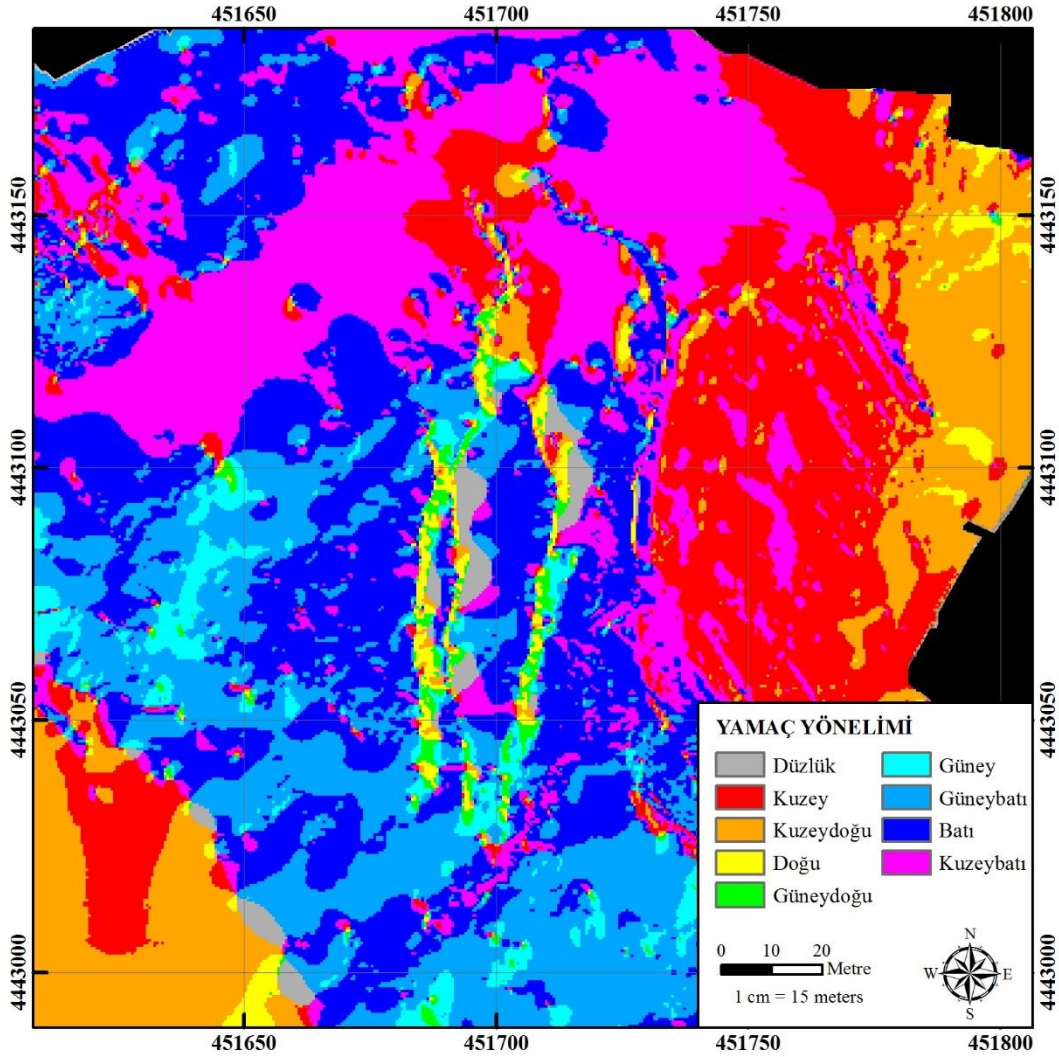


Şekil 4.8. Eğim haritası (30 Mayıs 2016)

4.1.5. Yamaç Yönelimi (Bakı)

Bakı, eğimin yön ölçüdür. Bakı, kuzeyde 0 derece ile başlar, saat yönünde hareket eder ve yine kuzeyde 360 derece ile biter (Chang, 2007). 90 derece doğuya, 180 derece güneye, 270 derece batıya karşılık gelir. Düz alanlar ise -1 değeri ile ifade edilir (Küpçü, 2015).

SAM türevi olan bakı (aspect), Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Spatial Analyst Tools > Surface > **Aspect** fonksiyonu ile GRID formatta üretilmiştir. Girdi veri olarak SAM kullanılmıştır. Üretilen verinin piksel boyutu, kolon ve satır sayısı SAM verisi ile aynıdır. Heyelan alanı ve çevresine ait GRID formatta üretilen yamaç yönelimi verisinin çözünürlüğü de SAM verisi gibi 50 cm'dir.



Şekil 4.9. Bakı haritası (30 Mayıs 2016)

4.1.6. Grid Ağı

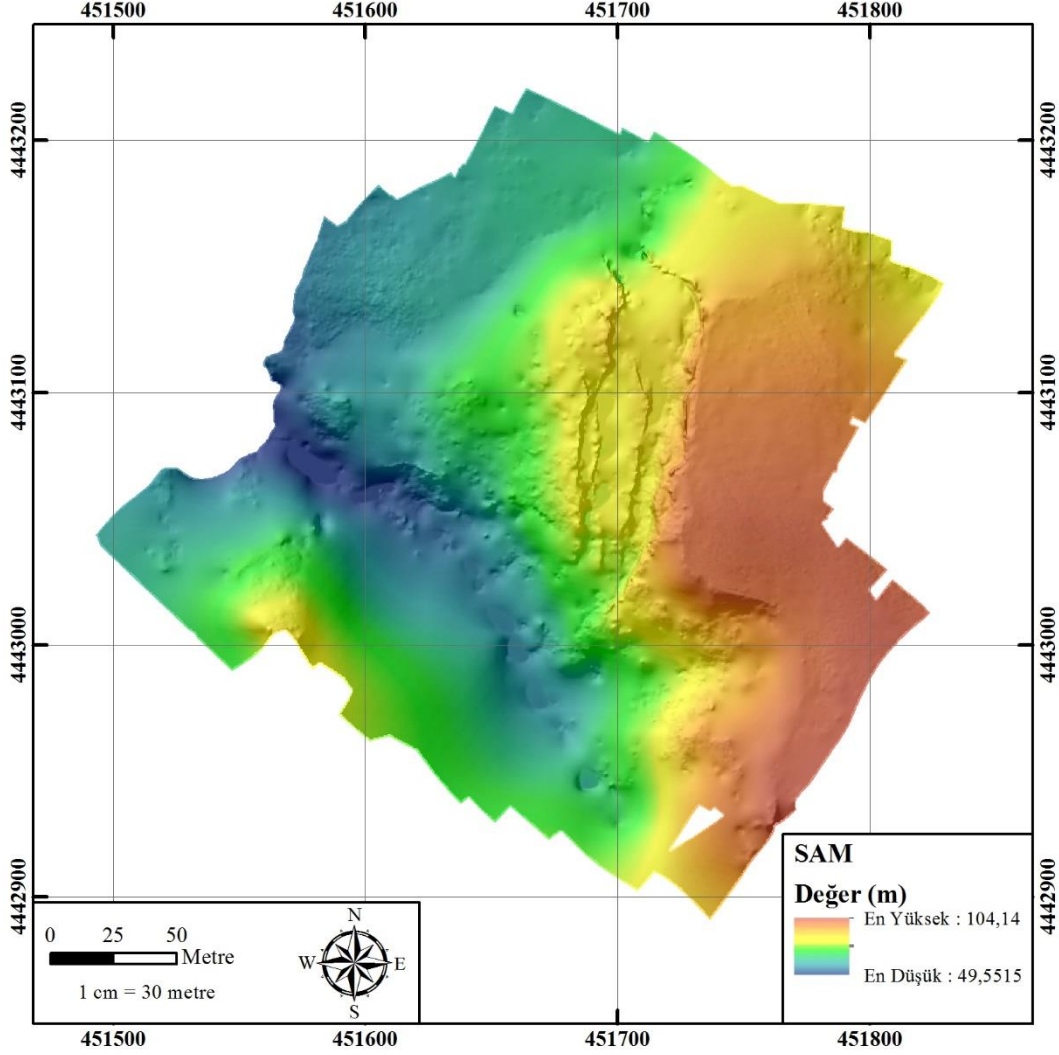
Heyelanın gelişimi, heyelan üzerindeki doğal objelerin durumları ve yer değiştirmelerin takip edilebileceği grid ağı (fishnet) SAM ile aynı genişlik ve hücre boyutunda Arctoolbox araç kutusu içerisinde yer alan Data Management Tools > Sampling > **Create Fishnet** fonksiyonu ile üretilmiştir. 50 cm genişlikte hücrelerden oluşan bu ağ üzerinden farklı epoklarda elde edilen verilere dayalı üretilen SAM ve ortomozaikler arasında karşılaştırma yapılabilecektir.



Şekil 4.10. Grid ağı (30 Mayıs 2016)

4.1.7. Kabartma

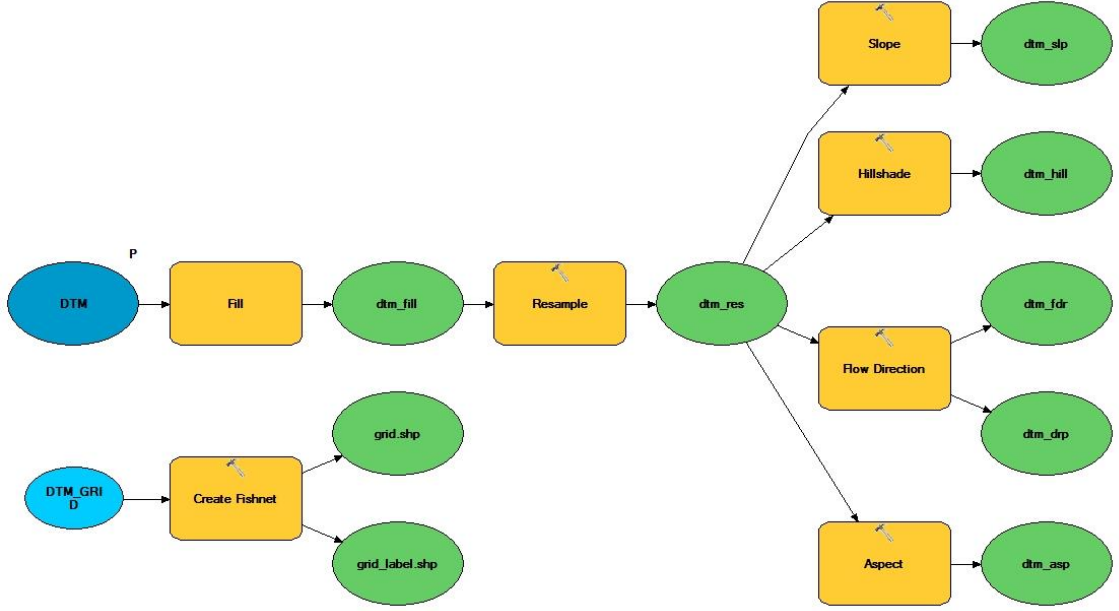
Kabartma (hillshade), güneş ışınlarının arazi üzerindeki etkisini simüle etmek için harita üzerine çizilen gölgelerdir. Bir yüzeyin güneşe göre belirli bir azimut ve irtifa için varsayımsal olarak aydınlatılmasıdır (Wade, 2006). Heyelan alanı ve civarına ait kabartma verisi Spatial Analyst Tools > Surface > **Hillshade** fonksiyonu ile GRID formatta üretilmiştir.



Şekil 4.11. SAM'ın kabartma harita ile gösterimi (30 Mayıs 2016)

4.1.8. Analiz Modeli

Gerçekleştirilen işlem adımlarının tüm epoklar için aynı olması nedeniyle ArcMap yazılımı içerisinde yer alan “Model Builder” fonksiyonu kullanılarak bu bölümde anlatılan tüm işlemlerin otomatik olarak gerçekleştirilebileceği bir analiz modeli oluşturulmuştur. Bu modelde girdi veri olarak SAM verisinin seçilip modelin çalıştırılması yeterlidir. Model Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Analiz modeli

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmanın amacı, hızlı ve ekonomik bir yöntem olan İHA yardımıyla, fotogrametrik yöntemler kullanılarak yapılan heyelan analizleri ile meydana gelmiş heyelanların gelişiminin takip edilmesidir.

Üretilen grid ağı temel alınarak heyelan üzerindeki değişimlerin (doğal objeler vb.) takip edilip incelenebileceği çerçeveler Şekil 5.1 ve Şekil 5.2’de gösterildiği gibi oluşturulmuştur. Şekil 5.1’de heyelanın üst sınırından kopmaların arttığı, Şekil 5.2’de ise 1. epokta elde edilen ortomozaikte çerçeve içerisinde yer alan çalılardan bir tanesinin heyelanın ilerlemesi sonucunda 3. epokta elde edilen ortomozaikte yer almadığı görülmüştür.



Şekil 5.1. Heyelan gelişimi (sol – epok 1, orta – epok 2 – sağ epok 3)



Şekil 5.2. Heyelan gelişimi (sol – epok 1, orta – epok 2 – sağ epok 3)

Çanakkale Meteoroloji Müdürlüğü'nden elde edilen meteorolojik veriler, Mayıs 2016 – Ocak 2017 arasındaki yağış miktarını göstermektedir (Çizelge 5.1). Yağış miktarının Kasım 2016 – Ocak 2017 arasındaki dönemde özellikle yüksek olduğu bu çizelgede görülmektedir.

Çizelge 5.1. Aylık yağış miktarı (kg/m²)

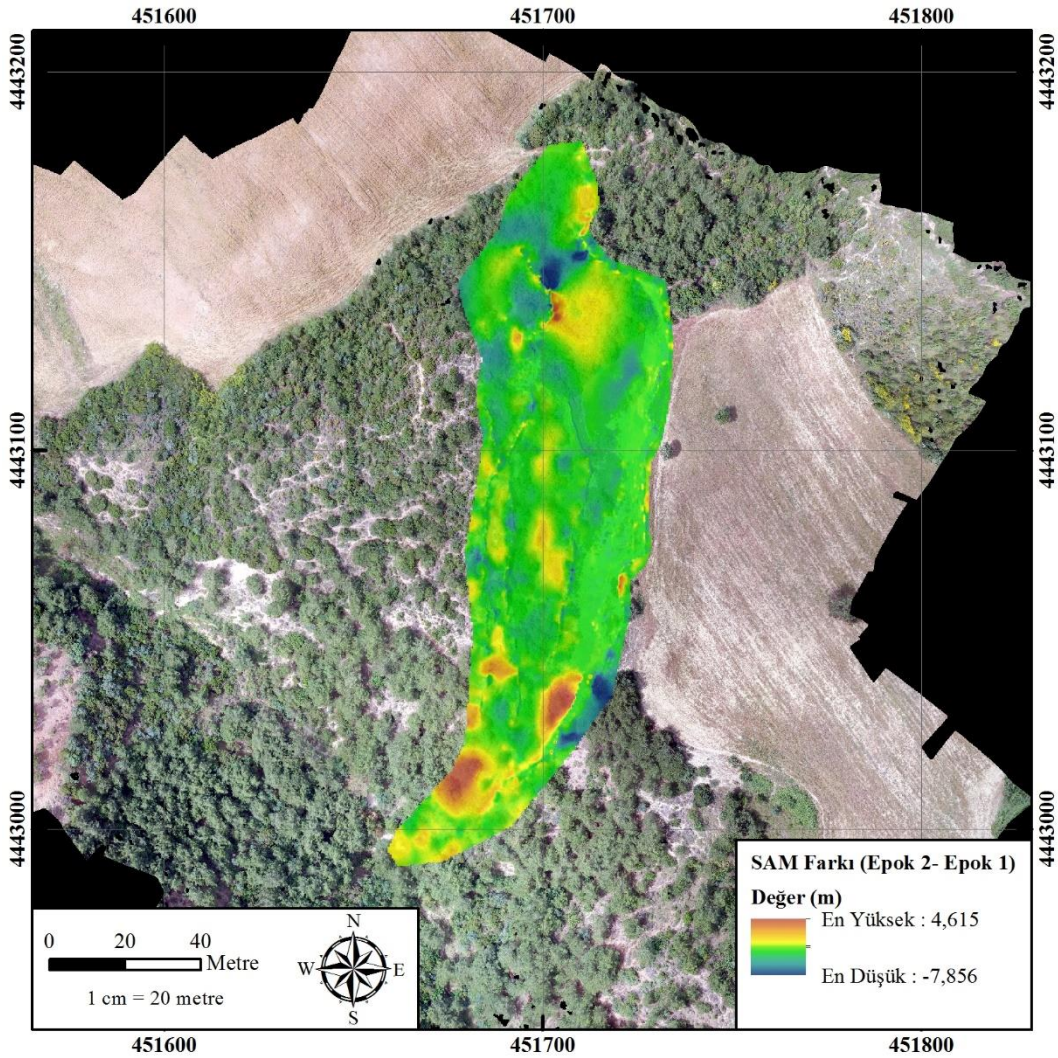
AY	YAĞIŞ MİKTARI 2016 (kg/m ²)	YAĞIŞ MİKTARI 2017 (kg/m ²)
Ocak	110,2	174,3
Şubat	88,4	56,8
Mart	53,6	22,1
Nisan	15,0	14,9
Mayıs	26,8	20,9
Haziran	39,9	36,8
Temmuz	-	17,2
Ağustos	-	-
Eylül	1,8	-
Ekim	8,6	-
Kasım	209,0	-
Aralık	28,6	-

Heyelanın alanındaki toprak miktarındaki hacimsel değişimler Çizelge 5.2’de verilmiştir.

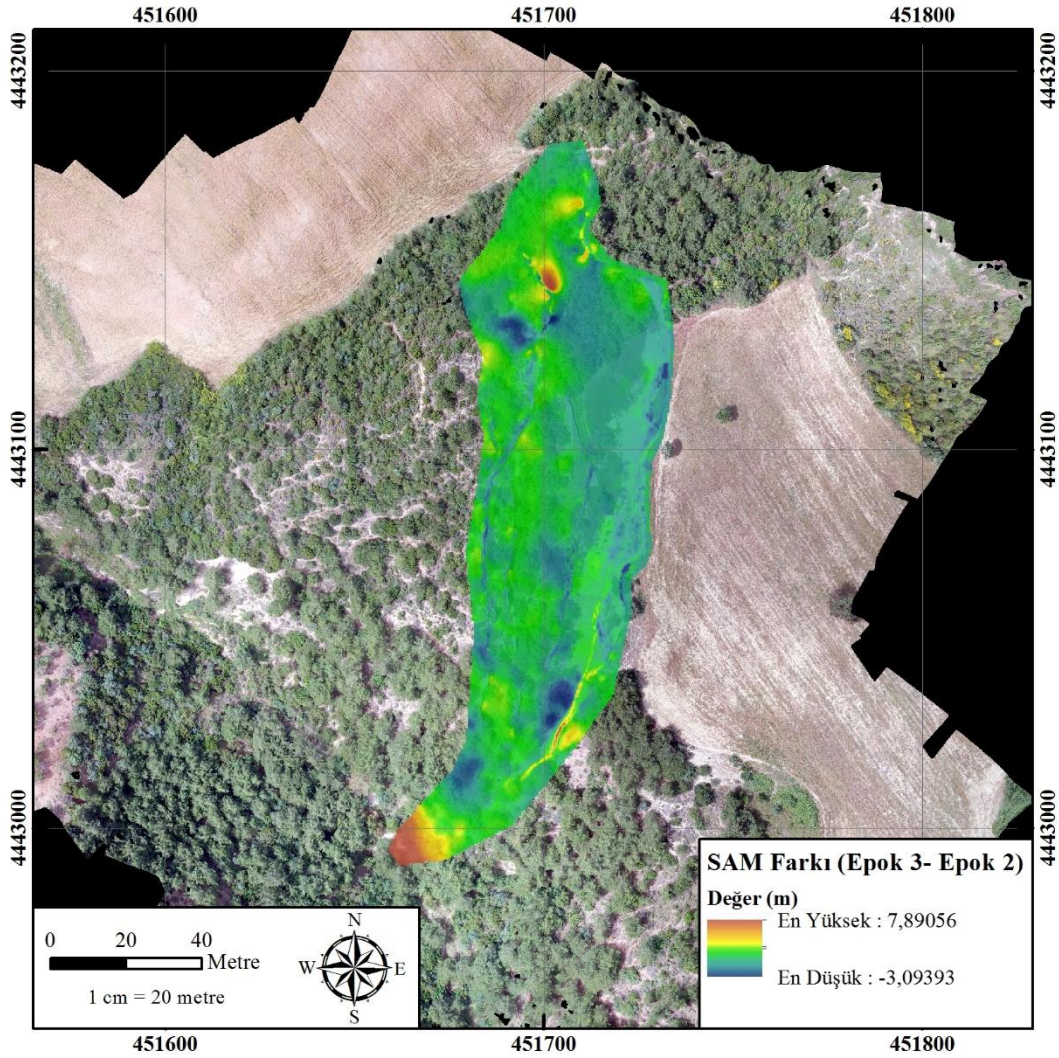
Çizelge 5.2. Hacimsel değişim (kg/m²)

	HACİM (m ³)	FARK (EPOK 1-2)	FARK (EPOK 2-3)
EPOK 1	169918,843	2740,585 m ³	3904,147 m ³
EPOK 2	172659,428		
EPOK 3	176563,575		

Heyelan alanına ait 3 epokta elde edilen SAM’lar farkediririlarak ardışık epoklar arasındaki yükseklik değişimleri tespit edilmiştir. Heyelandaki ilerlemeye bağlı olarak yer değiştiren malzeme miktarı ile ilişkili değişimler gerçekteşmiştir (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).



Şekil 5.3. SAM farkı (epok 2 – epok 1)



Şekil 5.4. SAM farkı (epok 3 – epok 2)

İnceleme alanındaki zeminin sulu, alanda gözlenen konglomera-kumtaşı-çamurtaşı ardalılarından oluşan kayaçların yapısının, zemin ve yüzey suyunu geçiren ve geçirmeyen birimlerden oluşması, yüksek eğim faktörü ile birlikte, heyelan gelişimi için uygun bir ortam yaratmaktadır.

Yapılan analizler ve ortomozaiklerin detaylı analizi ile heyelan alanındaki yapısal ve çevresel faktörlere bağlı olarak, heyelanın sürekli olarak büyüdüğü tespit edilmiştir.

Heyelan gelişiminin insansız hava araçları gibi ekonomik ve hızlı yöntemler ile takip edilmesi özellikle afet yönetiminde fark yaratacağı düşünülmektedir. Tehlike yaratabilecek ya da ulaşımın olmadığı alanlarda yer alan heyelanların takip edilmesinde de bu yöntem oldukça etkili olmaktadır. Özellikle yerleşim yerleri içerisinde veya yakınlarında kalan heyelan alanlarının gözlem altında tutulması ve izlenmesi ile muhtemel can kaybı ve ekonomik kayıpların önüne geçilecektir. Gerekliğinde yerleşim alanı boşaltılarak bu

alanlardaki can kaybı riski engellenecektir. Bu yöntemin kullanımının tüm “İl Afet ve Acil Durum Müdürlüklerinde” yaygınlaşması gelecekte heyelan gibi afetlerin ne yönde ilerleyeceği konusunda öngörülerde bulunarak muhtemel hak sahibi afetzedelerin belirlenmesi, yeni yerleşim alanlarının, konut, kamu tesisi, alt yapı projeleri, sosyal tesis vb. yapıların inşa edileceği alanların seçilmesinde etkili olacaktır.

Bu çalışma ile elde edilecek veriler, coğrafi bilgi sistemleri ile hazırlanacak projelerde, haritalarda ve tehlike ve risk haritalarının hazırlanması projeleri kapsamında altlık veriler olarak kullanılabilir.



KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2015. Bütünleşik Tehlike Haritalarının Hazırlanması Heyelan-Kaya Düşmesi Temel Kılavuz
- Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2
- Aydın Ö., 2007. GPS Tekniği Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi
- Bakker W. H., 2009. Principle of Remote Sensing, The International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, Holland
- Chang K., 2007. Introduction to Geographic Information Systems, Mcgraw Higher Ed, 4. Edition, p. 1-6
- Cruden D.M., Varnes D.J., 1996. Landslide Types and Processes, Special Report , Transportation Research Board, National Academy of Sciences, 247:36-75
- Duran Z., 2003, Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemine Aktarılması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
- Egels Y., Kasser M., 2002. Digital Photogrammetry, Taylor and Francis, USA and Canada
- Eisenbeiss H., 2009. UAV Photogrammetry, ETH Zurich for the Degree of Doctor of Science
- Eker E., Aydın A., 2016. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleriyle Heyelan hakkında Topoğrafik Veri Alımı: Hollenstein (Aşağı Avusturya – YBBS Bölgesi) Heyelan Alanı Örneği, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), October 26-28, 2016, Adana, Turkey, Pages:5082-5088, Paper ID: 1484
- Erenoğlu R. C., Akçay O., Erenoğlu O., Uluocak E. Ş., Karaca Z., 2014. UAV Based Monitoring of Adatepe Landslide, Çanakkale, NW Turkey, FIG Congress 2014, Engaging the Challenges - Enhancing the Relevance, Kuala Lumpur, Malaysia 16 – 21 June 2014
- Farina P., Rossi G., Tanteri L., Salvatici T., Gigli G., Moretti S., Casagli N., 2017 The Use of Multi-copter Drones for Landslide Investigations, 3. North American Symposium on Landslide, June 4-8 2017, Raoneke, Virginia, USA

- Fernandez T., Perez J. L., Cardenal F. J., Lopez A., Gomez J.M., Colomo C., Delgado J., Sanchez M., 2015. Use Of A Light UAV And Photogrammetric Techniques To Study The Evolution Of A Landslide, Jaen (Southern Spain), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3/W3,2015, 241-248
- Gonzales F. C., Woods R. E., 2008. Digital Image Processing, Pearson Prentice Halls, ABD
- Guzzetti F., 2005. Landslide Hazard and Risk Assesment, Doctoral Thesis, Bonn, Germany
- Güreşçi N. G., Seyrek K., Sargın A. H., 2012. Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Hidroloji Uygulamaları. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknoloji Dairesi Başkanlığı
- Ilgar A., Demirci S. E., Duru M., Pehlivan Ş., Dönmez M., Akçay A.E., 2008, 1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları No:100, Jeoloji etütleri Dairesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara
- Kılınçoğlu D.B., 2016. Farklı İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Görüntülerin Otomatik Fotogrametrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi ve Doğruluk Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye
- Küpçü S., 2015. Coğrafi Bilgi sistemleri Uygulamaları, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir
- Lindner G., Schraml K., Mansberger R., Hübl J., 2015. UAV Monitoring and Documentation of a Large Landslide, Applied Geomatics, Springer
- Lyra A., Ploussi A., Georgantzoglou A., MATLAB as a Tool in Nuclear Medicine Image Processing, 2011, Publisher: InTech
- Lucieer A., De Jong S. M., Turner D. Mapping Landslide Displacements Using Structure from Motion (SfM) and Image Correlation of Multi-Temporal UAV Photogrammetry, Progress in Physical Geography 2014, Vol. 38 (1) Pages 97-116
- Niethammer U., James M. R., Rothmund S., Travelletti J., Joswig M., 2010. UAV-Based Remote Sensing of Landslides, International Archives of Photogrammetry, Remote

Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK

Niethammer U., James M. R., Rothmund S., Travelletti J., Joswig M., 2012. UAV-based Remote Sensing of the Super-Sauze Landslide: Evaluation and Results, Engineering Geology Volume 128, 9 March 2012, Pages 2-11

Peterman V., 2015. Landslide Activity Monitoring With the Help Of The Unmanned Aerial Vehicle, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-1/W4,2015, 215-218

Rau J. Y., Jhan J. P., Lo C. F., Lin Y. S., 2011. Landslide Mapping Using Imagery Acquired by a Fixed-Wing UAV, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-1/C22, 2011, ISPRS Zurich 2011 Workshop, 14-16 September 2011, Zurich, Switzerland

Richard Liew J.Y., Chen W.F., 2003. The Civil Engineering Handbook, Second Edition, CRC Press

Schenk T., 2005. Introduction to Photogrammetry, Autumn Quarter 2005

Toprak A.S., 2014. Fotogrametrik Tekniklerin İnsansız Hava Araçları İle Mühendislik Projelerinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Konya Selçuk Üniversitesi, Türkiye

Turner D., Lucieer A., and Steven M. J., 2015. Time Series Analysis of Landslide Dynamics Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Remote Sens. 2015, 7, 1736-1757; doi:10.3390/rs70201736

URL-1 <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/fs-2004-3072.html>

URL-2 <https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/Sections/Section1.pdf>

URL-3 <https://www.flyhd.fr/en/aerial-photogrammetry-drone.html>

URL-4 <http://gmvcast.uark.edu/photogrammetry/>

URL-5 <http://www.xyzdergi.com/2010/08/25/fotogrametri-nedir-2/>

URL-6 <https://www.theuav.com/>

URL-7 <http://portal.netcad.com.tr/pages/viewpage.action?pageId=106727005>

URL-8 <http://grindgis.com/remote-sensing/active-and-passive-remote-sensing>

URL-9 <https://gisgeography.com/100-earth-remote-sensing-applications-uses/>

URL-10 <http://www.nrcan.gc.ca/node/9363>

URL-11 <https://www.space.com/19794-navstar.html>

URL-12 <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

URL-13 <https://en.wikipedia.org/wiki/Landslide>

URL-14 <http://www.gnssteknik.com.tr/urunler/x91-gnss/>

URL-15 <https://www.dji.com/products/compare-inspire?site=brandsite&from=nav>

URL-16 <https://www.dji.com/products/compare-zenmuse?site=brandsite&from=nav>

URL-17 http://geomatik.beun.edu.tr/abdikan/files/2014/09/Uzaktan-Algilama_8.pdf

URL-18 <http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/>

URL-19 <https://www.slideshare.net/SumantDiwakar/digital-terrain-model-18791380>

URL-20 <https://www.pointtopointsurvey.com/service/digital-terrain-modeling/>

URL-21 www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2318-03312017000100244

URL-22 <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>

WP/WLI, (UNESCO Working Party for World Landslide Inventory), 1993. Multilingual Landslide Glossary

Wade T., Sommer S., 2006. A to Z GIS, ESRI Press, California, USA.

Xu G., 2007. GPS Theory, Algorithms and Applications, Second Edition, Springer, Germany

Yaşayan A., Uysal M., Varlık A., Avdan U., 2011. Fotogrametri, Anadolu Üniversitesi

Zhang L., 2015. Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images, Doctoral Thesis, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Zurich, Switzerland

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: İrfan ZİREK

Doğum Yeri: Beykoz / İSTANBUL

Doğum Tarihi: 17.11.1986

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Yıldız Teknik Üniversitesi / İnşaat Fakültesi / Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği (2004 – 2009)

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi / FBE / Coğrafi Bilgi Teknolojileri Anabilim Dalı (2016 - 2018)

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

UAV - Assisted Landslide Activity Monitoring: Applications and Open Issues, International Symposium On GIS Applications in Geography & Geosciences, ÇANAKKALE, TÜRKİYE, 18 – 21 Ekim 2017, Poster Bildiri.

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: İşlem Coğrafi Bilgi Sistemleri (ESRİ Türkiye) / 2009 - 2010

Çanakkale İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü / 2011 –

İLETİŞİM

E-posta Adresi: irfandrsm@gmail.com