



T.C.

**ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**RGB, MULTİSPEKTRAL ve TERMAL GÖRÜNTÜLERDEN
ARKEOLOJİK MİRASIN FOTOGRAFİK ANALİZİ: TROYA
MÜZESİ LAHİTLERİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERNA PAMUK

Tez Danışmanı

PROF. DR. ÖZGÜN AKÇAY

ÇANAKKALE – 2022



T.C.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

RGB, MULTİSPEKTRAL ve TERMAL GÖRÜNTÜLERDEN ARKEOLOJİK
MİRASIN FOTOGRAMETRİK ANALİZİ: TROYA MÜZESİ LAHİTLERİ ÖRNEĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BERNA PAMUK

Tez Danışmanı

PROF. DR. ÖZGÜN AKÇAY

Bu çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri

Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: FYL-2020-3462

ÇANAKKALE – 2022



T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



Berna PAMUK tarafından Prof. Dr. Özgün AKÇAY yönetiminde hazırlanan ve **26/08/2022** tarihinde aşağıdaki jüri karşısında sunulan “RGB, Multispektral ve Termal Görüntülerden Arkeolojik Mirasın Fotogrametrik Analizi: Troya Müzesi Lahitleri Örneği” başlıklı çalışma, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**’nda **YÜKSEK LİSANS** olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Prof. Dr. Özgün AKÇAY

(Danışman)

Prof. Dr. Ferruh YILMAZTÜRK

Dr. Öğr. Emin Özgür AVŞAR

.....

.....

.....

Tez No : 10496100

Tez Savunma Tarihi : 26/08/2022

.....
DOÇ. DR. YENER PAZARCIK
ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

.././20..

ETİK BEYAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kuralları'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi taahhüt ve beyan ederim.

Berna PAMUK

26/08/2022

TEŞEKKÜR

“Bu tezin gerçekleştirilmesinde, çalışmam boyunca benden bir an olsun yardımlarını esirgemeyen saygı değer danışman hocam Prof. Dr. zgün AKÇAY’a ve Araştırma Görevlisi Ahmet Batuhan POLAT’a, çalışma suresince tüm zorlukları benimle ggsleyen hayatımın her evresinde bana destek olan değerli aileme, canım kardeşim Beyza’ya, arkadaşlarıma, çalışmamızın gerçekleştirilmesine katkı sağlayan Çanakkale İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü ve Troya Müzesi personellerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.”

Berna PAMUK
anakkale, Ağustos 2022

ÖZET

RGB, MULTİSPEKTRAL ve TERMAL GÖRÜNTÜLERDEN ARKEOLOJİK MİRASIN FOTOGRAMETRİK ANALİZİ: TROYA MÜZESİ LAHİTLERİ ÖRNEĞİ

Berna PAMUK

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Özgün AKÇAY

26/08/2022, 53

Doğal ve beşeri etkilere maruz kalan tarihi yapı ve kültürel eserlerin yüzeylerinde gözlemlenen değişimler, eserlerin yüzeyindeki ayrıntıların görsel olarak doğru algılanmasını engellemektedir. Termal ve dijital kameraları birlikte kullanarak tarihi yapıları ve kültürel miras niteliği taşıyan yapıların fotogrametrik yöntemle belgelenmesi, termal kameralar ve dijital kameraların birlikte kullanımı ile tarihi eserlerdeki geometrik modellemenin yapılmasının yanı sıra, spektral analiz sonucunda yapılacak sınıflandırma sonuçları ile eserlerdeki üzerindeki detaylar incelenecektir. Termal görüntüleme sistemleri yüzeylerin termografik koşullarını değerlendiren, yüzey sıcaklıklarını hassas bir şekilde okuyarak görsel bir sonuç ürün sunan, yapıya zarar vermeyen, temas gerektirmeyen, tarihi ve kültürel mirasların yapısına zarar vermeyecek nitelikte ve aynı zamanda dijital kameralar ile entegre çalışabilen bir sistemdir. Yapılan çalışmada termal kamera ve sayısal kameralarla elde edilen görüntüler Agisoft programı ile modellenip Python yazılımıyla analizler yapılmıştır. Eserlerin, sürdürülebilirliği, korunması, gelecek nesillere sağlıklı bir şekilde ulaştırılması için sistemli ve planlı bir koruma yaklaşımının geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Termal kamera, Dijital kamera, Fotogrametri

ABSTRACT

**PHOTOGRAMMETRIC ANALYSIS OF ARCHAEOLOGICAL
HERITAGE FROM RGB, MULTISPECTRAL AND THERMAL
IMAGES: THE SAMPLE OF TROYA MUSEUM SARCOAS**

Berna PAMUK
Çanakkale Onsekiz Mart University
School of Graduate Studies
Department of Topographical Engineering Master's Thesis

Supervisor: Professor Doctor Özgün AKÇAY

26/08/2022, 53

Changes observed on the surfaces of historical buildings and cultural artifacts exposed to natural and human influences prevent the correct perception of the details on the surface of the artifacts. By using thermal and digital cameras together, documenting historical buildings and cultural heritage buildings with photogrammetric method, using thermal cameras and digital cameras together, making geometric modeling of historical artifacts, as well as the classification results to be made as a result of spectral analysis and the details on the artifacts will be examined. Thermal imaging systems are a system that evaluates the thermographic conditions of the surfaces, provides a visual result by reading the surface temperatures precisely, does not harm the structure, does not require contact, does not harm the structure of historical and cultural heritage, and can also work integrated with digital cameras. In the study, the images obtained with thermal camera and digital cameras were modeled with Agisoft program and analyzed with Python software. It is aimed to develop a systematic and planned conservation approach in order to ensure the sustainability, protection and delivery of artifacts to future generations in a healthy way.

Keywords: Thermal camera, Digital camera, Photogrammetry

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI.....	iii
ETİK BEYAN	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii

BİRİNCİ BÖLÜM BÖLÜM GİRİŞİ

1.1. Literatür Özeti.....	3
1.2. Tezin Amacı.....	4
1.3. Hipotez.....	5
1.4. Özgün Değer.....	5

İKİNCİ BÖLÜM KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tezin Konusu ve Önceki Çalışmalar	7
--	---

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yersel Fotogrametri	11
3.1.1. Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları	12
3.1.2 Yersel Fotogrametrinin Mimarlıkta Kullanımı	13
3.2. Yersel Fotogrametrinin Sınıflandırılması	13
3.3. Yersel Fotogrametride Kullanılan Kameralar.....	14
3.3.1. Sayısal Kameralar, Termal Görüntüleme Sistemleri ve Kullanım Alanları	14
3.3.2. Üstünlükleri.....	17
3.4. Yersel Fotogrametride Alım Yöntemleri	17
3.5 Yersel Fotogrametride Değerlendirme Yöntemleri	19
3.5.1 Sayısal Tek Fotoğraf Değerlendirmesi.....	20
3.5.2 Stereo Değerlendirme.....	20
3.5.3 Sayısal Ortofoto	21

3.5.4 Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla Değerlendirme	21
3.6 Yersel Fotogrametride İş Adımları	22
3.7 Kamera Kalibrasyonu	22
3.7.1 Kameraların Optik Temelleri	23
3.7.2. Distorsiyon Hatası	24
3.7.3. Işın Desteleri ile Dengeleme	25
3.7.4. Yönelmeler	27
3.7.5 İç Yönelme	27
3.7.6. Dış Yönelme	28
3.8. Çanakkale Şehri ve Troya Müzesi	28
3.8.1. Çanakkale İlinin Antik Tarihi	30
3.8.2. Troya Müzesi	30
3.8.3 Lahitler ve Çalışmada Kullanılan Lahitler	32
3.8.4. Lahit Tipleri	32

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Kameralar	34
4.2. Görüntü Üretiminde Kullanılan Yazılım ve Programlar	38
4.3. Python ile Görüntü Elde Etmede İş Akışı	43

BEŞİNCİ BÖLÜM SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Yapılan Çalışmanın Değerlendirilmesi ve Geleceğe Olan Katkısı	50
EKLER	II
EK 1. 11312 NOLU LAHİTİN C1 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	III
EK 2. 11312 NOLU LAHİTİN C2 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	VII
EK 3. 11312 NOLU LAHİTİN C3 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	IXX
EK 4. 11312 NOLU LAHİTİN C4 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIII
EK 5. 11313 NOLU LAHİTİN C2 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XVII
EK 6. 11313 NOLU LAHİTİN C3 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIII
EK 7. 11313 NOLU LAHİTİN C4 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIIXII
EK 8. 11315 NOLU LAHİTİN C1 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIIXVI
EK 9. 11315 NOLU LAHİTİN C2 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIIXIX

EK 10. 11315 NOLU LAHİTİN C3 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIIXXII
EK 11. 11315 NOLU LAHİTİN C4 CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ	XIIXXV
XVI ÖZGEÇMİŞ	XXXVIII



SİMGELER VE KISALTMALAR

ICOMOS	International Council of Monuments and Sides
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CAD	Computer Aided Design
SLR	Sabit Odak Uzaklıklı
%	Yüzde oranı
İ.Ö.	İsa'dan Önce
TDK	Türk Dil Kurumu
RGB	Red Green Blue

TABLULAR DİZİNİ

Tablo No	Tablo Adı	Sayfa No
Tablo 1	Farklı spektral sensörlere sahip kamera özellikleri	40



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Şekil Adı	Sayfa No
Şekil 1	Sayısal kamera ve termal kamera	15
Şekil 2	Spektral aralık	15
Şekil 3	Binanın dijital kamera ve termal kamera görüntüleri	16
Şekil 4	Termal kameraların tarihi yapılardaki deformasyon analizi	17
Şekil 5	Normal alım	17
Şekil 6	Kovergent alım	18
Şekil 7	3 dönük alım ve 3x3 kuralı	18
Şekil 8	Mercek sisteminde görüntü oluşumu	23
Şekil 9	Distorsiyon hatası (a) teğetsel ve çapsal distorsiyon (b)	25
Şekil 10	İç yöneltme elemanları ve fotoğraf koordinat sistemi	28
Şekil 11	Troya Müzesi giriş kattaki eserlerin fotoğrafları	28
Şekil 12	Troya Müzesi'ndeki 13. ve 14. yüzyıla ait eserler	28
Şekil 13	Troya müzesi iç kısım genel görünümü	29
Şekil 14	Canon EOS M200 kamera ile görüntülenen lahitler	35
Şekil 15	Miralar ve üzerinde sabitlenen kontrol noktaları	35
Şekil 16	Lahit 11312'nin (a) ve (b) kısa yüzeylerinin modelleri	37

Şekil 17	Lahit 11312'nin (a) ve (b) uzun yüzeyleri	37
Şekil 18	Lahit 11313'ün Mapir görüntü işleme ile oluşturulan indeks	38
Şekil 19	Lahitin farklı renk bantlarıyla analizi	38
Şekil 20	Lahit 11313'ün nokta bulutu	40
Şekil 21	Lahit 11313'ün Build Mesh işleminden sonraki görüntüsü	40
Şekil 22	Lahit 11312'nin uzun ön yüzeyinin modeli	40
Şekil 23	Modellenen Canon kamera görüntüleri	41
Şekil 24	Modellenen Mapir kamera görüntüleri	41
Şekil 25	Python İş Akışı	43
Şekil 26	Lahit 11313'ün RGB görüntüsünün Python'da gösterilmesi	44
Şekil 27	Lahit 11313'ün Multispektral görüntüsü	45
Şekil 28	Lahit 11313'ün termal renkli ve gri tonlu gösterimi	45
Şekil 29	Lahit 11313 c1 numaralı cephenin RGB kontrol noktaları	46
Şekil 30	Lahit 11313 c1 numaralı cephenin multispektral kontrol noktaları	46
Şekil 31	Lahit 11313 c1 numaralı cephenin Termal kontrol noktaları	47
Şekil 32	RGB ortofoto-Multispektral ortofoto dönüşümü	47
Şekil 33	RGB ortofoto-Termal ortofoto dönüşümü	48
Şekil 34	Görüntülerin üst üste karşılaştırılması	48
Şekil 35	Lahit 11313'ün RGB görüntüsünün Kenar Tespit işlev analizi	49
Şekil 36	Lahit 11313 için Adaptif Eşitleme yöntemi ile iyileştirme	49

Şekil 37	Lahit 11313'ün Kenar Tespit yöntemi ile çıkarım	49
Şekil 38	Multispektral fotoğraf için NDVI	49



BÖLÜM

GİRİŞ

Fotogrametri bilimi, cisimlerin ve bu cisimlerin etrafında yayılan ışınların kayıt altına alınmasıyla oluşur. Fotografik görüntüler ve bu görüntülerin yaydığı elektromanyetik enerji, fotogrametri bilimiyle analiz edilir. Cisimlerin elektromanyetik enerjisinin kayıt altına alınmasını ve ölçülmesini sağlayan bilim dalıdır (Yastıklı, 2010).

Fotogrametri, teknolojik ilerlemelere bağlı bir bilim dalı olduğundan günümüzde yaygın hale gelmiştir ve oldukça popülerdir. Fotogrametrik yöntemlerin maliyet, hız, zaman vb. gibi yönlerden uygunluğu, kullanım açısından kolaylığı, veri elde etmenin pratikliği gibi sebeplerden dolayı bugün yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline almıştır. Fotogrametrinin alt dallarından olan ve fotogrametrinin kapsamında yer alan yersel fotogrametrinin kullanım alanlarının genişlemesiyle bu alana olan ilgi de her geçen gün artmaktadır.

Tarihi ve kültürel sanat eserleri fotogrametri bilimi sayesinde analiz edilir. Yapılan bu analizler ile çeşitli yapılar belgelenebilir. Tarihi yapı ve eserlerin rölövelerinin çıkarılması da fotogrametri bilimi sayesinde gerçekleştirilmektedir. Yapılan belgeleme, rölöve analizleri çeşitli yollarla desteklenmektedir. Bunlar hiç şüphesiz bilimsel projeler ve bilimsel sempozyumlardır. ICOMOS ve ISPRS bunlara örnek olarak gösterilebilecek sempozyumlardır. Bu tarz organizasyonlarla düzenlenen sempozyumlar, alanında proje geliştiren üniversitelere, konuyla ilgili çalışmalar yürüten kurumlara, çeşitli firmalara yeni teknolojilerin kullanılması ve tanıtılması açısından yol göstericidir. Çeşitli çalışmalarda klasik yersel fotogrametri yöntemine yer verilmektedir. Fotogrametrik belgelemeleri ve rölöve üretimini sağlamak amacıyla üretilen fotoğraflar metrik kameralarla çekilmiştir. Tarihi ve kültürel miras eserlerinin özellikleri ele alınarak alınarak mono şeklinde çekilen fotoğrafların değerlendirilmesi tek fotoğraf şeklinde, stereo çekim durumunda olanlar ise analog stereo değerlendirme aletlerinde değerlendirmektedir.

Sayısal fotogrametri yönteminde farklı tarz kameralar kullanılmaktadır. Bu kameralar, dijital kameralar ve yarı metrik kameralardır. Bu kameralar ile elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesi için sayısal fotogrametrik değerlendirme aletlerine aktarılması gerekmektedir. Çalışmalarla yapılan belgeleme ve rölöve üretimindeki

yönelme, çizim işlemini gerektirecek faaliyetlerin tümü sanal yani bilgisayar ortamında gerçekleştirilmektedir. Sayısal fotogrametri yönteminde, otomatik ölçme işlemlerinin gerçekleştirilmesi, sayısal vektör verilerle yapılır. Bunlar üç boyutlu vektör verilerdir. Fotogrametri ile sayısal ortofoto üretimi ve sayısal ortofoto üretimi, sayısal arazi çıkarımı, sayısal yüzey modeli çıkarımı gibi birçok işlem yapılmaktadır (Yastıklı, 2010).

Sayısal kamera ve termal görüntüleme sistemleri çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu uygulama ve alanlar; tıp, arkeoloji, mimarlık, savunma teknolojileri, otomotiv alanı, güvenlik, sanayi ve askeri uygulamalar olarak sıralanabilmektedir. Bu görüntüleme sistemleriyle birlikte ve kullanılan kameraların vasıtasıyla tarihi ve kültürel miras eserlerinin belgelenmesi, 3 boyutlu bir şekilde modellenmesi, deformasyon analizlerinin gerçekleştirilmesi, restorasyon ve tarihi eserlerin korunumu amaçlı kullanımı günümüzde önemi ve kullanım alanı artış gösteren diğer uygulama alanlarına örnek verilebilir (Grinzato, 2012). Günümüzdeki teknolojik gelişmelere dayalı sayısal fotogrametri vasıtasıyla belgeleme ve değerlendirme çalışmalarında faaliyet gösteren kameraların çözünürlükleri artmıştır, çeşitli yazılım ve donanımlarla sağladıkları otomasyonlar ile fotogrametrik olarak belgelenmelerde popüler hale gelmiştir. Fotogrametrik belgelenmelerin gerçekleştiği çalışmalarda genellikle sabit odak uzaklıklı (SLR) sayısal kameralarla çalışmalar yürütülmektedir.

Termal diğer bir deyişle Termografik görüntüleme veya termal video sistemleri, kara cisim ışınması kanunu prensibine göre objeler tarafından yayınlanan enerjiyi görüntüye dönüştürürler. Bu dönüşüm belirli bir sıcaklığın üzerinde elektromanyetik spektrumun kızılötesi yayınladığı enerji ile olur. Cisimler tarafından yayınlanan ışınım miktarı sıcaklık arttıkça artar. Termal görüntüleme sistemleri aracılığı ile elde edilen termal görüntüler ile obje yüzeyindeki sıcaklık değişimleri belirlenebilir. Termal kameralar da sayısal kameralar gibi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde (0.4-0.7 μm) kayıt yapmaktadır ayrıca da kızılötesi bölgede kayıt yaparlar. Uzun kızılötesi bölgede de (7-20 μm) çalışma yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle normal sayısal görüntülerde yapılması kısıtlı olan ya da mümkün olmayan cisim yüzeyindeki deformasyonların analizi ve belgelenmesi çalışmalarında da kullanılmaktadırlar. Özellikle tarihi ve kültürel eserler yüzeyindeki deformasyonların analiz edilmesi, deformasyonla oluşan değişimlerin gözlemlenmesi, gizli yapı ayrıntılarının belirlenmesi, izolasyon ve yalıtım problemlerinin çözülmesi gibi farklı çalışmalarda termal kameralar kullanılmaktadır. Bu kullanım alanları mimari ve arkeolojik

yönlerine örnek gösterilebilir fakat bunun haricinde çeşitli alanlarda da kullanılmaktadır. Yapılan deformasyon analizi çalışmaları, termal sistemler sayesinde tarihi ve kültürel yapılar ile doğrudan herhangi bir temas olmadan, yapıların dokusuna müdahale etmeden ve bir numune almadan da yapılabilmektedir. Sayısal kameralar, tarihi ve kültürel binaların restorasyonu çalışmalarında binaların mevcut durumunun belirlenmesi amacı ile fotogrametrik belgelemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Sayısal kameralarla yapılan kayıt işlemleri elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde olduğundan sadece yapı yüzeyinde görünen sorunlar görsel olarak belirlenebilmektedir. Termal kameraların kullanımı ise çıplak gözle algılanamayan özelliklerin belirlenmesinde, belgeleme ve analizindeki çalışmalara imkan sunmaktadır ve sayısal kameralara göre avantajlı yönleri vardır. Bu tez çalışmasıyla birlikte termal kameralar ve sayısal kameraların birlikte kullanımı, sayısal kameralarla alınan görüntülerde belirlenemeyen tarihi kültürel eserlerdeki değişimin, nem, güneş ışığı, aşınım, ıslak yüzeylerin problemi nedeni ile ortaya çıkan ve rutubet neticesinde ortaya çıkan deformasyonlar görüntü sınıflandırma, görüntü segmentasyonu işlemleri ile belirlenmiştir. Sayısal ve termal kamera verileri birlikte kullanılarak değişimler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, gelecekteki tarihi ve kültürel eserlerin analizinde, yapılabilecek restorasyonlarda fazladan herhangi bir çalışma ve harcama olmaksızın detaylı analiz ve inceleme olanağı sunacaktır. Bu şekilde gelecekte tarihi ve kültürel yapılarda ortaya çıkacak hasarların önceden tespiti ve restorasyon aşamasında ortaya çıkacak büyük bir maddi yükün önüne geçilmesine olanak sağlayacaktır. Mimari ve arkeolojik yönden fotogrametri biliminin ne derece yol gösterici olduğu ortaya çıkacaktır. Birden fazla bilim dalının entegrasyonu ile yapılan bu çalışmalar çok yönlü olduğundan değer taşımaktadır ve farklı alanlara ışık tutacak niteliktedir.

1.1. Literatür Özeti

Uzun yıllar doğal ve beşeri etkilere maruz kalan tarihi yapı ve kültürel yapıların yüzeylerinde fark edilen değişimler, geçmişe ait bulundukları verilerin değişip, başkalaşmasına sebep olmaktadır. Tarihi ve kültürel eserlerin içeriğindeki ve yüzeyindeki detayların görsel yönden doğru yorumlanmasını engelleyen bu durum söz konusu olan malzemelerin analiz edilmesini ve aynı zamanda da eserlerle ilgili doğru bilgiler edinmemizi zorlaştırmaktadır. Bu tez çalışması sayesinde termal ve dijital kameraları aynı anda kullanarak tarihi yapıların ve kültürel miras eseri niteliği barındıran yapıların fotogrametrik yöntemlerle belgelenmesi, termal kameralar ve dijital kameraların birlikte kullanımı ile tarihi

eserlerdeki geometrik modellemenin yapılmasının yanı sıra, spektral analiz sonucunda yapılacak sınıflandırma sonuçları ile eserlerdeki malzemelerin özellikleri incelenecektir. Termal görüntüleme sistemleri yüzeylerin termografik koşullarını değerlendiren, yüzey sıcaklıklarını hassas bir şekilde okuyarak görsel bir sonuç ürün sunan, yapıya zarar vermeyen, temas gerektirmeyen, tarihi ve kültürel mirasların yapısına zarar vermeyecek nitelikte ve aynı zamanda dijital kameralar ile entegre çalışabilen bir sistemdir. Termal görüntüleme sistemleri ile her tür yapının mevcut durum kontrolünün sağlanması, problemlerinin tespit edilmesi ve en önemlisi korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Termal modelin incelenmesi çatlak, gözle görülmeyen izler ve diğer fiziksel değişiklikleri yeniden keşfetmeyi sağlayabilir. Eserlerin ne ölçüde zarar gördüğünü ve ne derece korunduğunu gözlemlemek için yol gösterici bir çalışma olacaktır. Bu proje kapsamında termal ve RGB sayısal kamera ile Troya Müzesi'ndeki bazı arkeolojik eserlerinin fotogrametrik olarak 3B geometrik modelleri, ortofotoları üretilerek; doğal ve beşeri unsurların yol açtığı deformasyonların analizinde, arkeolojik eserlerin yüzeyindeki malzeme özelliklerinin belirlenmesinde kullanılacaktır. Eserlerin, sürdürülebilirliği, korunması ve ileriye dönük verimli bir şekilde ulaştırılması için sistemli ve planlı bir koruma yaklaşımının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışma ile RGB sensörlü dijital kamera ile alınan görüntülerin yüksek çözünürlük avantajı ile termal görüntülerin görünür bantlar dışındaki spektrum bilgisi avantajı bir araya getirilerek çok sensörlü bir sınıflandırma ile arkeolojik eserlerin daha detaylı geometrik ve spektral analizi hedeflenmiştir.

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında termal ve dijital kameraların beraber kullanılmasıyla, kültürel ve tarihi miras özelliği taşıyan arkeolojik eserlerin fotogrametrik açıdan belgelenmesi, tarihi eserlerdeki geometrik modellemenin yapılması, spektral analiz ile yapılacak sınıflandırma sonuçları ile eserlerin fiziksel yapısı ve yüzey özellikleri incelenecektir. Fotogrametri, kamera görüntülerini ölçerek arkeolojik, mimari, mühendislik, endüstriyel, sağlık vb. gibi çeşitli alanlarda nesnelere ve yakın çevreleri hakkında bilgi veren bilimi ve teknoloji dalıdır.

Sayısal kameralar, tarihi ve kültürel binaların restorasyonu, arkeolojik eserlerin incelenmesi çalışmalarında gerek binaların gerekse kültürel eserlerin mevcut durumunun belirlenmesi amacı ile fotogrametrik belgelemede yaygın olarak kullanılmaktadır. Sayısal kameralarla yapılan kayıt işlemleri elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde

gerçekleşmektedir. Bundan dolayı sadece eser yüzeyinde görünen bölgeler görsel olarak analiz edilebilmektedir. Termal kameraların kullanımında ise dijital kameralardan farklı olarak, çıplak gözle algılanamayan detayların tespiti, analizi, modellenmesi ve belgelenmesi yapılmaktadır. Bu tez çalışması ile termal kameralar ve sayısal kameraların birlikte kullanımı ile sayısal kameralarla alınan görüntülerde algılanamayan detayların incelenmesi, tarihi yapılardaki değişimin tespiti sağlanacaktır. Sayısal ve termal kamera verilerinin birlikte kullanımı deformasyonların detaylı bir şekilde analiz edilmesine de olanak sağlayacaktır. Literatür araştırması sonucunda belirlenen yaklaşımlarla dijital ve termal görüntülerin alımı, yöneltilmesi, değerlendirilmesi, sayısal ve termal görüntülerin belgelenmesi ve analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Dijital kameraların kullanımı ile yalnızca yapı yüzeyinde görülen bazı sorunlar görsel olarak belirlenebilmektedir. Literatür taraması incelendiğinde termal görüntülerle, kültürel miras çalışmalarında standart bir yöntem uygulanmadığı görülmektedir. Termal ve dijital kameraların birlikte kullanımı ile fotogrametrik belgeleme aşamasında termal görüntüler kullanılarak sayısal görüntülerde algılanamayan ve tarihi yapılarda meydana gelen değişimler ve bu eserlerin spektral analiz sonucunda yapılan sınıflandırma sonuçlarının, malzeme özelliklerinin uygun, verimli bir şekilde ve metrik olarak ortaya konması hedeflenmektedir.

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, gelecekteki tarihi ve kültürel eserlerin incelenmesinde, restorasyonunda, korunmasında, düşük maliyetli bir analiz örneğini bizlere sunmuş olacaktır. Bu şekilde ileride ortaya çıkacak değişimlerin erken ve hızlı tespiti ve olası bir restorasyon çalışması aşamasında ortaya çıkacak geri dönüşü mümkün olmayan hasarların önlenmesine imkan sağlanması, ekonomik yönden ve zaman açısından da avantaj sağlaması, diğer çalışmalara yol gösterici bir çalışma olması hedeflenmektedir.

1.3. Hipotez

Tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan eserlerde rutubet, nem, sıcaklık ve hava muhalefetine karşı eserlerin yüzeyinde meydana gelen deformasyonların analiz ve tespit işlemlerinin sayısal kamera ile elde edilen görüntülerle yapılması mümkün değildir. Sayısal ve termal infrared kameraların birlikte kullanımı ise bu değişimlerin, görüntü sınıflandırma ve segmentasyon işlemleri ile analiz edilmesini sağlamaktadır.

1.4. Özgün Değer

Literatür araştırması sonucunda belirlenen yaklaşımlar yardımıyla, arkeolojik mirasın dijital ve termal görüntülerinin alımı, fotogrametrik yöneltilmesi ve

değerlendirilmesi, belgelenmesi, sınıflandırılması ve analiz edilmesi gerçekleştirilecektir. Literatür taraması incelendiğinde termal görüntülerle, kültürel miras çalışmalarında da standart bir yöntem uygulanmadığı görülmektedir. Bu tez çalışmasında ise, yalnızca dijital kameraların kullanımı ile arkeolojik eser yüzeyinde oluşan ancak tespit edilemeyen deformasyonların esere temas olmaksızın termal kamera yardımıyla geometrik ve görsel olarak belirlenmesi sağlanacaktır. Bunlardan dolayı bu çalışmada termal kameralar ve dijital kameraların birlikte kullanılması kültürel miras çalışmalarında yenilikçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Seneler içinde tarihi ve kültürel sanat eserleri himaye altına alınmış ancak devamı getirilen bir koruma anlayışı uygulamaları, tarihi ve mimari eserleri kaderine terk eden bir anlayış sürmüş, faaliyet gösteren ve sürdürülebilirlik gösteren bir koruma anlayışı geliştirilememiştir. Tez çalışması kapsamında bu eksikliklerin giderilmesi, çalışmanın farklı bilim dallarıyla entegrasyonu sağlanarak idame ettirilmesi öngörülmektedir. Bu tez kapsamında yapılan çalışmalar, gelecekteki tarihi ve kültürel eserlerin incelenmesinde, restorasyonunda, korunmasında bir analiz örneğini bizlere sunmuş olacaktır. Bu şekilde mimari, arkeoloji vb. farklı disiplinlerin çalışmalarına veri sağlanacaktır.

Bu tez çalışmasının özgün değeri, kültürel miras çalışmalarında,

- Termal görüntüler için fotogrametrik bir yöntem iş akışı olarak önerilecektir,
- Termal ve RGB dijital kamera verileri birlikte analiz edilecektir,
- Dijital görüntülerde algılanamayan değişim ve hasarlar tespit edilecektir,
- Yüzey özellikleri çok sensörlü olarak sınıflandırılacaktır,
- Farklı disiplinler için düşük maliyetli model üretimi sağlanacaktır,

Eserlerin korunmasına yönelik etkin ve sürdürülebilir bir uygulama gerçekleştirilecektir.

İKİNCİ BÖLÜM

KURAMSAL ÇERÇEVE/ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tezin Konusu ve Önceki Çalışmalar

Tarihi sanat eserleri ve mimari eserler yıllarca koruma altına alınmıştır. Devam eden koruma çalışmaları, tarihi yapıları kendi haline bırakmış bir anlayışla, süreklilik gösteren ve aktif olan koruma anlayışı uygulamalarını geliştirilememiştir. Bu olumsuzlukların en temel nedenlerinden birisi, değerlendirme ve koruma etkinliklerinin, çeşitli olumsuzlukları barındırmasıdır. Bu nedenlerden dolayı disiplinler arası çalışma yöntemlerine ihtiyaç vardır (Zerin ve Sarıalioğlu, 2017).

Açık hava koşullarının yarattığı bazı etkenlere, yıllar boyu çeşitli doğal ve beşeri etkenlere maruz kalmış olan arkeolojik yapıların yüzeylerinde izlenen aşınmalar, önceki yıllara ait etkisi görülen verilerin deformasyona uğramasına sebep olabilmektedir. Eserler yüzeyindeki detayların görsellik açısından doğru algılanmamasına neden olan bu durum malzemelerin ve eserlerin alışlagelmiş belgeleme yöntemleri aracılığı ile çözümlenmesini zorlaştırmaktadır. Kimi eserlerde beşeri kaynaklı tahribatın yanında, bilhassa kireçtaşı, mermer, kumtaşından oluşan lahitlerin yüzeylerinde meydana gelen likenlerin ve siyah mikro-mantarların çeşitli değişimlere neden olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeplerden dolayı bazı mekanik etkiler oluşmaktadır. Bu mekanik etkiler, görsel algıyı zayıflatmaktadır. Yüzeylerde görülen doğal aşınmalar çeşitli tahribatlara sebep olmaktadır. Lahitlerin yüzeyindeki arkeolojik verilerin ve değişimlerin, direkt analiz yöntemiyle veya fotoğraflar üzerinden analiz edilmesi zorlaşmıştır (Tünen Öner, vd., 2017).

Kültürel mirasların malzeme yüzeylerinin tespiti, yüzeylerdeki değişimi ve bunlara bağlı olarak yapılacak fotogrametrik analizler için çok sensörlü kameralara gereksinim vardır. Termal görüntüleme sistemleri, nitel ya da nicel yolla bina gözlemlenmesi için 30 yıldan fazla süredir uygulanmaktadır. Elektromanyetik spektrumuna kızılötesi bölgesi, askeri hedef yakalama ve izleme, uzaktan sıcaklık algılama, kısa mesafede wireless iletişimi, hava tahmini ve astronomi gibi birçok teknolojik alanda kullanıma sahiptir (Grinzato, vd., 2002). Termal bantta görüntü kaydedilmesi, diğer bir ifade ile IR (infrared) termografisi, elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandındaki bir obje tarafından yayımlanan termal enerjiyi görülebilir görüntüye dönüştürür. Yapıyı kapsayan kısmi çevreden dolayı, mikroklimatik koşulların haritalanması için hızlı bir metot gerekmektedir. Tüm bu öğelere

IR termografisinin nitel kullanımı ile erişilmektedir. Yapının doğrudan analizleri (geometrik ölçümler) yapı hakkındaki bilgileri zenginleştirir ve deformasyon izlerinin tespitine izin verir. En uygun koruma projesini gerçekleştirmek için, yapısal kalıp kimliği ve bütünleyici duvar elemanlarına bağlı olarak doğru yapı analizi ve değerlendirmesi gerekmektedir. Aksi takdirde meydana gelen deformasyonların izlerini belirlemek için yapıya zarar vermek uygun değildir. Diğer önemli bir nokta ise test için yapının açısı, kullanımı, malzemesi ve boyutlarına bağlı olarak doğru zaman ve havanın seçilmesidir. Termal sinyaller ısı fazı boyunca görülebilmektedir. Nicel değerlendirme için bir dizi zaman ve yer analizi gerekmektedir. Bozuklukların konumlanması, optimum bir zamanda bir referansa göre kusurlu alanların tepkilerinin karşılaştırılması ile elde edilebilmektedir (Grinzato, vd., 2002). Eksiksiz yüzey sıcaklıklarını elde etmeyi gerektirmeyen (fresklerin yapışmaları gibi) bazı uygulamalarda termal işaretleri belirlemek yeterlidir. Bu yöntem görüntü yorumlamaya dayalı nitel görsel kontrol yöntemi olarak adlandırılırken, diğer yandan doğru mesafe ve yüzey ölçümünü elde etmek amacıyla termal görüntülerin geometrik düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi gerekir. Bu durumda ise nicel yöntem söz konusudur (Rizzi, vd., 2007).

Termal görüntüleme sistemleri yüzeylerin termografik koşullarını değerlendiren ve yüzey sıcaklıklarını hassas bir şekilde okuyarak görsel bir sonuç ürün sunan, yapıya zarar vermeyen ve sayısal kameralar ile entegre çalışabilen bir sistemdir. Termal anomalilerin analizinde, çalışılacak alandaki bağıl nem, hava sıcaklığı, direkt güneş ışığı ve rüzgar gibi atmosferik koşullar ve alanın hangi kapsamda incelenmesi isteğine bağlı olarak aktif ve pasif yaklaşımlar söz konusudur (Güler, 2013). Rosina ve Spodek yaptıkları çalışmada Hindistan'ın Muncie kentinde yer alan masonik tapınağa ilişkin sıcaklık haritalarını oluşturmuşlardır (Rosina ve Spodek, 2002). Grinzato, Scrovengi şapeline ait fresklerin analizinde pasif termal görüntüleme yönteminin adımlarını detaylı bir şekilde anlatarak yapıya ilişkin analizler gerçekleştirilmiştir (Grinzato, vd., 2002). Grinzato, yaptığı başka bir çalışmada, tarihi Arselanal of Venice yapısının masif duvarları üzerinde termal yayınının malzeme çürümesi ve nem ile ilgili verdiği sonuçların analizi amaçlamıştır (Grinzato, vd., 2002). Bu çalışmada gerekli analizlerin yapılabilmesi için yüzey sıcaklık haritalarını oluşturmak üzere yüzey sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sıva tabakasının altındaki duvar yapıştırıcısını bulma işleminin deneysel sonuçları göreceli nümerik termal modelleme yöntemiyle elde edilmiştir. Geniş yüzey araştırmaları için çok sayıda termogram çekimi ile mozaik oluşturulmuştur. Termal görüntüleme sistemleri ile yapıya ait malzemelerin (tuğla, sıva, harç) ve yapıda oluşan nemin farklı çevresel koşullar altında analizi başarıyla

gerçekleştirilmiştir (Güler, 2013). Rizzi, yaptığı çalışmada tarihi ve kültürel yapıların, yersel fotogrametri ya da kızılötesi kameralarla elde edilen görüntülerle doku haritalarının çıkarımı ve mesafe sensörleri aracılığıyla 3B geometrik modellerinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada, farklı algılama sistemleri ile elde edilen verilerin birlikte kullanımını ile İtalya'daki tarihi eserlerin belgelenmesi ve tavanlarda bulunan resimlerin analizlerinin yapımı için termal görüntüleme sistemleri başarı ile kullanılmıştır (Rizzi, vd., 2007). Binda, yaptığı çalışmada İtalya'nın Milano kenti yakınlarında bulunan Villa Litta Modignani isimli tarihi binanın termal görüntüleme sistemleri kullanılarak morfolojik detaylarının, binada sonradan kapatılan gizli kısımlarının bulunması, bina yüzeyinde normal fotoğraflarda anlaşılabilen gizli yapı elemanlarının belirlenmesi, binada kullanılan malzeme ve yapı tekniklerinin belirlenmesi vb. amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu çalışmada termal görüntüleme sistemleri ile elde edilen bulgular, RADAR ile desteklenmiştir. Aynı tarihi yapı için kullanılan termal görüntüleme sisteminin geometrik kalibrasyonu için kullanılan iki boyutlu test hedefi ve geometrik kalibrasyon için kullanılan yöntem ve sonuçlar da incelenmiştir (Binda, vd., 2003). Binda'nın başka bir çalışmasında İspanya'da kırsal kesimde bulunan sivil mimarlık özelliği taşıyan tarihi binaya ilişkin restorasyon çalışmasında binadaki yapı elemanları ve özelliklerinin belirlenmesi çalışmalarında termal görüntüleme sistemleri ve sayısal kameraların birlikte kullanımı olanakları araştırılmıştır. Bu çalışma ile termal ve sayısal kameralar birlikte kullanılarak binadaki nem ve rutubet sebebiyle oluşan deformasyonlar elle çizilmiştir (Binda, vd., 2003). Kordatos, yaptığı çalışmada Yunanistan'da bulunan tarihi Molybdoskepastos manastırındaki duvar yazılarına ve duvarlara ait 3D ısı haritaları oluşturarak pasif ve aktif yöntemlerle deformasyon analizi gerçekleştirilmiştir (Kordatos, Exarchos, vd., 2012). Paoletti, yaptığı çalışmada Santa Maria kilisesine ait 2009 yılında gerçekleşen deprem öncesi ve sonrasında oluşan hasarların tespit ve analizi için termal görüntüleme sistemleri kullanılarak hasar tespit işlemleri gerçekleştirilmiştir (Paoletti, vd., 2013). Lagüela, yaptığı çalışmada fotogrametrik doğrulama için geometrik bilgiyi elde etmek üzere bir adet sayısal ve iki adet farklı çözünürlükteki termal kameraların kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla ayrı test alanları kullanılmış termal kamera kalibrasyonu için yüksek yansıtıcılık ve düşük yayıcılık değerine sahip malzemeler seçilmiştir. Kalibrasyon yöntemi ve elde edilen sonuçlar incelenmiştir (Lagüela, vd., 2011). Luhmann, yaptığı çalışmada, termal görüntüleme sistemlerinin iki boyutlu ve üç boyutlu veri işleme, pan sharpening gibi uygulamalardaki olanaklarını sunarak, lambalardan oluşturdukları test düzeneği ile farklı odak uzaklığı, piksel

boyutu ve çözünürlüğüne sahip dört adet termal kameranın kalibrasyon işlemini gerçekleştirerek elde edilen standart sapmaları ve ek parametre değerleri sunulmuştur (Luhmann, vd., 2010).



ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA YÖNTEMİ/MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yersel Fotogrametri

Fotogrametri yöntemiyle ölçülmek istenen nesnelerin, bu nesnelerle birlikte yakın yüzeylerinin fotoğrafları çekilir ve nesneye ait olan 2 boyutlu ya da 3 boyutlu koordinat bilgileri fotoğraf üzerinde yapılan ölçümlerle belirlenir. Belirlenen bu bilgiler sadece metrik bilgiler değildir, aynı zamanda nesnelerin yakın çevresine ait bilgiler, yer yüzeyinin bir parçasının yapısal özellikleri, yüzeyin çeşitli değişikliklerine ilişkin bilgiler olabilir. Bu çalışmaların yapılabilmesi için metrik koordinat ölçümüyle birlikte fotoğraftaki bilgilerin yorumlanmasına ve analiz edilmesine de gereksinim duyulur.

Fotogrametri bilimi, fotografik görüntüleri işleyen, fotografik görüntülerin etrafındaki ışınımı değerlendirip inceleyen bilim ve aynı zamanda bir sanat dalıdır. Tüm fiziksel etkileri de bünyesinde barındırarak, kayıt altına alma, ölçüm yapma ve oluşan değerleri yorumlama amacı taşıyan bir bilim ve teknoloji bütünüdür (Yastıklı, 2010).

Alım merkezi yer üzerinde bir noktadaysa bu durumda uygulanan fotogrametrik yönteme yersel fotogrametri adı verilir.

Nesneler doğada katı, sıvı, gaz halinde, hareketli veya sabit şekilde bulunabilmektedir. Nesnelerin konumları ve biçimleri zamanla veya dış etkenlere bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Yersel fotogrametri yöntemiyle nesnelerin çeşitli özelliklerine bağlı olarak konumları, biçimleri ve değişiklikleri belirlenebilmektedir. Yersel fotogrametri bu tanıma kapsayan tüm bilimsel veya bilimsel olmayan tüm alanlarda kullanılabilir. Yersel Fotogrametride nesne ölçümü yapılırken istenen biçimde, süreklilikte ve yoğunlukta nokta seçimi yapılabilir. Zaman açısından düşünüldüğünde nesnelerin hareketleri incelenebilir. Bu durum şu şekilde açıklanabilir; bütün noktalar aynı zamanda iz düşürüldüğünden fotogrametrik ölçüler, nesnelerin o andaki halini canlandırmış olmaktadır. Elde edilen görüntüler kayıt altına alınır, kaydedilen bu görüntüler, nesneler hakkındaki tüm verileri barındırmakla birlikte bu veriler sayesinde istenildiğinde değerlendirme yapılır. Bundan dolayı elde edilen görüntüler önemli tarihi eserlerin ve mimari yapıların belgelenmesinde, kayıt altına alınmasında önemli rol oynamaktadır.

3.1.1. Yersel Fotogrametrinin Kullanım Alanları

Fotogrametrik yöntemler görüntü eldesi ve çeşitli nesnelere kendisiyle ve çevresiyle ilgili bilgi edinmek, çeşitli yönlerden analizini sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Üstün yönleri olması açısından çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

Yersel fotogrametrinin haritacılıkta kullanılan uygulama alanları şu şekildedir;

- Hava fotogrametrisine oranla maliyeti daha az olduğu için, teknik donanım ve hizmet anlayışı gerektirdiğinden yükseklik farklarının az olduğu, açık olan alanların haritalarının yapımı,
- Barajların yapım ve rezerv bölgelerinin haritalandırılması,
- Yol ve bina inşaatlarında, kazı ve dolgu ölçmelerinde, kübaj hesaplamalarında,
- Taş ve maden ocaklarının hacim hesapları yapımında,
- Mimarlık fotogrametrisi alanında tarihsel olarak kültürel mirasın ve eserlerinin analiz edilmesinde,
- Çeşitli profil alımı çalışmalarında,
- Hız ve hareket ölçümlerinin yapılmasında,
- Maddelerin katı, sıvı ve gaz hali durumlarının incelenmesinde,
- Endüstriyel ürünlerin çalışma prensiplerinin incelenmesinde,
- Mühendislik uygulamaları ve ölçümlerinde,
- Arkeolojide, tarihi bölgelerin keşfinde ve korunmasında, rastlanan eserlerin fotogrametrik yöntemle belgelenmesi,
- Kazalarda ve çeşitli kriminal araştırmalarda meydana çıkan durum sonrası fotogrametrik yöntemle elde edilen fotoğrafların değerlendirilmesiyle birlikte olayların ortaya çıkış nedenlerinin araştırılmasında,
- Tıp ve Spor vb. uygulamalarda, canlılar üzerindeki gelişiminin yakından takip edilmesinde, uzuvlarındaki değişimlerin belirlenmesinde veya bir anormallik varsa bunun saptanması,
- Yüz tanıma cihazları,
- X-Ray cihazları olarak sıralanabilir. (Yastıklı, 2010).

3.1.2 Yersel Fotogrametrinin Mimarlıkta Kullanımı

Artan nüfus ve sanayileşmeyle birlikte çeşitli sorunlar meydana gelmiştir. Bu sorunların doğurduğu olumsuzluklardan biri de hızlı bir kentleşmedir. Hızlı kentleşmenin sonucunda eski yerleşim alanlarına ve bu bölgelerdeki eserlere gereken ilgi ve özen gösterilememiştir. Son yıllarda turizm hareketlerinden elde edilen gelirlerin ekonomik refaha katkısı küçümsenemez. Turizm sektörüne verilen önemin artmasıyla beraber tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan bu alanların, bu alanlardaki yapıların eski fonksiyonlarının geri kazandırılması amacıyla restorasyon projeleri büyük önem ve hız kazanmıştır. Bu ve buna benzer faaliyetlerde dolayı yersel fotogrametrinin mimarlık ve arkeolojideki uygulamaları ön plana çıkmaktadır.

Tarihi ve kültürel eserlerin modellenmesindeki yersel fotogrametri iş adımları;

- Tarihi, arkeolojik eser niteliği taşıyan mimari objenin ve bu objelerin yakın çevrelerinin seçilecek değerlendirme yöntemine göre yerden ve havadan fotoğraflarının çekilmesi,
- Yönelme işlemleri sonucunda 2 boyutlu veya 3 boyutlu rölövelerinin oluşturulması,
- Ortofotolarının hazırlanması,
- 3 boyutlu perspektif görüntülerinin hazırlanması çalışmaları şeklinde sıralanabilir.

Bu çalışmalara ek olarak düşey veya yatay kesitler alınabilir. Bu veriler restorasyon projelerinde, kültürel miras eserlerinin, arkeolojik kazılarda kullanılarak tarihi eserlerin korunması, analiz edilmesi ve restore edilmesi çalışmalarında kolaylıklar sağlamaktadır. (Duran, 2004)

3.2. Yersel Fotogrametrinin Sınıflandırılması

Yersel fotogrametride uygulanan ve yersel fotogrametride kullanılan fotoğraf ölçeğine göre;

- $500 > mr$ (fotoğraf ölçeği) > 15 Yakın fotogrametri
- $0.25 > mr$ (fotoğraf ölçeği) > 0.01 Mikro fotogrametri
- $0.0002 > mr$ (fotoğraf ölçeği) Nanofotogrametri olarak sınıflandırılmaktadır (Yastıklı, 2010).

3.3. Yersel Fotogrametride Kullanılan Kameralar

Yersel fotogrametri uygulamalarında kullanılan kameralar dört farklı grupta toplanmaktadır. Bunlar;

- Metrik kameralar,
- Yarı metrik kameralar,
- Amatör kameralar,
- Sayısal kameralar

3.3.1. Sayısal Kameralar, Termal Görüntüleme Sistemleri ve Kullanım Alanları

Film kameraları, analog görüntü üretirken optik elemanlı elektronik cihaz olan sayısal kameralar ise bilgisayar ortamında işlenebilecek görüntü sinyallerini sayısal formata dönüştürmektedir. Sayısal kameralar, teknolojik gelişmelerde kullanılmaktadır. Silikon dedektörler, bilgisayarların işlem hızı ve depolama kapasiteleri sayısal kameraların kullanıldığı alanlar arasında yer almaktadır. Sayısal kameraların kullanıldığı diğer alanlar:

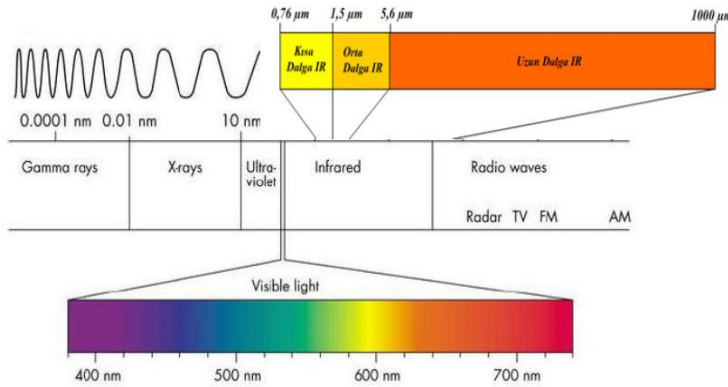
- Yüksek çözünürlük sağlar.
- Elektromanyetik spektrumları görünür kılar.
- Kızılötesi bölgesinde aynı anda görüntü kaydını olanaklı hale getirir.
- Renkli ve yapay görüntüler elde eder.

Sayısal kameralarda iki adet görüntü kayıt sistemi kullanılmaktadır. Bu sistemler CCD ve CMOS dedektörleridir. Bu dedektörler görüntünün dijital formda kaydedilmesini sağlayarak alınan görüntüler üzerinde görüntü işleme operasyonlarının daha kolay yapılmasını sağlamaktadır. Elde edilen görüntüler, teknolojik ortama doğrudan aktarıldığı için veri depolaması oldukça kolaydır. Bu sayede görüntülerin hızlı bir şekilde işlenmesi gerçekleştirilmektedir. Sayısal kameraların sağladığı otomasyon imkanları ve çözünürlüklerinin artması sayesinde yersel fotogrametri ile belgeleme çalışmalarında oldukça sık kullanılır hale geldiği görülmektedir. Şekil 1'de fotogrametride kullanılan sayısal ve termal kameraların görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 1. Sayısal kamera ve termal kamera

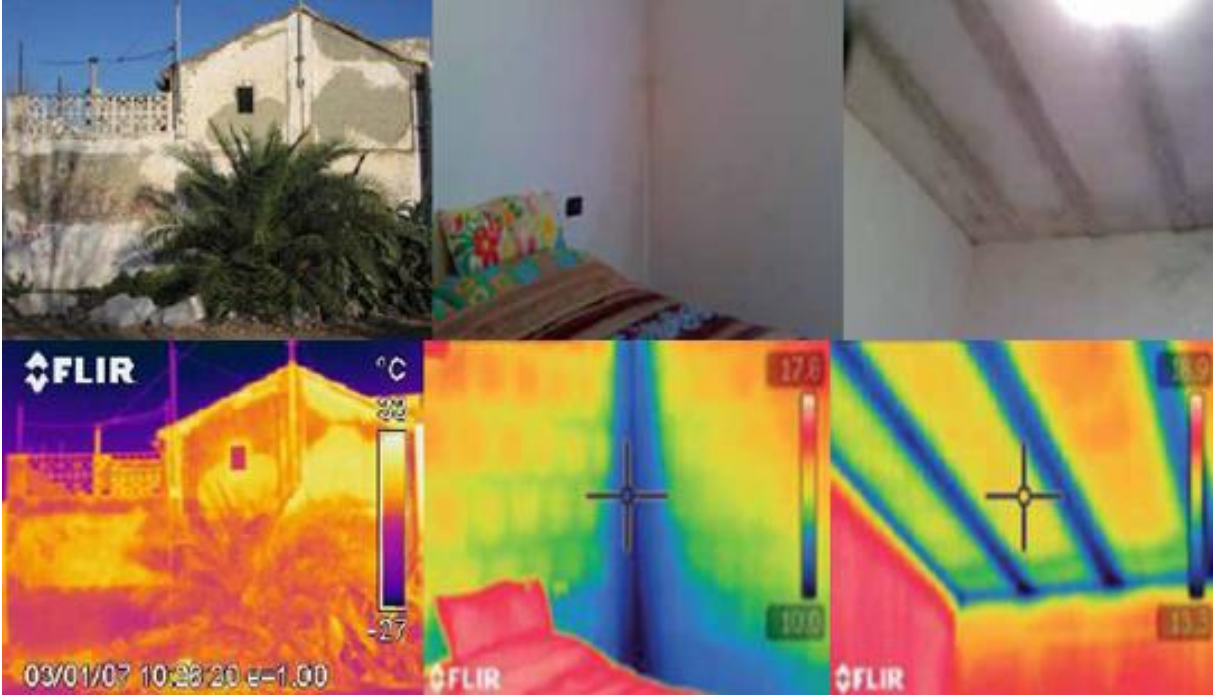
Termal görüntüleme sistemlerinin, tıpkı sayısal kameralar gibi elektromanyetik spektrumun görünür bölgesinde (0.4-0.7 μm) kayıt yapan görüntüleme sistemleri vardır. Termal görüntüleme sistemlerinin spektral aralığı Şekil 2’de görülmektedir. Sayısal kameralardan ayrılan özelliği ise kızılötesi bölgede kayıt yapma işlemlerini gerçekleştirmesidir.



Şekil 2. Spektral aralık (Güler, 2013)

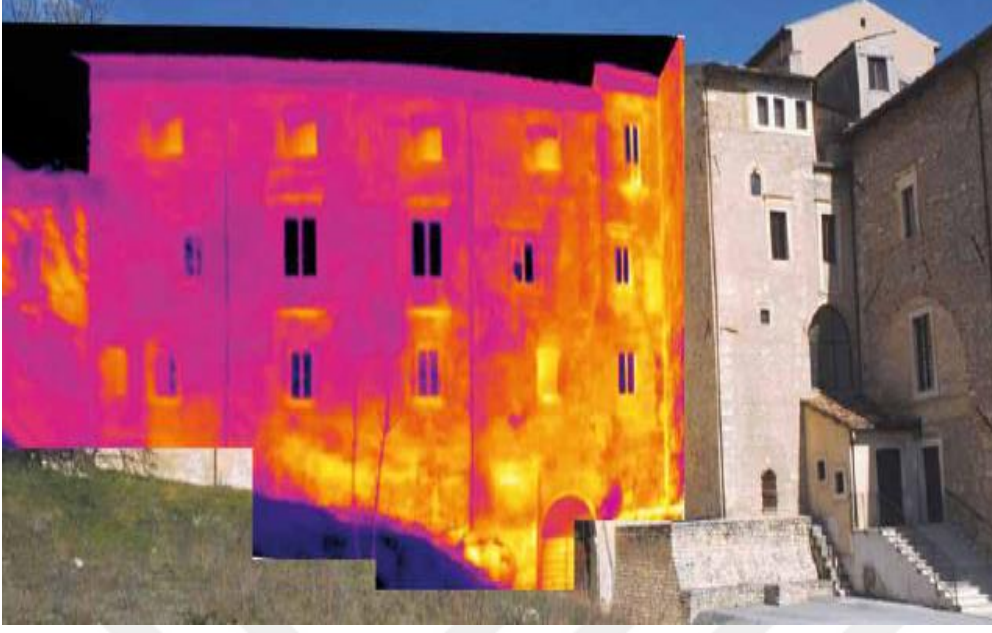
- Termal (termografik) görüntüleme ve/veya video sistemleri, kara cisim ışıması kanununa göre objeler tarafından belli bir sıcaklığın üzerinde elektromanyetik spektrumun kızılötesi bandında yayınladıkları enerjiyi görüntüye dönüştürürler.
- Cisimler tarafından yayımlanan ışınım miktarı sıcaklık arttıkça artar. Termal görüntüleme sistemleri yardımıyla elde edilen termal görüntüler yardımı ile obje yüzeyindeki sıcaklık değişimleri belirlenebilir. Bu nedenle normal dijital görüntülerde yapılması mümkün olmayan cisim yüzeyindeki deformasyonların analizi ve belgelenmesi çalışmalarında da kullanılabilir.

- Görüntüleme yöntemi ele alındığında, gözle görülmeyen enerjiyi baz almaktadır. Bu görüntüleme sistemlerinde görüntüyü IR enerjiye göre oluşan renkler ve şekiller belirlemektedir.
- Termal görüntüleme sistemleri her tür yapının mevcut durum kontrolünün sağlanması, problemlerinin giderilmesi ve en önemlisi korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu sebeple deformasyon analizi çalışmaları, ısı yalıtımının standartlara uygunluğunun kontrolü, binalardaki su kaçaklarının belirlenmesi, nem sorununun çözümü gibi birçok farklı uygulama alanında da kullanılmaktadır. Şekil 3'te Güler'in (2013), yaptığı çalışmada bir binanın dijital kamera ve termal kamera ile alınan görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 3. Binanın dijital kamera ve termal kamera görüntüleri (Güler, 2013)

Termal kameraların tarihi ve kültürel yapıların izlenmesi, deformasyon analizlerinin tespit edilmesi, belgeleme, restorasyon işlemlerinin yapılması, koruma amaçlı kullanımı son yıllarda kullanılan diğer güncel uygulama alanıdır. Güler'in (2013) termal kameraların tarihi yapılardaki deformasyon analizi uygulamalarında kullanımına ait görüntüsü Şekil 4'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4. Termal kameraların tarihi yapılardaki deformasyon analizi (Güler, 2013)

3.3.2. Üstünlükleri

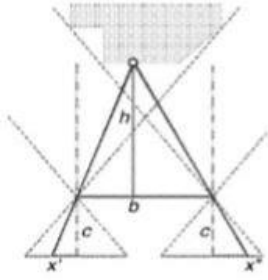
Sayısal kameralarla görüntü aktarımı pratik ve hızlıdır. Sayısal kameralar sayesinde kısa sürede düşük maliyetli çalışmalar gerçekleştirilir.

Termal kameralar elektromanyetik spektrumun görünür bölgesi dışında, kızılötesi bölgede kayıt yaptığından, sayısal görüntülerde yapılması mümkün olmayan analiz ve çalışmalarda kullanılmaktadır.

Tarihi ve kültürel miras eserlerinin incelenip analiz edilmesinde temas olmaksızın, yapıya zarar vermeden çalışmaların yürütülmesini sağlamaktadır.

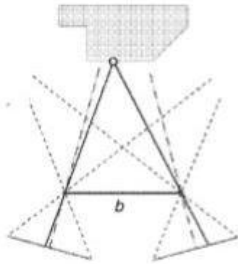
3.4. Yersel Fotogrametride Alım Yöntemleri

Yersel fotogrametride stereo değerlendirme yöntemi için tercih edilen yöntem normal alım yöntemidir. Bu yöntemde stereo model oluşturan fotoğrafların her ikisinin de alım eksenleri birbirine paralel ve baza dik durumdadır. Şekil 5'te bu durum gösterilmektedir.



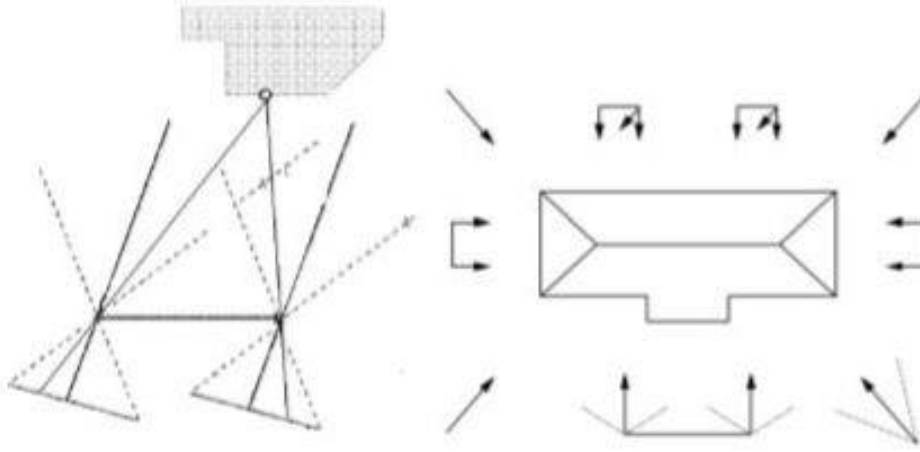
Şekil 5. Normal alım

Konvergent alımda, Şekil 6'da olduğu gibi normal alım yöntemlerinden farklı olarak kamera eksenleri birbirine paralel değildir ve bindirmeli olarak çekilebilen fotoğrafların kamera eksenleri obje üzerinde bir noktada kesişebilir.



Şekil 6. Konvergent Alım

Dönük alım yönteminde kamera eksenleri birbirine paralel olmaktadır. Kamera eksenleri baza göre belirli bir ϕ açısı kadar döndürülür ve fotoğraflar buna göre çekilir. Şekil 7'de gösterilen yöntem, 3x3 kuralında yersel fotogrametri uygulamalarında tercih edilen normal alım ve konvergent alım yöntemlerinin birlikte kullanıldığı bir alım yöntemidir.



Şekil

7.3 Dönük alım ve 3x3 kuralı

3.5 Yersel Fotogramtride Değerlendirme Yöntemleri

Yersel fotogrametri yönteminde iki koordinat sistemi arasında ilişki kurulur. Bunlar; nesne koordinat sistemi ve fotoğraf koordinat sistemidir. Nesne koordinat sistemiyle fotoğraf koordinat sistemi arasında ilişki kurulabilmesi için farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Sayısal fotogrametri yöntemindeki değerlendirme yöntemi, değerlendirmeye söz konusu olan objenin özelliklerine, şekline, ebatına, bunun yanında konumuna, kullanım amacına aynı zamanda beklenen doğruluğa, yapılan çalışmalarda faydalanılan yazılımın özelliklerine, teknolojik gelişmeler gibi birçok özelliğe bağlı olarak belirlenir. Fotogrametrik rölöve projelerinin çoğunda sonuç ürün genellikle 1/20 ya da 1/50 ölçekli rölöve çizimleri şeklindedir. Yapılan çalışmaların ve faaliyetlerin amacına göre farklı sonuçlar meydana gelmektedir. Bunlar; sayısal ortofotolar, sayısal yüzey modelleri ve üç boyutlu yüzey modelleridir (Yastıklı, 2010).

Sayısal fotogrametri aracılığıyla sonuç ürünlerin üretimi için çeşitli yöntemlere başvurulmaktadır. Sayısal fotogramtride kullanılan teknikler şunlardır;

sayısal tek fotoğraf değerlendirmesi,

stereo değerlendirme,

sayısal ortofoto ve stereo görüş olmadan birden fazla fotoğraf yardımıyla değerlendirme yöntemleri olarak açıklanabilmektedir (Yastıklı, 2010).

3.5.1 Sayısal Tek Fotoğraf Değerlendirmesi

Sayısal tek fotoğraf değerlendirme çalışmalarında obje ve objenin çevresinin irdelenmesi çok önemlidir. Objeye yüzeylerinin düzlem olduğu başka bir deyişle obje yüzeylerinde derinlik farklarının olmadığı nesnelere için yaygın olarak kullanılıp bilinen ve iyi sonuçlar veren bir yöntemdir. Sayısal tek fotoğraf değerlendirmesinde fotoğraf üzerinde ölçülen x, y koordinatları ile nesne koordinat sistemi (X, Y) arasındaki matematiksel ilişki projektif dönüşüm eşitlikleri ile sağlanır, denklem (1.1) ile ifade edilmiştir:

$$\begin{aligned} X &= \frac{a_1x + a_2y + a_3}{a_7x + a_8y + 1} \\ Y &= \frac{a_4x + a_5y + a_6}{a_7x + a_8y + 1} \end{aligned} \quad (1.1)$$

Burada, öncelikle her iki koordinat sisteminde de koordinatları bilinen kontrol kullanılacaktır. Kontrol noktaları sayesinde bilinmeyen parametreler (a_1, a_2, \dots, a_8) hesaplanmaktadır. Bilinmeyenlerin hesaplanması için en az 4 kontrol noktasına ihtiyaç duyulmaktadır. İdeal durumda kontrol noktası sayısının dörtten fazla olması istenmektedir. Eşitlikte de görüldüğü gibi bu yaklaşımda kameranın metrik olması gerekir. Bu durumda iç yönelme elemanlarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaz. Sayısal tek fotoğraf değerlendirme yönteminin gerçekleşmesi için, aynı ya da farklı kameralarla çekilen çeşitli fotoğraflarla, çeşitli mozaikler hazırlanabilir (Yastıklı, 2010).

3.5.2 Stereo Değerlendirme

Sayısal tek fotoğraf değerlendirme yönteminde, objelerin yüzeylerinin düz olmadığı, derinliklerinin yüksek olduğu durumlarda kullanılması uygun olmayan bir değerlendirme yöntemidir.

Tarihi ve kültürel sanat eserlerinin, mimari yapıların, sanat eserlerinin yüzeylerinde derinlik farkının fazla olduğu durumlarda stereo değerlendirme yöntemine başvurulmaktadır. Objeye boyutunun üç boyutlu olarak ifade edilebilmesiyle açıklanmaktadır. Fotoğraflar aracılığıyla üçüncü boyut oluşturmak yalnızca objenin farklı bir noktadan çekilmiş ikinci bir fotoğrafının yardımı olmasıyla elde edilmektedir. Eğer stereo değerlendirme yöntemi kullanılacaksa, çekim esnasında stereo görüş için gerekli durumların sağlanması gerekmektedir. Bununla birlikte iki fotoğrafın çekim noktası arasındaki baz

uzunluğuyla iki fotoğrafın arasındaki alım mesafesinin oranı belirli sınırlar dahilinde olmalıdır.

Stereo değerlendirme yöntemlerinde, fotoğraf alımında normal alım yöntemi kullanılmalıdır. Bununla yanında, kullanılan yazılımların ve kullanılan donanımların belirli özelliklerine göre eğik ve dönük alımlar yapılabilir. Stereo değerlendirme yönteminde bir diğer husus karşılıklı yöneltmedir. Değerlendirmede fotoğraf çiftlerinin karşılıklı yöneltmesi yapılmalıdır. Karşılıklı yöneltmenin hesaplanması için bağlama noktalarına ihtiyaç duyulur. Modellemenin mutlak yöneltmesinin yapılabilmesi için model alanında en az üç, modelin köşelerine dağılmış halde bulunan dört adet üç boyutlu koordinatları bilinen (X,Y,Z) kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır (Yastıklı, 2010).

3.5.3 Sayısal Ortofoto

Ortofotolarda eğiklik, dönüklük ve yükseklik etkileri olmaksızın, eğiklik, dönüklük ve yüksekliğe bağlı yönler giderilmiştir. Ortofotolarda ölçekleme yapılmıştır. Bir haritanın geometrik niteliklerine sahip yeniden değerlendirilmiş bir fotoğraf, görüntü kesiti olarak tanımlanabilmektedir. Bilişim teknolojisindeki ve bilgisayar alanındaki gelişmelere bağlı olarak fotoğrafın fotogrametrik yöntemlerle, araç gereçlerle ve çeşitli tarayıcılar vasıtasıyla taranarak sayısal hale getirilmesi ile birlikte gelişen sayısal fotogrametri yöntemi ile ortofotoları sayısal olarak üretilmektedir. Sayısal ortofotoları genel olarak tek hava fotoğrafından üretilebilmektedir. Fotoğraf uçuşu için genellikle pafta ortası planlanır. İzdüşüm merkezi yaklaşık olarak pafta ortasına gelecek şekilde uçuş planlaması yapılır. Enine ve boyuna bindirmeler olmaktadır. Enine ve boyuna olan bu bindirmeler genellikle fotogrametrik harita üretiminde olduğu gibidir. (Yastıklı, 2011), (Yastıklı, 2005).

3.5.4 Stereo Görüş Olmadan Birden Fazla Fotoğraf Yardımıyla

Değerlendirme

Farklı açılardan çekilmiş olan görüntülerle, bindirmeli şekilde elde edilen, birçok fotoğrafın aracılığıyla stereo görüş olmadan da değerlendirme çalışmaları yapılabilmektedir. Bu konudaki esas fikir ve ana hatlarıyla beklenen mantık, fotoğraflarda üç boyutlu olarak koordinatları belirlenecek olan her bir nokta koordinatlarının en az iki fotoğrafta yapılan ölçülerle kestirilmesidir. Elde edilen bu fotoğraflar konvergent olarak çekilmiş olan bindirmeli fotoğraflardır.

Fotoğraflara ait olan dış yöneltme elemanları ışın demetleriyle yapılan dengeleme yöntemi sayesinde belirlenir. Kullanılan yazılımlarla, dengelemedeki parametreler ile iç yöneltme elemanları da belirlenmektedir.

Bu mantıkla çalışan paket programlara örnek olarak;

- PhotoModeller,
- CDW,
- PICTRAN
- PHIDIAS yazılımları verilebilir.

3.6 Yersel Fotogrametride İş Adımları

Yersel fotogrametri yöntemi ve sayısal tek fotoğraf değerlendirilmesi birlikte kullanılarak, stereo değerlendirme, sayısal ortofoto, stereo görüş olmadan birden fazla fotoğrafla değerlendirme yöntemleri kullanılarak 2 boyutlu ya da 3 boyutlu rölöveler mozaikler, kesitler ve ortogörüntüler oluşturulmaktadır.

3.7 Kamera Kalibrasyonu

Fotogrametrinin temel amacı cisimlerin şekilsel, fiziksel, konumsal yönlerden, kaydedilen fotoğrafların değerlendirilerek analiz edilmesini sağlamaktır. Bu analiz ve amaçların yerine getirilmesi için çeşitli ölçüm ve farklı yöneltme işlemleri yapılmaktadır. Bu amaçla kullanılan algılama sistemi ya da kameranın geometrisinin bilinmesine ihtiyaç duyulur (Cramer, 2003; Fraser, 1997; Karşlı ve Ayhan, 2005; Lagüela, vd., 2011; Luhnmann, vd., 2010; Taşdemir, vd., 2009; Yıldız, vd., 2005). Bu durum klasik fotogrametrik yaklaşımda, kameranın odak uzaklığı, izdüşüm merkezinin konumunun bir deyişle iç yöneltme elemanlarının belirlenmesi olarak ifade edilmektedir. İç yöneltme elemanlarının bilinmemesi ve görüntülerin üzerinde çerçeve işaretlerinin olmaması gibi nedenlerden dolayı fotogrametrik açıdan sayısal kameralar, metrik olmayan kamera olarak isimlendirilmektedir. Bu kameraların metrik distorsiyonunu etkileyen sistematik bozulmalar olabilmektedir. Bunlar mercekle distorsiyonu, alıcı (sensör) düzlemi deformasyonu, elektronik transfer hataları olarak sıralanabilmektedir. Kameraların bu ve bunun gibi eksik yönlerinin, hataların belirlenmesi ve onarılması gerekmektedir. Fotogrametrik nokta belirlenmesi için iç yöneltme elemanları bilinmelidir. İç yöneltme elemanları aracılığıyla

cisim noktalarının koordinatları elde edilir. Kalibrasyon sayesinde cisim koordinatlarına ulaşılır ve iç yöneltme elemanları bulunur.

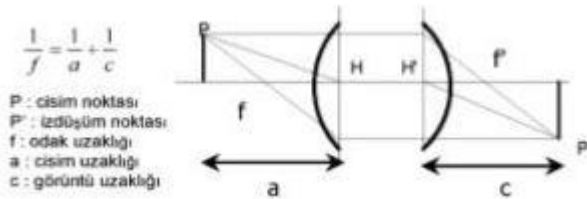
Algılama sistemlerinde, fotoğraf makinesinin mercek distorsiyonlarının belirlenmesi şu yönleriyle önemlidir. Bunlar;

- konum,
- şekil,
- boyut
- koordinat doğruluğu

Fotoğraflar iki boyutlu görüntülerdir. İki boyutlu görüntüler yardımıyla üç boyutlu bilgiye ulaşabilmek için bazı şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Üç boyutlu ölçüm ve değerlendirme yapabilmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bu yöntemlerde iç yöneltme elemanları ve distorsiyon hatalarından oluşan kamera kalibrasyon parametrelerinin bilinmesi ve söz konusu objenin az iki farklı noktadan görüntüsünün kaydedilmesinin sağlanması gerekmektedir. (Remondino ve Fraser, 2006)

3.7.1 Kameraların Optik Temelleri

Objektiften a kadar uzakta bulunan bir nesnenin görüntüsü, yine objektiften itibaren c kadar uzakta bulunan bir düzlemde oluşuyorsa mercek denkleminde Şekil 3.1'deki gibi oluşur (Yastıklı, 2010).



Şekil 8. Mercek sisteminde görüntü oluşumu

Fotogrametride nesnenin objektife uzaklığı a, f odak uzaklığına göre çok büyüktür ve bu nedenle $a = \infty$ alınabilir. Fotogrametride net görüntünün oluştuğu yer odak düzlemidir. Bu sebeple hava kameralarında f odak uzaklığı yerine c görüntü uzaklığı diğer bir deyiş ile asal uzaklık alınır. Fotogrametrik kameralarda mercek sistemini birçok sayıda mercek meydana getirir. Sistem çok sayıda merceğin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Nesne ve fotoğraf

uzayındaki izdüşüm merkezi sayısı ikidir. Buradaki iki nokta tek izdüşüm merkezini oluşturur. Bu şekilde ifade edilmesinin sebebi ışının optik eksenle yaptığı açıdan kaynaklanmaktadır. Açının çıktıktan sonra da aynı şekilde kalmalıdır. Bu koşul ile görüntü oluşabilir.

Mercek kusurları;

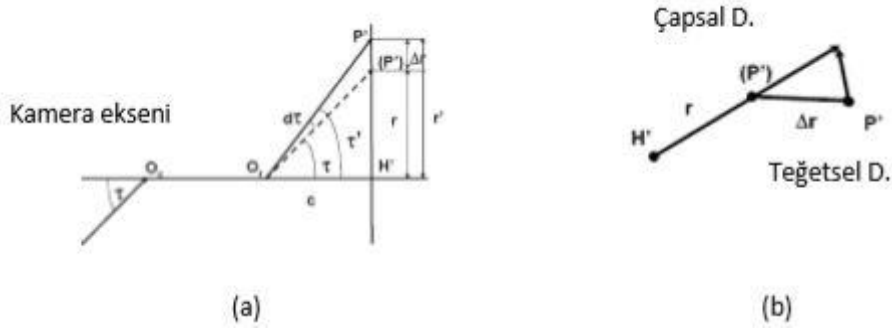
- Eksene yakın bölgededir, farklı yükseklikten merceğe gelen ışınların iz düşümünden olan kusurlar; Küresel aberasyon,
- Eksenin uzağında bulunan bölgelerdeki izdüşümünden ortaya çıkan kusurlar; Koma, Astigmatizm, Görüntü alanının eğriliği, Distorsiyon,
- Farklı dalga boyundaki ışık için; Kromatik veya renksel aberasyon şeklinde sıralanabilir.

Distorsiyon, görüntü geometrisini etkileyen hatalardandır. Görüntü geometrisi koordinat doğruluğunu etkilediğinden hesaplanması gereken değerler distorsiyon değerleridir (Yastıklı, 2010).

3.7.2. Distorsiyon Hatası

Kameralardaki mercek sistemleri çeşitli merceklerden oluşmaktadır. Tek mercek değil birden çok sayıda merceğin bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Mercek sistemindeki hatalardan kaynaklı obje üzerinde bulunan bir P noktasının, fotoğraf üzerindeki izdüşümü olması gerektiği yerden farklı bir yerde oluşmaktadır. P noktasından gelen ışın, kamera eksenini ile τ açısı yaparken kamera objektif sistemindeki kusurlardan dolayı fotoğraf uzayında τ' açısı yaparak çıkmaktadır. Buna bağlı olarak P noktasının görüntüsü, P noktası yerine olması gerekenden Δr kadar değişik bir konumda P' noktasında oluşacaktır ve bu fark kamera distorsiyon hatası olarak tanımlanır. Kamera kalibrasyonu ile distorsiyonun fotoğraf üzerinde yapılan ölçülere etkisi belirlenmektedir. Kamera kalibrasyonu sayesinde belirlenen distorsiyon değerleri kullanılarak fotoğraf koordinatları revize edilir. (P') ve P' noktasını birleştiren Δr doğru parçası vektörel bir hatadır.

(Şekil 9 (a)). Bu çap ve teğet yönünde iki bileşene ayrılabilir. Çap yönünde (r yönünde) olan bileşenine çapsal (radyal) distorsiyon, diğerine de teğetsel distorsiyon denir



Şekil 9. Distorsiyon Hatası (a) Teğetsel ve Çapsal Distorsiyon (b)

Distorsiyonsuz izdüşüm, $r = c \cdot \tan \tau$ fonksiyonu ile elde edilir. Bu da görüntü izdüşümü olarak adlandırılır. Teorik ve teknik sebeplerden kaynaklı distorsiyonsuz objektiflerin yapımı imkansızdır. Bu nedenle gerçek fiziksel izdüşümün görüntü fonksiyonu $f(\tau)$ ile teorik görüntü fonksiyonu $r = c \cdot \tan \tau$ arasındaki fark distorsiyon nedeni ile doğan Δr sapmasıdır. Bu sapma; $\Delta r = r' - r = r' - c \cdot \tan \tau = f(\tau) - c \cdot \tan \tau$ dir. Fotogrametrik kameralarda distorsiyon hatasının minimum olması istenir. Hatanın minimum olması istendiğinde belirli çalışmalar yapılmalıdır. Alınan önlemlere rağmen yine hatalar ortaya çıkacaktır. Metrik kameraların çalışma prensibinde, laboratuvar ortamında değerlendirilen ölçmeler aracılığıyla kameranın farklı durum ve koşullara göre distorsiyonu hesaplanmaktadır. Bu durumlar raporlarla kullanıcılara sunulur. (Yastıklı, 2010)

Nesnelerin fotoğraflar üzerindeki iz düşümünü distorsiyon hataları etkilemektedir. Bunun için fotoğraf koordinatlarının değişmesinin sonuç olarak, fotoğraf düzleminde ölçek değişimine sebep olmaktadır. Bu değişim iki şekilde gerçekleşmektedir. İlk değişimde ölçek, izdüşüm düzleminin kenarlarına doğru artmaktadır. Bu duruma pozitif bir distorsiyon adı verilir. İzdüşüm ölçeğimiz kenara doğru azalıyor ise, distorsiyon negatif anlamına gelmektedir. (Yastıklı, 2010)

3.7.3. Işın Desteleri ile Dengeleme

Geometrik kamera kalibrasyon işlemiyle odak uzaklığını ve distorsiyon hatalarını meydana çıkarabiliriz. Termal ve sayısal kameraların kalibrasyon parametreleri de aynı şekildedir. Kalibrasyon işlemi genelde, laboratuvar ortamlarında ve özel olarak hazırlanan test objelerinin fotoğrafları kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sayısal ve termal kameralarla elde edilen görüntüleri analiz ederek fotogrametrik belgeleme yapılabilmektedir. Yapılan çeşitli çalışmalarının güvenilir bir biçimde gerçekleştirilmesi için geometrik kamera kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir (Yıldız, vd., 2005).

Fotogrametride konum belirlemede ve kalibrasyon metotlarında sıklıkla kullanılan yöntem ışın desteleri ile dengelemeye ek parametreler dahil edilmesidir (Remondino ve Fraser, 2006).

Işın desteleri ile dengelemede;

- kolinarite eşitlikleri,
- obje koordinatları,
- matematiksel model,
- ek parametreler,
- dış yöneltme elemanları

belirlenmektedir.

Fotoğrafta ölçülen her nokta için fotoğraf koordinatları belirlenir. Bu koordinatlar için de kolinarite eşitlikleri yazılır. Fotoğraf koordinatları için kolinarite eşitliği yazılmaktadır. Işın desteleriyle yapılan dengelemede, bindirmeli olarak çekilen fotoğraflar yardımıyla ölçülen bütün noktalarda kolinarite eşitlikleri yazılır. Yazılan kolinarite eşitlikleri bir bütün halindedir. Öncelikle bilinmeyenler kestirilir. Kolinarite eşitlikleri bilinmeyenlere göre doğrusal olmadığından, çözüm için doğrusallaştırma yöntemi kullanılmaktadır. Burada da 1. Derece Taylor serisi devreye girmektedir. 1. Derece Taylor Serisi'nin çözümü, en küçük kareler ilkesine (Gauss-Markov modeli) dayanmaktadır. Bu model oluşturulurken, bilinmeyenlerin yaklaşık değerlerine gereksinim duyulmaktadır. Yaklaşık değerler bilinmediği için çözüm iteratif şekilde gerçekleşmektedir. İterasyon işleminin sonlandırılması adına, farklı fotoğraflarda ölçülmüş olan fakat aynı olan noktaların koordinat değerleri hesaplanır. Hesaplanan bu değerler arasındaki farklar ve iterasyon sonunda kestirilen dış yöneltme elemanlarıyla bir önceki iterasyonda hesaplanan dış yöneltme elemanları arasındaki farklar kontrol edilir.

Kolinarite eşitliklerinin çözümünde fotoğraf koordinatlarına ve referans koordinat sistemindeki koordinatları bilinen kontrol noktalarına gereksinim duyulur. Ek parametreler yardımıyla iç yöneltme elemanlarının kestirilmesi, kontrol noktalarının bulunması sağlanmaktadır. Fotogrametrik belgeleme amaçlı kullanılan sayısal ve termal kameraların geometrik kalibrasyonunun yapılması gerekmektedir. Bu kalibrasyon 3 boyutlu test objesinin iyi bir şekilde tasarlanmasıyla gerçekleşmektedir. 3 boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının;

- uygun bir biçimde dağılmış şekilde bulunması,
- farklı farklı derinlik seviyelerine sahip olmaları,
- farklı açılardan çekilmiş olan fotoğrafların, kontrol noktalarının birbirini kapatmaması gerekmektedir. Üç boyutlu test objesindeki kontrol noktalarının koordinatlarının sağlıklı olarak analiz edilmesi bu etkenlere bağlanmaktadır. (McGlone, 2004)

Işın desteleriyle dengeleme sonucunda, birden fazla fotoğraf üzerinden ölçülen noktaların referans koordinat sistemindeki koordinatlarıyla kamera kalibrasyon parametreleri elde edilir.

3.7.4. Yönelmeler

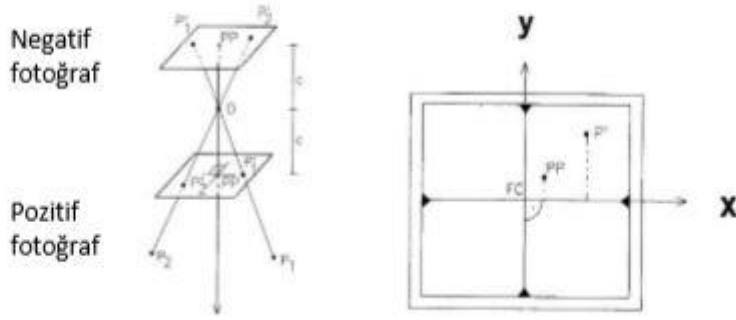
Fotogrametrik yöntemlerle cisimlerin şeklinin, büyüklüğünün ve konumunun belirlenmesi, bilinen iç yönelme elemanları belirlenen cisme ait olan ölçülen fotoğraf koordinatları yardımıyla, belirli yönelme aşamaları sonucu elde edilen dış yönelme elemanları kullanılarak yapılmaktadır.

3.7.5 İç Yönelme

İç yönelmede temel amaç, fotoğraf çekim anındaki ışın demetini tekrardan oluşturmaktır. Işın demetleri tekrar oluştuğunda, izdüşüm merkezine göre fotoğraf noktalarının konumu göz önüne alınarak cisim uzayındaki ışınların arasındaki açısal bağlantılar oluşmaktadır, oluşan bu bağlantılar da iç yönelmeyi temsil eder. Fotoğraf koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumunu ifade etmek için yönelmenin geometrik elemanları kullanılır. Fotogrametride iç yönelme elemanları; kameraların asal uzaklığı (c), asal noktanın konumu (x_0, y_0) olarak ifade edilir. Bu üç eleman, fotoğraf noktasından geçen izdüşüm ışınının doğru olarak konumlandırılmasını sağlamaktadır.

Net görüntünün oluştuğu fotoğraf düzleminin, izdüşüm düzlemine olan uzaklığı Asal nokta olarak tanımlanmaktadır. Asal noktanın konumunu belirlemek için, fotoğraf çerçeve işaretlerinin belirlendiği fotoğraf koordinat sistemine göre tanımlama yapılır. Fotogrametrik bir kamera ile çekilen bir fotoğrafla ölçünün gerçekleştirilmesi için izdüşüm parametrelerinin yani iç yönelme elemanlarının bilinmesi gerekmektedir (Yastıklı, 2010).

Afin dönüşümü fotoğraf asal noktasının tespitini sağlamaktadır. Fotoğraf asal noktasıyla elde edilen piksel koordinatlarından, fotoğraf koordinat sistemindeki koordinatlarına geçilmiş olur. Dönüşüm sonucu hatalar 10μ değerini aşmamalıdır.



Şekil 10. İç yöneltme elemanları ve fotoğraf koordinat sistemi

3.7.6. Dış Yöneltme

Dış yöneltme işlemi sayesinde bir stereo modeli oluşturan fotoğrafların fotoğraf çekim anında referans koordinat sistemindeki konumlarına getirilmesi sağlanmaktadır. Bunun için bir fotoğrafa ait üç öteleme ve üç dönüklük verisinin bilinmesine ihtiyaç duyulur. Dış yöneltme elemanları parametreleri, fotoğraf çekim noktasının X_0 , Y_0 , Z_0 koordinatları ve ışın demetinin üç dönme parametresi olan φ , ω , κ 'dır. Bu altı parametreye dış yöneltme elemanları olarak adlandırılmaktadır. Bir fotoğraf çiftinin iki ışın destesini uzayda konumlandırmak ve yönlendirmek için 12 tane dış yöneltme elemanları karşılıklı ve mutlak yöneltme aşamalarında çözülür (Yastıklı, 2010).

3.8. Çanakkale Şehri ve Troya Müzesi

Çanakkale Türkiye'nin kuzeybatısında kalan Marmara ve Ege Bölgeleri sınırları içerisinde kalan ilimizdir. Çanakkale yüzyıllar boyunca farklı kültürlerin egemenliğinde kalmış, onlara ev sahipliği yapmıştır. Mimarisinde ve yaşamda bu kültürlerin varlığının etkisini hissedebiliriz. Tarihi ve doğa zenginlikleri açısından oldukça zengindir. İl merkezinin çevresinin çoğu sit alanıdır. Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13'te Troya Müzesi'nin farklı bölümlerindeki farklı eserlerin görüntülerine yer verilmiştir.



Şekil 11. Troya Müzesi giriş kattaki eserlerin fotoğrafları



Şekil 12. Troya Müzesi'ndeki 13. ve 14. yüzyıla ait eserler



Şekil 13. Troya Müzesi iç kısım genel görünümü

3.8.1. Çanakkale İlinin Antik Tarihi

Dardanelles ve Hellespontos, Çanakkale ilinin bilinen en eski isimlerindedir. Dardanelles ismi Troya'nın mitolojik atalarından olan Dardanos'tan türetilmiştir. Antik Çağ'daki adlarından biri ise Hellespontostur, bu isim mitolojik kökenli bir isimdir. Antik çağ yazarları tarafından en çok işlenen öyküsü "**Altın Post**" mitolojik öyküsüdür. İki kıta arasında bir geçiş noktası olmanın yanında Doğu Roma, Bizans yani İstanbul'a deniz yoluyla ulaşmak, verimli Karadeniz'le ticaret yapmak için Akdeniz ülkelerinin; bir iç deniz olan ve açık denizlere ancak İstanbul ve Karadeniz boğazlarından geçerek ulaşılabilen Karadeniz ülkelerinin ilgisini çekmiştir her zaman.

Dardanos'la ilgili fazla buluntular yoktur fakat tarihinin Troya'dan önceye dayandığı düşünülmektedir. Uzun yıllardır süren kazılarda ortaya çıkarılan I. Troya'nın kuruluşu İ.Ö. 3000 yılında kurulan Troya 500 yıl sonra bir depremle yıkılmıştı, sonra defalarca yeniden kurulup yeniden yıkılacak Troya büyük bir uygarlık kurmuştur. Bölge birçok uygarlığa ev sahipliği yapmıştır, birçok uygarlık dönem dönem bölgeye egemen olmuştur. İ.Ö. V. yy'de bütün Anadolu'da Persler egemen olmuşlardır. İ.Ö. 386'da Persler ile Spartalılar arasında yapılan "Kral Barışı" ile bölgede Pers egemenliği iyice pekişmiştir. Roma ve Bizans dönemlerinde limanları ile önem kazanmıştır. Osmanlı'nın bölgede ilk ele geçirdiği yer Gelibolu olmuştur ve bundan sonra bölgede tamamen hakimiyet kurmuştur. ("Çanakkale Kültür ve Turizm Bakanlığı")

3.8.2. Troya Müzesi

Troya Müzesi, Çanakkale İlinin Merkez İlçesi'ne bağlı Tefikiye Köyü hudutları içinde yer almaktadır. UNESCO 1998 yılında Troya Antik Kentini Dünya Kültür Mirası Listesi'ne eklemiştir. Troya Müzesi de bu antik kentin girişinde yer almaktadır. Müzenin mimari yapısı 2011 yılında bakanlıkça başlatılan ulusal bir proje yarışması sayesinde ortaya çıkmıştır. Bu yarışmaya toplamda 132 proje katılmıştır. Birinciliğe layık görülen proje Ömer Selçuk BAZ'a ait olan eserdir. Proje süreci 1.5 yıl, inşaat süreci 6 yıl sürmüştür. Yapının büyüklüğü 1.500 metrekare büyüklüğündedir. Mimari tasarımı minimal, sade ve yalnızlık hissini uyandıran bir şekilde tasarlanmıştır. Ziyaretçinin kendiyle yalnız kalmasını isteyecek şekilde tasarlanmıştır, ziyaretçinin kendi algısıyla ve yorumlamasıyla baş başa olmasını sağlayıp kendi hislerine gönderme yapmasını sağlayacak bir yapıya sahiptir. Teşhirde yaklaşık olarak 6000'e yakın eser vardır.

Troya Müzesi 3 katlıdır ve modern bir yapısı vardır. Şu şekilde sıralanmıştır:

Kat: Troya'nın Katmanları

Kat: Antik Dünya

Kat: Kazı Tarihi

Katta Troyadaki teknolojinin gelişimi ve bunların katman ilişkilerine değinilmektedir. Teknolojinin gelişimi ve değışimi anlatılmaktadır.

Katta hem civardan çıkarılan hem de farklı yerlerden getirilen eserler sergilenmektedir. Helenistik Dönem ve Roma Dönemi anlatılmaktadır.

Katta Kazıların hangi aşamalardan geçerek müzeye geldiğiyle ilgili bilgiler alınabilir. Popüler kültür ve arkeoloji tarihi anlatılmaktadır.

Eserlerin çoğunluğu Çanakkale Müzesi'nin kendi envanterinden bir kısmı İstanbul Arkeoloji Müzesi'nden ve çeşitli müzelerden seçilerek yerini almıştır.

Müzenin en temel prensiplerden biri kopya ürün kullanmamaktır. Müzenin mimarisinde kullanılan malzemelerin ve malzeme ilişkilerinin gerçekliği, ziyaretçilerin müze içinde gezerken gördüğü ürünlerin orijinal olmaları çok önemlidir. Kopya ürün kullanmak yerine gelmesi beklenen eserlerin yerleri boş bırakılmıştır.

Müze ziyaretine en dış kapıdan girer girmez başlayabilmekteyiz. Bahçede bulunan lahitler ziyaretçileri karşılamaktadır. Ardından rampanın duvarlarında bulunan nişler Troya'nın farklı katmanlarını temsil edilir ve bu temsili canlandıracak şekilde sergilenir. Heykeller, lahitler, eskiden kullanılan takılar, o dönemde yemek yemek için kullanılan eski araç gereçler, ekonomik geçim yöntemleri, yönetim anlayışı ve sistemleri, sahne canlandırmalarıyla ve çeşitli fotoğraflarla anlatılır.

Eserler taş (mermer), heykel, lahit, yazıt, sunak, mil taşı, paleolitik balta ve kesiciler vb., pişmiş toprak seramikler, metal kaplar; altınlar, silahlar, sikkeler, kemik obje ve aletler, cam bilezikler, süs eşyaları, bardak, koku şişeleri, gözyaşı şişelerinden vb. oluşmaktadır.

Müze bahçesinde, peyzaj ile birlikte taş eserler de, lahit, sütun, steller, sütun başlıkları vb. bütünlük oluşturacak şekilde sergilenmektedir. Müzede diorama yani anlatılan hikayelerin çeşitli ışıklandırma yöntemiyle üç boyutlu olarak canlandırılması yapılmaktadır. Diorama dokunmatik ekran ve animasyonlar sayesinde gerçekleştirilmektedir. Çanakkale Arkeoloji

Müzesinde bulunan tüm eserler Troya Müzesine aktarılmıştır ve Troya Müzesinin açılışı resmi olarak 18.03.2019 tarihinde yapılmıştır.

3.8.3 Lahitler ve Çalışmada Kullanılan Lahitler

TDK'nın tanımına göre lahit, duvarları taş veya tuğladan, üstü taş bir kapakla örtülü mezardır. Sarcophagi (Sarcophagus) yani diğer bir deyişle lahit Antik Çağ'da insanların kendileri için yaptırdıkları, kişinin sosyo-ekonomik durumuna bağlı olarak, kişiden kişiye göre ebat ve süslemelerinde değişkenlik gösteren mezar yapısıdır. Günümüzde Müslümanlıkta kullanılmamaktadır fakat Hristiyanlık ve Musevilik'te yaygın olarak kullanılan çeşitli ağaçlardan yapılma tabut fikrinin Antik Çağ'da uygulanmış halidir.

Lahit ismi Assos dilinde Sarcophagi kelimesinden türemiştir bir kelimedir. Sarcophagi'nin kelime anlamı ise et yiyen taş demektir. Sarcophagi ise, Sarcophagus kelimesinin çoğul halidir (Gür, 2007; Hürmüzlü, 2008; Tokalak, 2016). Lahitler dönem olarak en çok Antik Çağ'da kullanılmaktaydı. Lahitler yaygın olarak taştan veya mermerden yapılmaktadır. Yapımı bölgede yaygın olarak bulunan ve kullanılan maddelere göre değişiklik gösterebilmektedir. Üzerinde çeşitli süslemeler ve kabartmalara yer verilmektedir. Antik Mısır'daki lahitlerde, lahitlerin üzerinde ölünün kabartmasının şekli işlenmekteydi. Antik Yunan'daki lahitlerdeyse dönemin tapınaklarını imgeleyen modellemeler yapılmaktaydı. Lahit üzerindeki kabartma, yontma, ince işlemelerin hepsi el ile işçiliğiyle dönemin heykeltıraşları tarafından gerçekleştirilir.

3.8.4. Lahit Tipleri

Genelde 3 farklı şekilde kullanıldığını görmekteyiz.

- 1) Lahit: Genelde tek kişilik yapılıdır. Kişinin sosyo-ekonomik durumuna göre süslemeleri ve el işçiliği değişkenlik göstermektedir. Kimisinde ölünün kabartmasına yer verilmektedir.
- 2) Oda Mezarlar: Büyük bir alanda birçok lahitin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Aynı aileye mensup kişilerin bir ev içinde bulunduğu varsayılarak oluşturulmuş toplu mezar odalarıdır.
- 3) Tümülüsler: Tümülüslerin en belirgin özelliği yığma topraktan yapılmasıdır. Yığma topraktan oluşan kubbenin içine yerleştirilmiş lahitlerden oluşmaktadır.

Tez çalışmamda, Troya Müzesi'nin bahçe kısmında bulunan 3 farklı lahit modellenmiştir. Bunlar 11312, 11313 ve 11315 numaralı lahitlerdir.

11312 Lahit Sarcophagus: Granit, Helenistik Dönem, M.Ö 3-2 yy. İznik, BURSA

11313 Lahit Sarcophagus: Granit, Helenistik Dönem, M.Ö 3-2 yy. İznik, BURSA

11315 Lahit Sarcophagus: Mermer, Roma Dönemi, M.S 3. yy. Lapseki, ÇANAKKALE



DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

ARAŞTIRMA BULGULARI

Tarihi ve kültürel miras özelliği taşıyan lahitlerin fotogrametrik belgelemeyle analizlerinin yapılması amacıyla, Mapır, Optris, Canon kameralar vasıtasıyla elde edilen görüntülerin proje alanında incelenmesine yer verilmiştir.

Tez çalışması Çanakkale Troya Müzesi'nde gerçekleştirilmiştir.

4.1. Çalışma Bölgesi ve Kullanılan Kameralar

Bu tez projesi çalışmasında kültürel mirasların, tarihi eserlerin ve arkeolojik kalıntıların modellenmesi ve metrik olarak ifade edilebilmesi için fotogrametrik yöntem ve teknikler kullanılmaktadır. Tez çalışması fotogrametrinin arkeolojik ve mimari alanıyla yakından ilişkili olacaktır. Bu alanlarda çalışma imkanını sunması açısından ve araştırmalar sonucunda proje amacına uygun olarak, kültürel eserleri oluşturan malzeme özelliklerini ve eserlerdeki değişimlerin karşılaştırılmasını inceleyebilmek için Troya Müzesi seçilmiştir. Troya Müzesi'nin farklı tarihsel dönemlerdeki ve çeşitli malzemelerden yapılmış eserleri bulundurması, çalışma alanı olarak seçilmesini sağlamıştır. Kültürel miras eserleriyle ilgili ikinci rapor döneminde analiz çalışmalarının yapılabilmesi için aşağıdaki faaliyetler gerçekleştirilmiştir:

- 1) Sayısal ve termal kamera ile görüntü alım işlemi için Troya Müzesinde 09.07.2021 tarihinde saha çalışması gerçekleştirilmiştir. Proje önerisinde bu çalışmaların Troya Müzesi'ndeki lahitler üzerinde gerçekleştirilmesi planlanmıştı ancak hangi lahitlerde çalışma yapılacağı belirlenmemiştir. Çalışmamıza başlamak için Çanakkale İl Kültür ve Turizm Müdürlüğünden; müze envanterine kayıtlı olan lahit ve benzeri eserlerden yalnızca dış teşhirde bulunan eserler üzerinde çalışılması, gerekli güvenlik önlemlerine riayet edilmesi, düzenin bozulmaması ve tez çalışması dışında başka amaçlarla kullanılmaması şartlarıyla gerekli izinler alındı. Müze müdürlüğü tarafından, kazı başkanı izni gerektirmeyen hak sahipsiz özellikli olanlar kullanımımıza sunuldu. Bu şartlar doğrultusunda çalışma yapmak üzere Şekil 14'te görülen 11312, 11313 ve 11315 numaralı lahitler seçildi.



Şekil 14. Canon EOS M200 kamera ile görüntülenen lahitler

- 2) Fotoğraf alım işleminden önce eserlerin çevresinde, yöneltme işlemlerinde kullanılması amacıyla kontrol noktaları tesis edilmiştir. Eserlere doğrudan temas etmemek adına kontrol noktalarının tesisi, eserlerin yakınlıklarına yerleştirilen miralar vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 15). Ayrıca miralar üzerinde otomatik nokta eşlemeye imkân tanıyan özel kodlu kontrol noktaları sabitlenmiştir.



Şekil 15. Miralar ve üzerinde sabitlenen kontrol noktaları

- 3) Yakın resim fotogrametrisinde görüntü alım yöntemleri farklı şekillerde gerçekleştirilebilmektedir. Yersel fotogrametride stereo değerlendirme yöntemi için tercih edilen yöntem normal alım yöntemidir. Bu yöntemde stereo model oluşturan fotoğrafların her ikisinin de alım eksenleri birbirine paralel ve baza dik durumdadır. Konvergent alım yönteminin normal alım yönteminden farkı, kamera eksenlerinin birbirine paralel olmamasıdır ve bindirmeli olarak çekilmiş fotoğrafların kamera eksenleri obje üzerinde bir noktada kesişebilir (Güler, 2013). Bu çalışmada normal ve konvergent yöntemler birlikte kullanılmıştır. Lahitlerin çekimi Canon EOS M200 (Red Green Blue), Mapir Multispektral (Orange Cyan NIR) ve Optris (Termal) kameralar ile gerçekleştirilmiştir. Kameraların özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

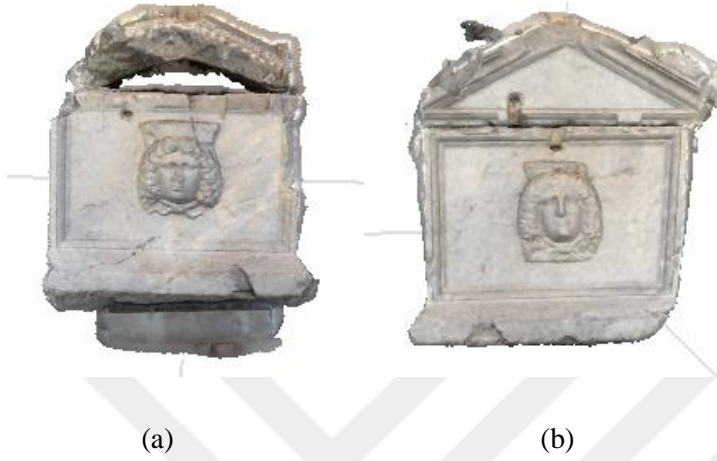
Tablo 1

Farklı spektral sensörlere sahip kameraların özellikleri

Kamera adı	Bant	Çözünürlük (piksel)	Spektral dalgaboyu aralığı (nm)
Mapir	Orange Cyan NIR	4000x3000	450-900
Optris	Thermal	382x288	8x10 ³ -14x10 ³
Canon	Red Green Blue	6000x4000	450-750

Görüntü alımından sonraki adım fotoğrafların değerlendirilmesi aşamasıdır. Yersel fotogrametri yönteminde nesne koordinat sistemi ile fotoğraf koordinat sistemi arasındaki ilişkinin sağlanması için farklı yaklaşımlar kullanılır. Sayısal fotogrametri yöntemi ile değerlendirme yöntemi, söz konusu objenin özellikleri, büyüklüğü, konumu, sonuç ürünün kullanım amacı ve beklenen doğruluk, kullanılacak yazılım ve donanım vb. birçok özelliğe bağlı olarak belirlenir. Fotogrametrik rölöve projelerinde pek çoğunda sonuç ürün genellikle 1/20 ya da 1/50 ölçekli rölöve çizimleridir. Projenin amacına göre sayısal ortofoto, sayısal yüzey modeli ve üç boyutlu yüzey modeli istenilen diğer sonuç ürünlerdir (Yastıklı, 2010). Fotogrametrik model oluşturulmasında karakteristik noktaların tespiti, bu noktaların eşlenmesi sağlanmıştır. Eşlenik noktalar yardımıyla demet dengelemesi kullanılarak model üretilmiştir. Eserlerin değerlendirilmesinde stereo modele dayalı 3B nokta bulutu, giydirilmiş model üretilmiştir. Ayrıca fotoğraf alım mesafesinin oranının belirli sınırlar içerisinde olmasına dikkat edilmiştir. Çekimden sonra elde edilen görüntüler öncelikle Lahit 11312, Lahit 11313, Lahit 11315 şeklinde gruplandırılmıştır. Sonrasında lahitlerin yüzeyleri Agisoft Metashape programı ile modellenmiştir. Agisoft Metashape, nokta bulutlarıyla görüntü üretme prensibiyle çalışır. Şekil 16 ve Şekil 17’de Lahit 11312’nin modellenmesiyle elde edilen görüntülere yer verilmiştir. Termal, RGB dijital kamera ve Mapir kamera verileri analiz edilmiştir. Dijital görüntülerde algılanamayan değişim ve hasarların tespiti için MAPIR görüntü işleme programı kullanılmıştır. MAPIR Kamera Kontrolü (MCC) açılır ve üst kısımdaki görüntüleyici sekmesine tıklanır. Görüntüleyici, normalde diğer fotoğraf tarayıcılarında

net olarak anlaşılmayan detayları incelememize olanak sağlar. Görüntülerin bant indekslerine dayalı incelenmesine olanak sağlar. Şekil 19’da görüldüğü gibi NDVI indeksiyle piksel değerine bağlı renk değişim aralığını gözlemleyebiliriz. Yüzey özellikleri çok sensörlü olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 16. Lahit 11312’nin (a) ve (b) kısa yüzeylerinin modelleri

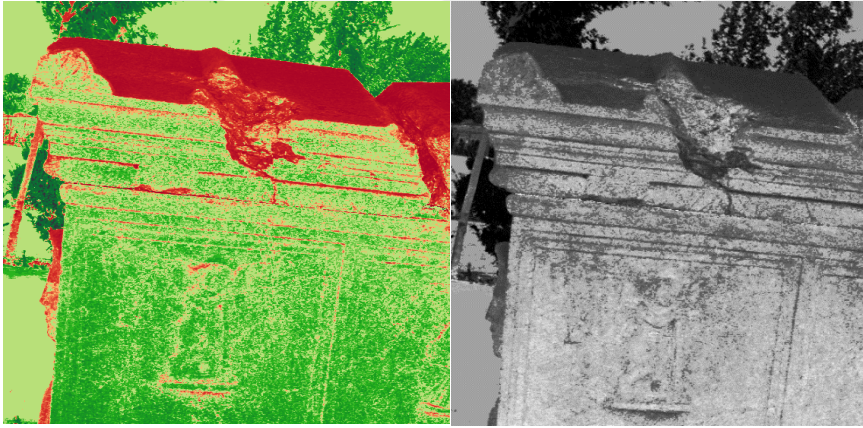


Şekil 17. Lahit 11312’nin (a) ve (b) uzun yüzeyleri



Şekil 18. Lahit 11313'ün Mapir görüntü işleme ile oluşturulan indeks

Çalışma kapsamında bir sonraki aşama öznitelik çıkarımıdır. Öznitelik sözlük anlamı olarak, nesneye ait ayırt edici özelliklerin fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. Öznitelik çıkarımı, görüntü içerisinde yer alan karakteristik özelliklerin belirlenen amaca uygun olacak şekilde elde edilmesidir. Şekil 19'da lahitin aynı bölgesinin farklı renk bantlarıyla analiz edildiği görüntülerin öznitelik çıkarımında sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılmıştır.



Şekil 19. Lahitin farklı renk bantlarıyla analizi

4.2. Görüntü Üretiminde Kullanılan Yazılım ve Programlar

Bu çalışmada Mapir, Optris ve Canon kameralar ile alınan görüntüler Agisoft Metashape yazılımında işlenmiştir. Agisoft Metashape yazılımı dijital görüntülerin fotogrametrik işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar, üç boyutlu mekansan veri üretimini gerçekleştirir.

Agisoft Metashape görüntü üretimi adımları şu şekildedir:

Ağisoft Metashape ile görüntü işlemede öncelikle dikkat edilmesi gereken husus, fotoğraf alımında kameraların düz açıda olmasıdır.

Workflow sekmesinden Add Photos ile çekilen fotoğraflar yazılıma aktarılır.

İkinci aşama olarak Workflow sekmesinden Align Photos seçilir. Burada Accuracy yani doğruluk seçeneği objenin detayına, bilgisayarın hızına göre seçilir. High, Medium, Low seçenekleri işlemin hassasiyetini ve doğruluğunu belirler. Tez çalışmamdaki modelleme kapsamında doğruluk “High” seçeneği ile gerçekleştirildi.

İşlem tamamlandıktan sonra nokta bulutları oluşmuş görüntü ekrana gelir. Selection komutu ile fazladan oluşan noktalar silinebilir. Workflow, Build Dense Cloud komutunu seçtiğimizde Quality(Kalite) ayarlaması için seçenekler çıkacaktır. Tez çalışmamda Quality seçeneği de “High” olarak belirlenmiştir. Hatalı çıkan kısımlar ve noktalar şeklin daha doğru, daha net olması için temizlenir. Workflow, Build Mesh ile doğruluk, kalite vb. gibi özelliklerin ayarı belirlenir. Workflow, Build Texture ile fotoğraf giydirmesi yapılır. Bu aşama tamamlandıktan sonra işlem tamamlanmış olur. İncelenen lahitler öncelikle eser numaralarına göre 11312, 11313 ve 11315 olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır.

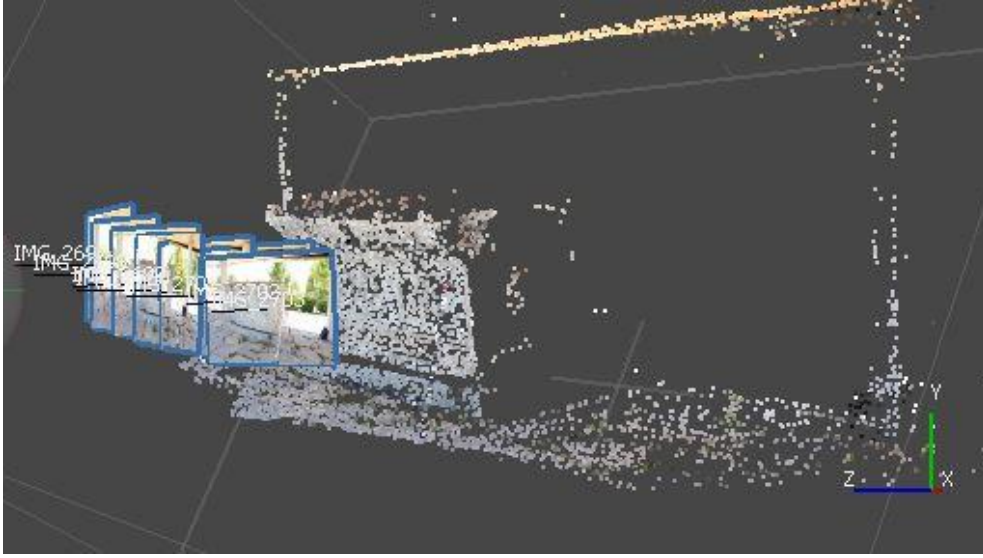
Her lahitin iki kısa ve iki uzun yüzeyi ayrı ayrı modellenmiştir ve her bir lahit yüzeyi Mapır, Optris ve Canon kamera vasıtasıyla çekilmiştir.

Lahit 11312 için Canon kamera ile elde edilen görüntüler 11312_canon klasöründe 312_c1_rgb, 312_c2_rgb, 312_c3_rgb, 312_c4_rgb,

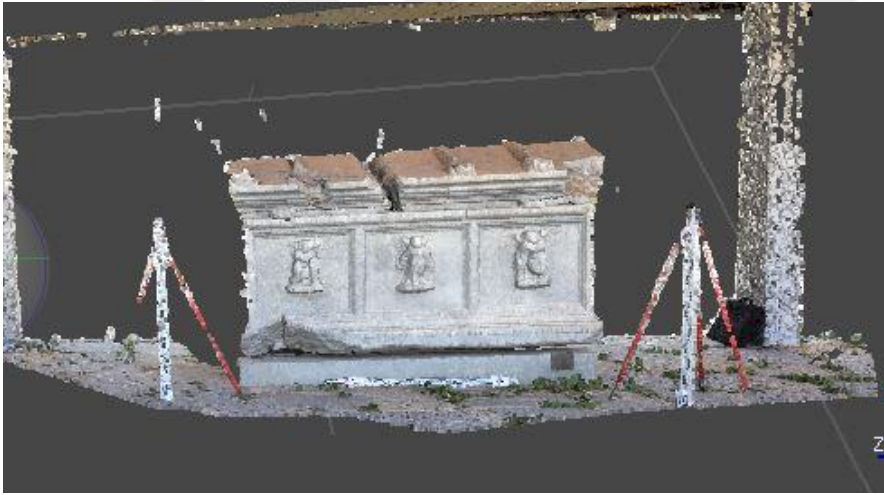
Lahit 11312 için Optris kamera ile elde edilen görüntüler 11312_mapır klasöründe 312_c1_multi, 312_c2_multi, 312_c3_multi, 312_c4_multi,

Lahit 11312 için Termal kamera ile elde edilen görüntüler 11312_termal klasöründe 11312_termal_1, 11312_termal_2, 11312_termal_3, 11312_termal_4 şeklinde sınıflandırılmıştır.

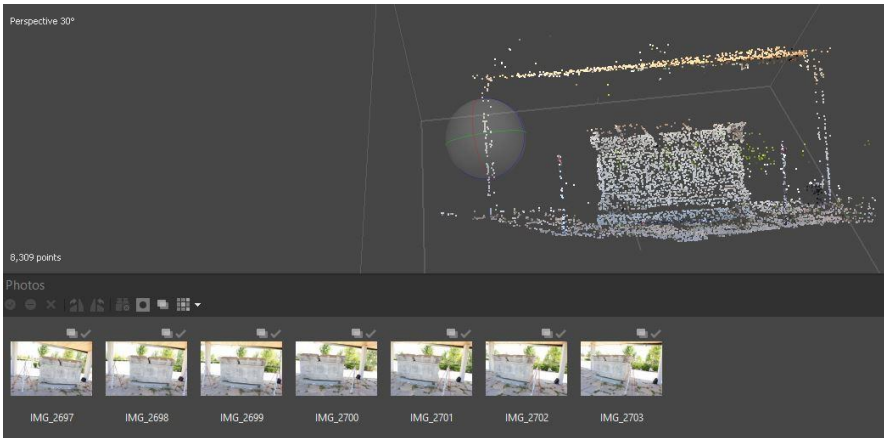
Bu sınıflandırma işleminin aynılarını Lahit 11313 ve Lahit 11315 için de gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin sonucu elde edilen görüntüler Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22, Şekil 23 ve Şekil 24’te gösterildiği gibidir.



Şekil 20. Lahit 11313'ün nokta bulutu



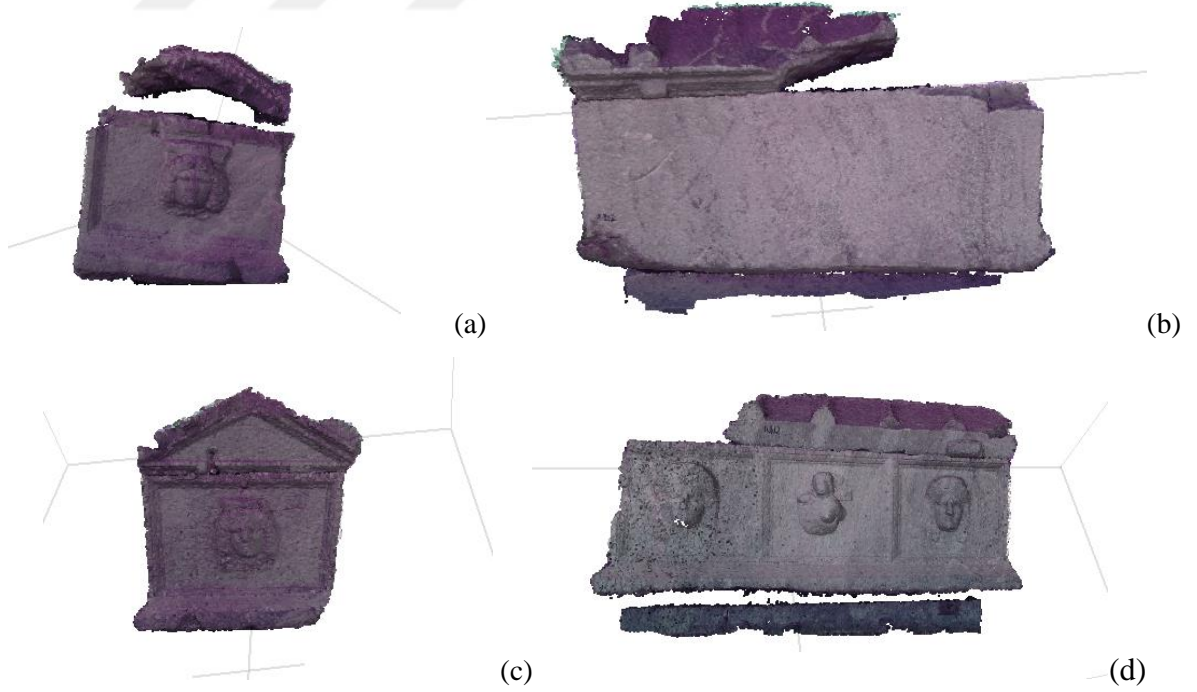
Şekil 21. Lahit 11313'ün Build Mesh işleminden sonraki görüntüsü



Şekil 22. Lahit 11312'nin uzun ön yüzeyinin modeli



Şekil 23. Modellenen Canon kamera görüntüleri



Şekil 24. Modellenen Mapir kamera görüntüleri

Elde edilen bu görüntülerin her bir cephesi Python yazılım dilinde belirli kodlar aracılığıyla değerlendirilmiştir.

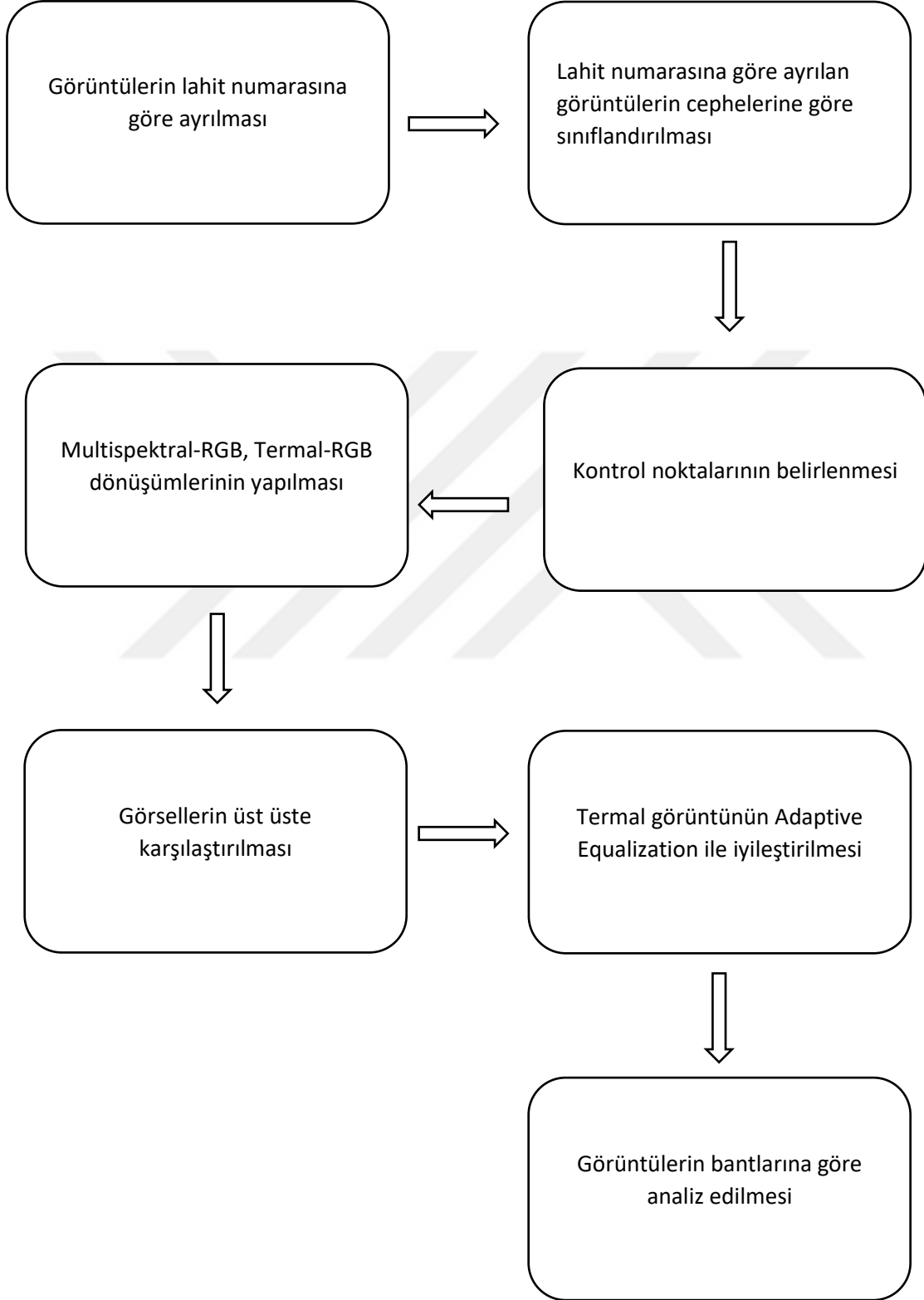
11312 numaralı lahit üzerinden yapılan çalışma ve elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Python yazılım dilinde yapılan kodlamalar sayesinde görüntüler cephe cephe ayrılarak, bu görüntülerin modellerinin oluşturulması ve Optris, Mapır, Canon kameralarla elde edilen görüntüler arası dönüşüm yapılması sağlanmıştır. Cepheler üzerinden kontrol noktaları belirlenerek dönüşümün yapılması sağlanmıştır.



4.3. Python ile Görüntü Elde Etmede İş Akışı

İş akış şeması Şekil 25'teki gibidir.



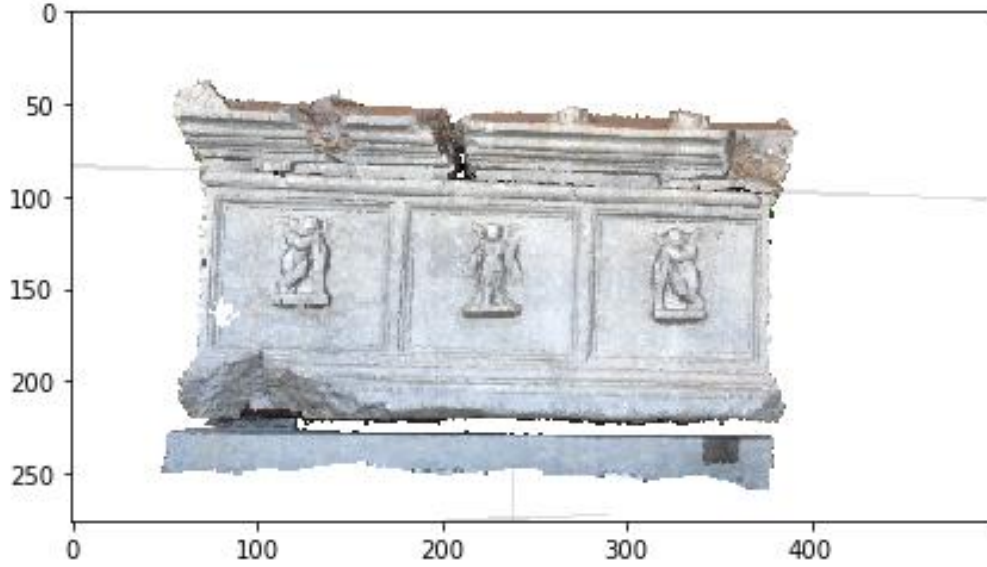
Şekil 25. Python İş Akışı

Görüntüler öncelikle lahit numarasına göre ayrılır ve lahit numaralarına göre klasör oluşturulur. Lahit numarasına göre ayrılan bu görüntüler daha sonra c1, c2, c3 ve c4 olmak üzere cephelerine göre adlandırılır.

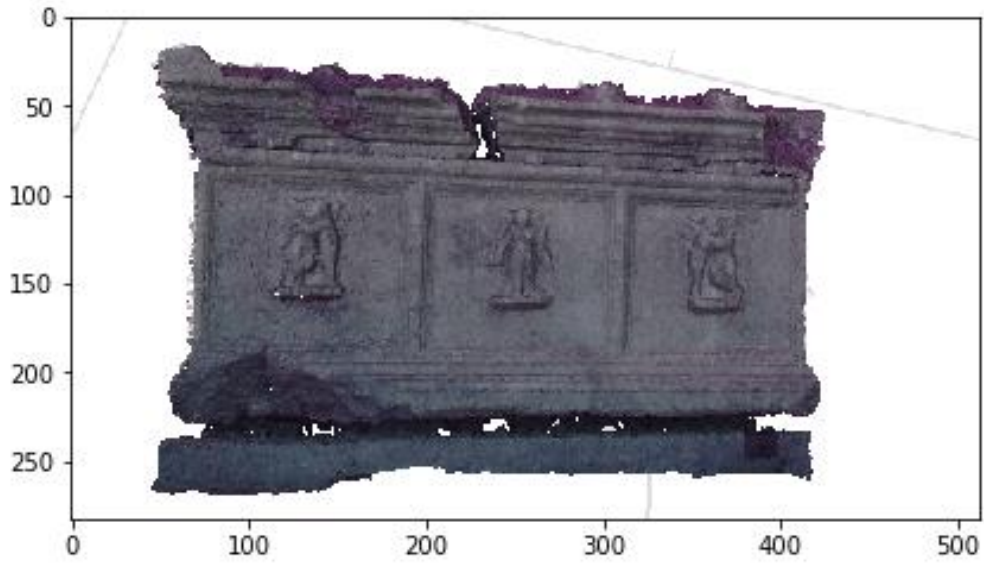
Lahitlerin her bir yüzeyi için Canon, Mapır ve Termal kameraların Agisoftta modellenmesiyle oluşan görüntüler elde edilmiştir. Bu görüntülerin birlikte değerlendirilmesi Python yazılım dili aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Agisofttan elde edilen PNG uzantılı RGB görüntü, termal görüntü, Multispektral görüntü olarak tanımlanan dosyalar ilgili konumdan ilgili dosya adıyla seçilir.

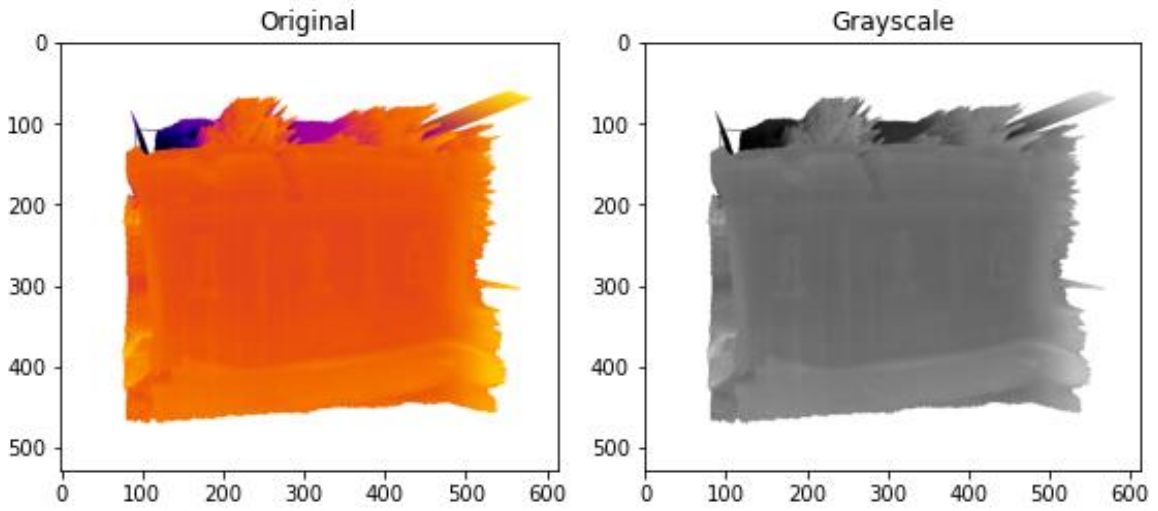
Python yazılımında sırasıyla RGB renkli, multispektral görüntü gösterilir. Ardından termal renkli ve gri tonlu görüntü birlikte gösterilir.



Şekil 26. Lahit 11313'ün RGB görüntüsünün Python'da gösterilmesi



Şekil 27. Lahit 11313'ün Multispektral görüntüsü



Şekil 28. Lahit 11313'ün termal renkli ve gri tonlu gösterimi

Multispektral ortofotonun RGB ortofoto koordinat sistemine dönüşümü yapılır. Bu dönüşüm için RGB, termal ve multispektral görüntülerin paint üzerinden ortak kontrol noktaları belirlenir.

Paint vasıtasıyla kontrol noktaları elde edilmiştir. Örneğin 11313 nolu lahitin c1 yüzeyinin çekimi için Canon, Mapır ve Termal kameralar kullanılmıştır. Bu kameralarla elde edilen görüntüler Agisoft aracılığıyla modellenmiştir. Oluşan modellerin üst üste bindirilmesi için kontrol kontrol noktalarına ihtiyaç vardır. Bu kontrol noktalarını belirlerken c1 için oluşturulan 3 farklı kamerayla elde edilen görüntülerin ortak noktaları paintte

belirlenmiştir. Belirlenen bu kontrol noktaları Python’da Multi-RGB, Multi-Termal dönüşümü sağlamaktadır. Her cephe için ayrı ayrı 4 kontrol noktası belirlenmiştir.



Şekil 29. Lahit 11313’ün c1 numaralı cephenin RGB kontrol noktaları



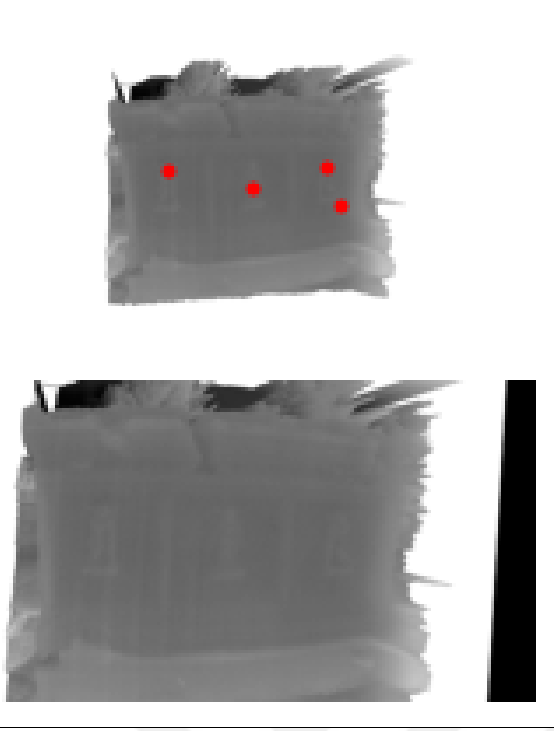
Şekil 30. Lahit 11313’ün c1 numaralı cephenin Multispektral kontrol noktaları



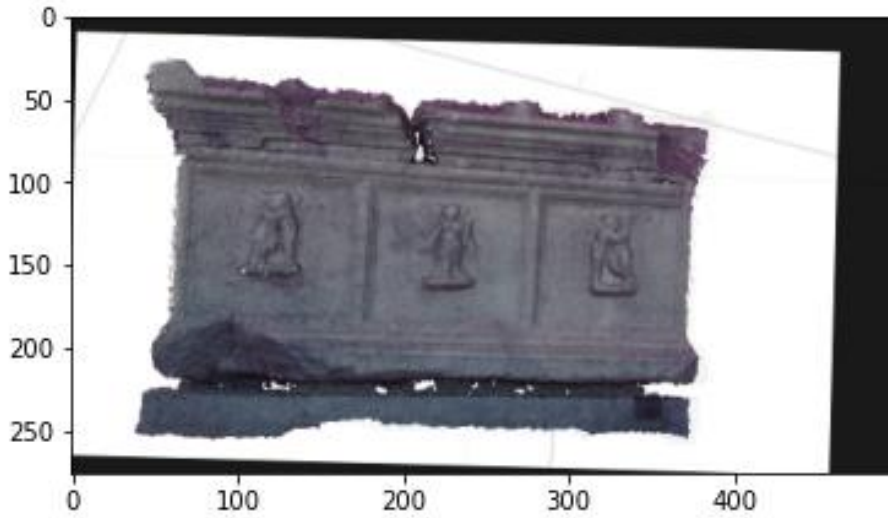
Şekil 31. Lahit 11313'ün c1 numaralı cephesinin Termal kontrol noktaları



Şekil 32. RGB ortofoto-Multispektral ortofoto dönüşümü



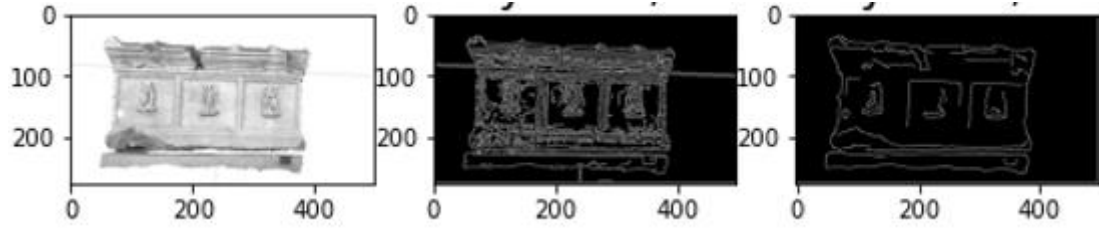
Şekil 33. RGB ortofoto-Termal ortofoto dönüşümü



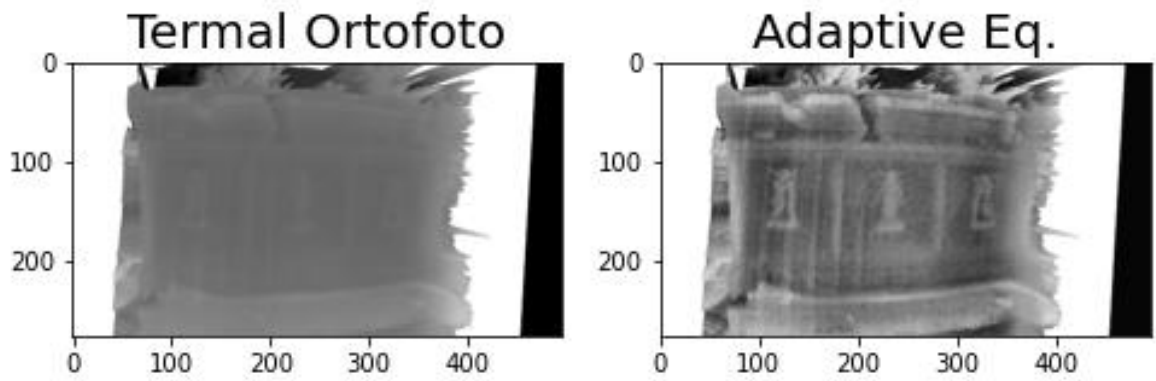
Şekil 34. Görüntülerin üst üste karşılaştırılması

RGB ortofotonun Canny Edge Detection (Kenar Algılama) işlevi ile analizi yapılır. Canny Edge Detection kenar algılama algoritmasıdır. Kenarlardaki detayların çıkarımı yapılırken farklı sigma değerleri kullanılarak karşılaştırma yapılır. Sigma değeri 3 olduğunda gürültü azalmıştır. Gerekli ayrıntılar daha sade ve belirgin şekilde sonuçlanmıştır.

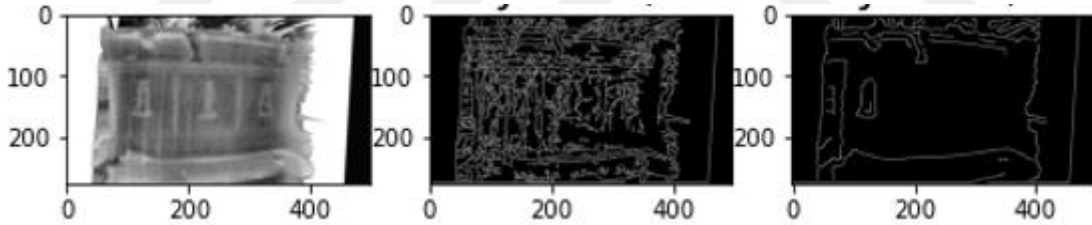
Sigma değeri 1 olduğunda elde edilen model daha karışık ve sadelikten uzaktır.



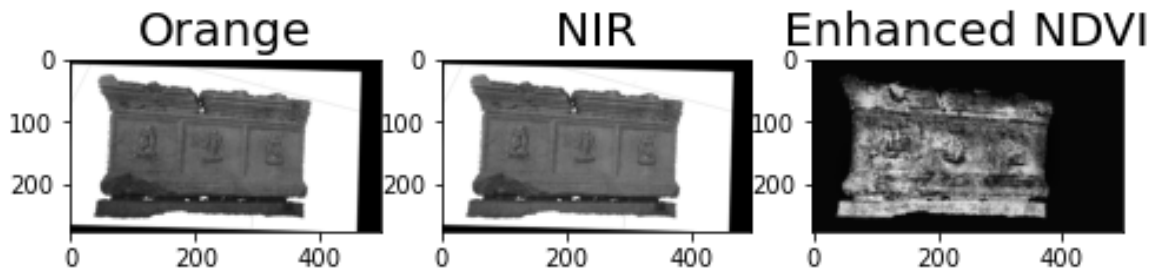
Şekil 35. Lahit 11313'ün RGB görüntüsünün Kenar Tespit işlev analizi



Şekil 36. Lahit 11313 için Adaptif Eşitleme yöntemi ile iyileştirme



Şekil 37. Lahit 11313'ün Kenar Tespit yöntemi ile çıkarım



Şekil 38. Multispektral fotoğraf için NDVI

Diğer lahit ve lahit cephelerine ait Python sonuçları EK-1 ve EK-11 arasında yer almaktadır.

BEŞİNCİ BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Yapılan Çalışmanın Değerlendirilmesi ve Geleceğe Olan Katkısı

Bu tez çalışmasında, termal kameralar ve sayısal kameraların birlikte kullanımı ile tarihi Çanakkale Troya Müzesindeki lahitlerin nem, aşınım, çeşitli çözünmeler, sıcaklığa ve güneş ışığına bağlı olarak oluşan değişimlerle yüzeylerde meydana gelen çeşitli problemlerin oluşturduğu değişikliklerin görüntü sınıflandırma, modellemeye dayalı olarak belgelenmesinin olanakları araştırılmıştır. Bu araştırmanın yapılması farklı kameralarla yapılan çekimlerle sağlanmıştır. Farklı sensörlü kameraların kullanılması çeşitli detayların farklı yönlerden analiz edilmesini sağlamıştır. Python yazılımında termal kameraların kullanımı kenar algılamanın daha detaylı yapılmasını kolaylaştırmıştır. Lahitleri incelerken daha fazla ayrıntıya ulaşmamızı sağlamıştır. Görüntülerin üst üst bindirilerek bantlara göre modellenmesiyle oluşan modeller yüzeylerdeki girinti, çıkıntıları, yüzey değişikliklerini incelememize olanak sağlamıştır.

Sayısal ve termal kameraların birlikte kullanımı ile tarihi ve kültürel sanat eserlerinde nem, yalıtım, sıcaklık, genel olarak ifade edilecek olursa doğal ve beşeri unsurlarla oluşan problemler sebebiyle meydana gelen etmenler sonucu oluşan değişimlerin görüntü sınıflandırma, modelleme işlemlerinin belgelenmesini sağlamıştır.

Çalışmalar Çanakkale Troya Müzesi'nde bulunan 11312, 11313 ve 11315 numaralı lahitler vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Lahitlerin çeşitli etkiler altında yıllarca çeşitli değişikliklere maruz kalması sebebiyle çalışmalarımıza yol göstereceği ön görülmüştür. Bu ön görü sayesinde hedef çalışma objeleri olarak seçilmişlerdir. Bu amaçla, eserlerin her bir yüzeyinden fotoğraf alımları sayısal ve termal kameralarla gerçekleştirilmiştir.

Sayısal ve termal kameraların birlikte kullanımı tarihi ve kültürel miras özelliğine sahip olan yapılarda çeşitli sorunları analiz edilerek bunu oluşturan sebeplerin gelecekte yapıya zarar vermesi ve telafisi imkansız olan bazı hasarların önlenmesini sağlayacaktır. Önerilen yöntemler ve çalışmalarla kültürel ve tarihi sanat eserlerinde meydana gelen hasarlar bundan sonraki restorasyon çalışmalarında ortaya çıkacak büyük bir maddi yükün önüne geçilmesini sağlayarak, sanat eserlerine doğrudan teması gerektirmeden de çalışmaların yapılmasını sağlayacaktır. Çeşitli konularda çalışmalardaki iş yükünü de

hafifleterek maddi yükün önüne geçilmesini sağlayarak, bu şekilde ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.



KAYNAKÇA

- Cramer, M., (2003). "Euro SDR Project Digital Camera Calibration". Presentation of project proposal, Institut für Photogrammetrie, 103rd EuroSDR Science and Steering Committee Meetings, München, Germany.
- Çanakkale Kültür ve Turizm Bakanlığı (2020) Erişim: <https://canakkale.ktb.gov.tr/TR-70468/tarihce.html>)
- Duran, Z, (2004). Tarihi Eserlerin Fotogrametrik Olarak Belgelenmesi ve Coğrafi Bilgi Sistemlerine Aktarılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fraser, C.S., (1997). "Digital Camera Self- Calibration". The University of Melbourne, Parkville, Vic. 3052, Australia, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 52: 149-159.
- Grinzato, E., (2012). "IR Thermography Applied to the Cultural Heritage Conservation", 18th World Conference on Nondestructive Testing, 16-20 April 2012, Durban, South Africa
- Gür, S. "Anadolu Uygarlıkları ve Antik Kentler", Alfa Yayınevi, İstanbul, 2007. Hürmüzlü, B. "Eski Yunan'da Ölü Gömme Gelenekleri", Türk Eskiçağ Bilimleri Enstitüsü, 2008, Tokalak, İ. "Bizans Osmalı Sentezi", Asi Kitap, İstanbul, 2016)
- Karslı, F. ve Ayhan, E., (2005). "Orta ve Yüksek Çözünürlüklü Dijital Kameraların Metrik Performanslarının Belirlenmesi", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Lagüela, S., González, H., Armesto, J. ve Arias, P., (2011). "Calibration and verification of thermographic cameras for geometric measurements", Infrared Physics & Technology 54: 92–99
- Luhnmann, T., Ohm, J., Piechel, J. ve Roelfs, T., (2010). "Geometrik Calibration of Thermographic Cameras", International Archives of Photogrammetry, Remote

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

McGlone, J.C., (2004). "Manuel of Photogrammetry Fifth Edition", ASPRS, ISBN 1-57083-071-1, 652, 653.

Önen, N. T., & Akçay, B. G. A. (2017). Phaselis Teritoryumunda Tespit Edilen Lahitlerin RTI Metodu Işığında Arkeolojik ve Epigrafik İncelemeleri.

Remondino, F. ve Fraser, C., (2006). "Digital Camera Calibration Methods Considerations and Comparisons", ISPRS Commission V Symposium 'Image Engineering and Vision Metrology', Commission V, WG V/1.

Rizzi, A., Voltolini, F., Girardi, S., Gonzo, L. ve Remondino, F., (2007). "Digital Preservation, Documentation And Analysis Of Paintings, Monuments And Large Cultural Heritage With Infrared Technology, Digital Cameras And Range Sensors", XXI International CIPA Symposium, Athens, Greece.

Taşdemir, Ş., Ürkmez, A, Yakar, M. ve İnal, Ş., (2009). "Sayısal Görüntü Analiz İşleminde Kamera Kalibrasyon Parametrelerinin Belirlenmesi", 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük

Yastıklı, N., (1). "Ortofoto Ders Notu", YTÜ, İstanbul.

Yastıklı, N., (2005). "Sayısal Fotogrametri ve Yersel Lazer Tarayıcılar İle Belgeleme ve Üç Boyutlu Modelleme", TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart - 1 Nisan, Ankara.

Yastıklı, N., (2010). "Fotogrametrinin Temelleri Ders Notu", İstanbul.

Yastıklı, N., (2010). "Yersel Fotogrametri Ders Notu", YTÜ, İstanbul.

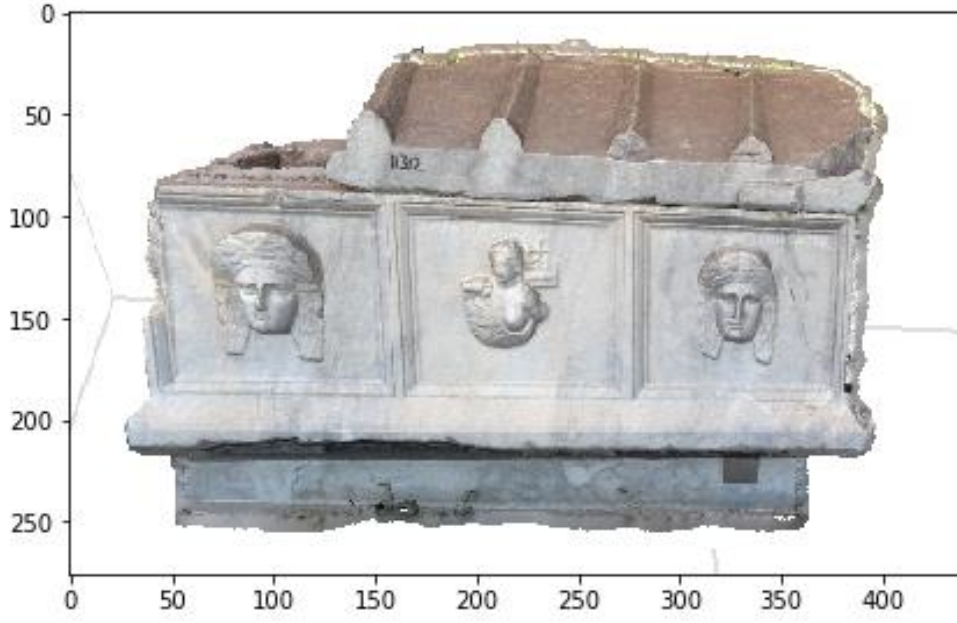
Yıldız, F., Karabörk, H., Yakar, M. ve Yılmaz, H.M., (2005). "Yersel Fotogrametride Kullanılan Metrik Olmayan Dijital Kameraların Kalibrasyonunda Kullanılan Yazılımların İncelenmesi Üzerine Bir Çalışma", Harita Dergisi, 134: 61-70.

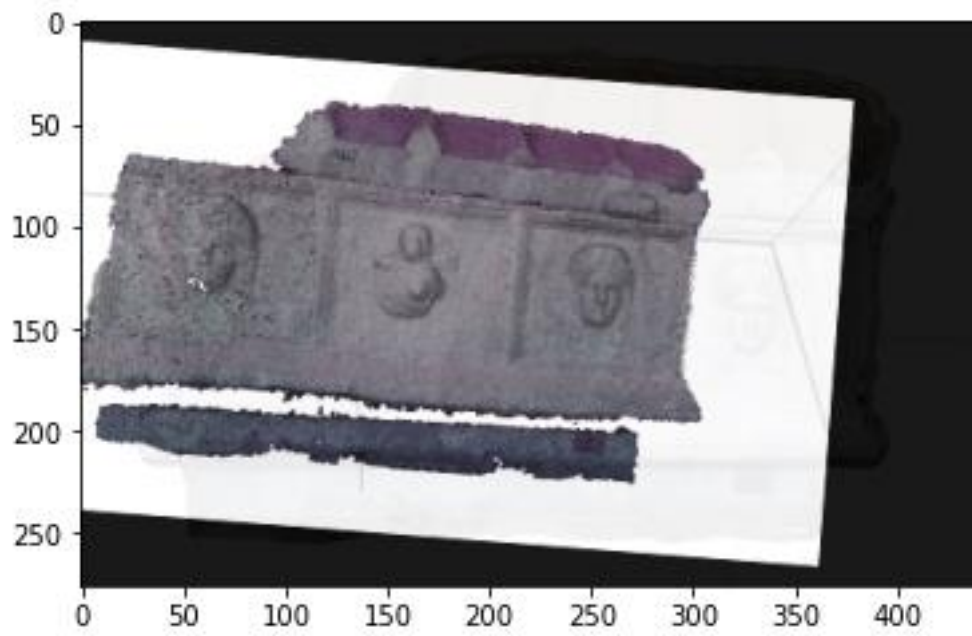
EKLER



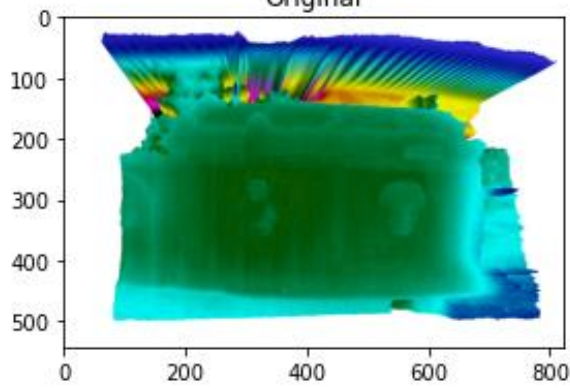
EK 1.

11312 NOLU LAHİTİN C1 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ

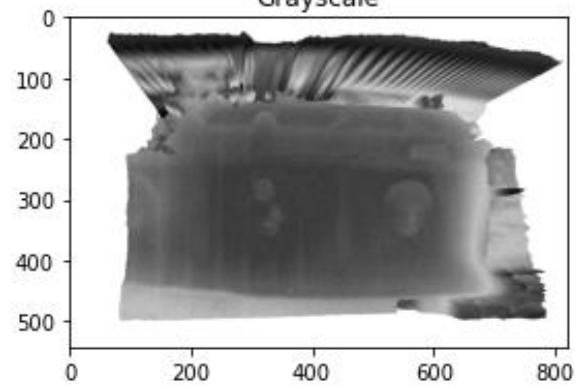


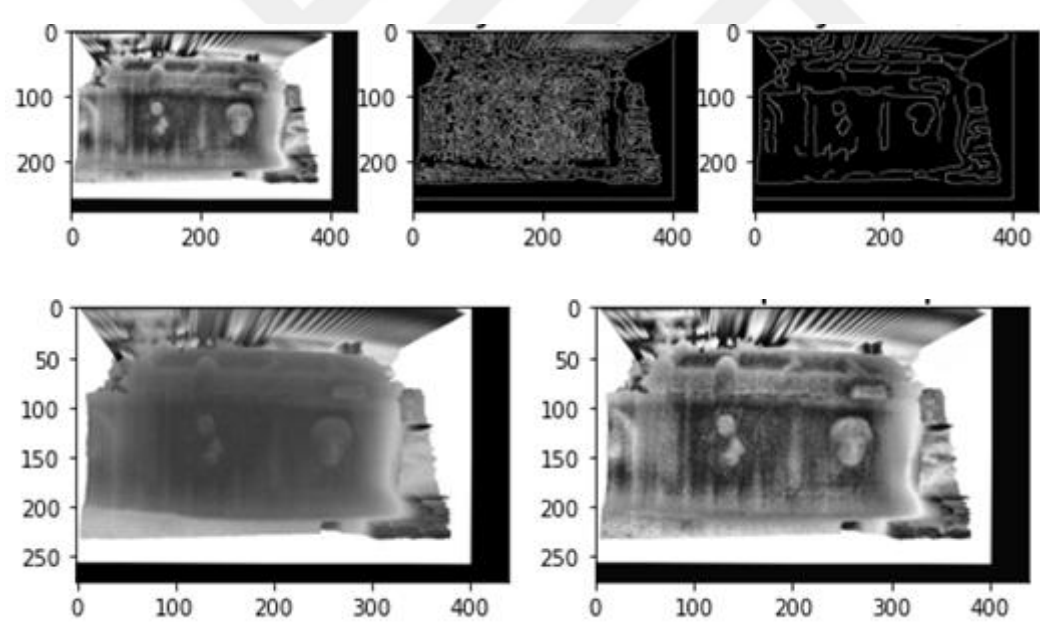
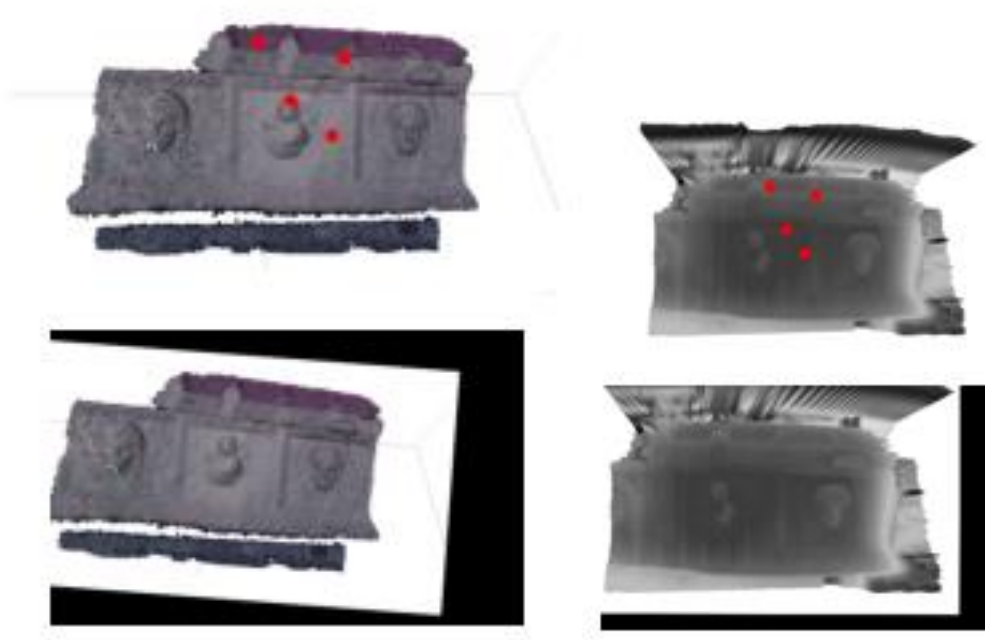


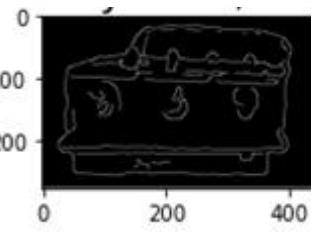
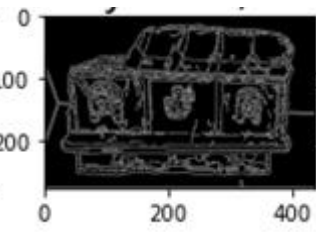
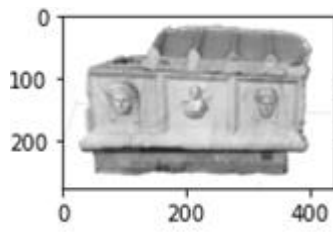
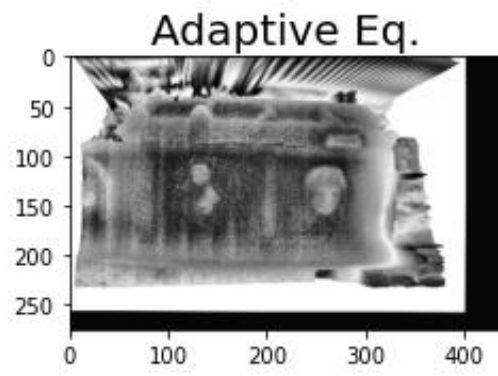
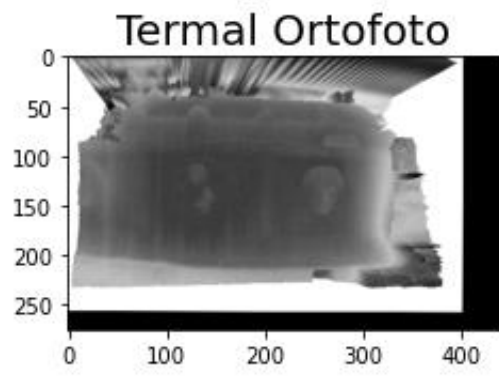
Original



Grayscale

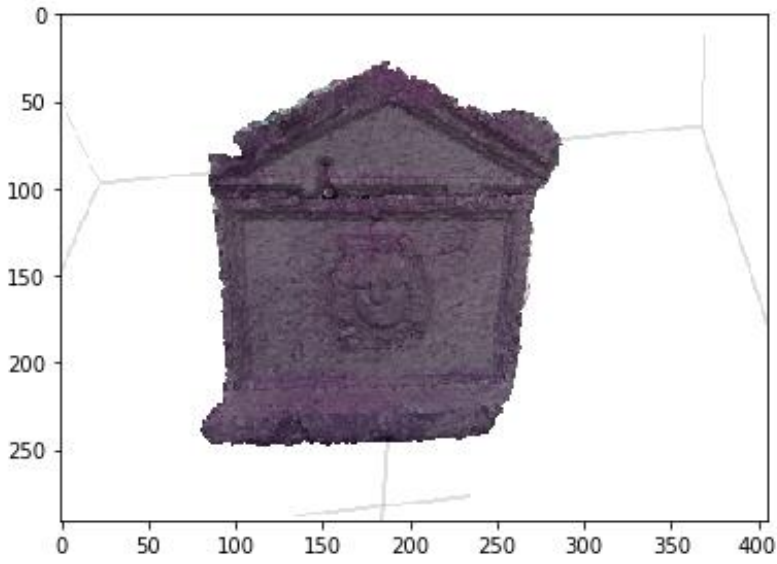
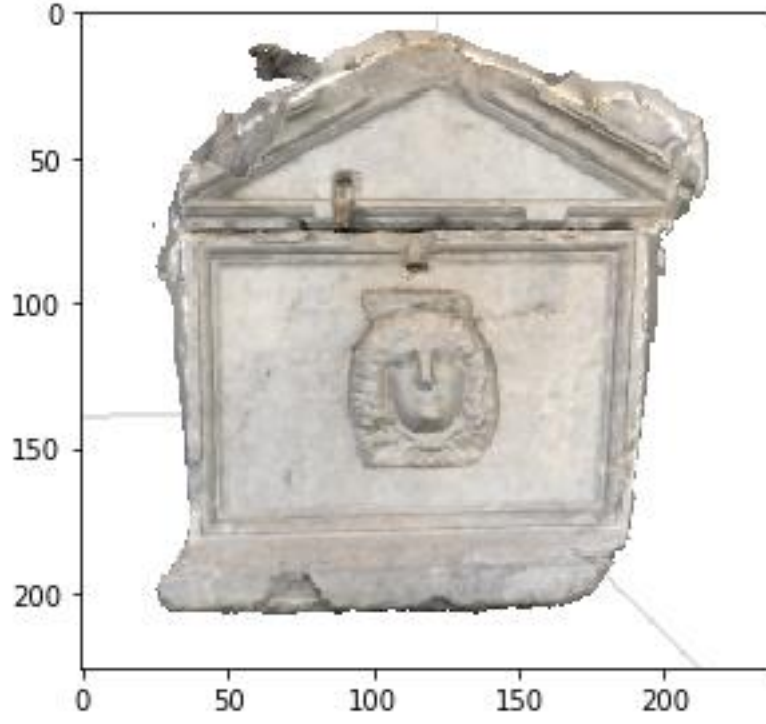


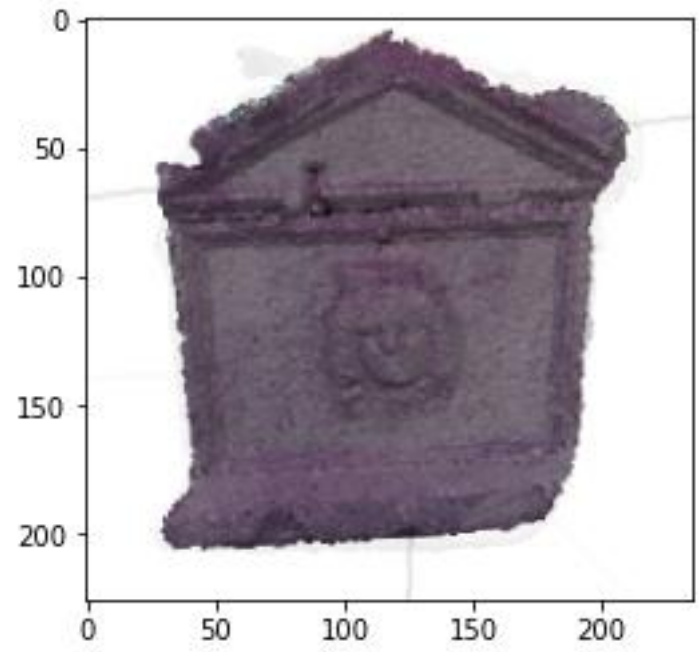
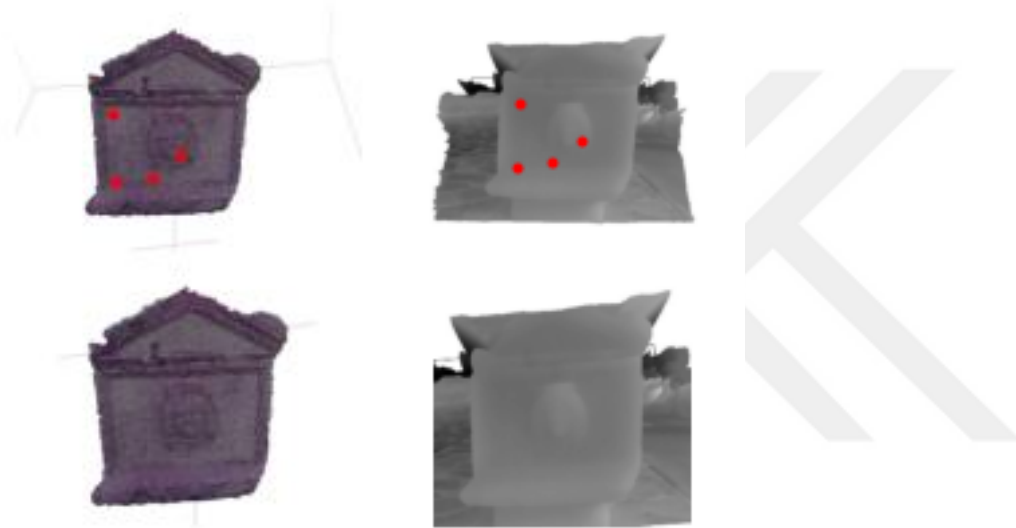
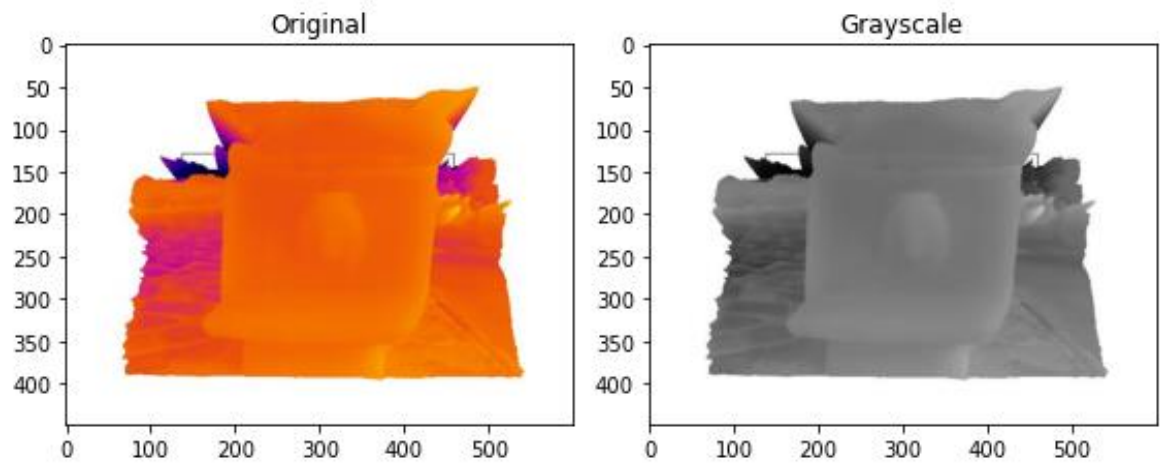


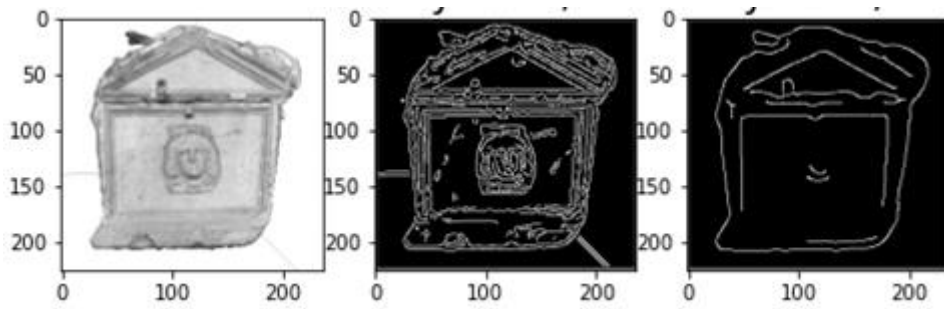


EK 2.

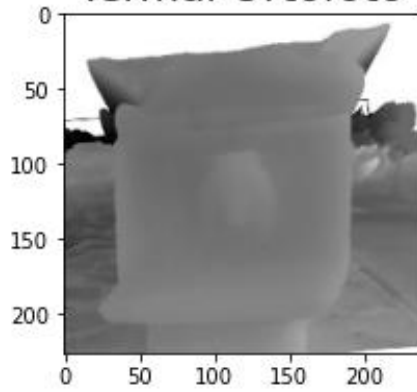
11312 NOLU LAHİTİN C2 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



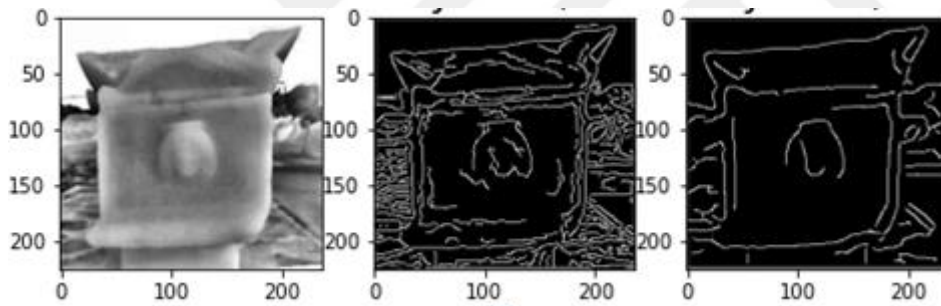
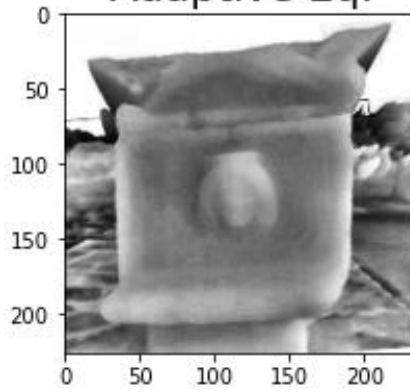




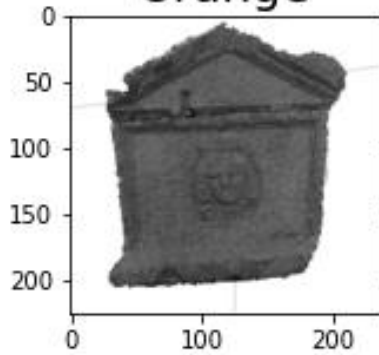
Termal Ortofoto



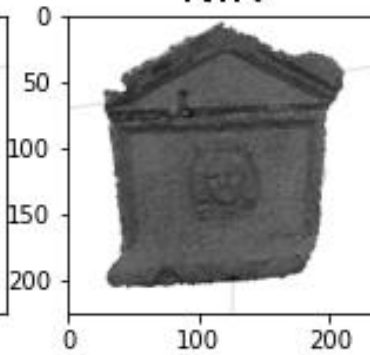
Adaptive Eq.



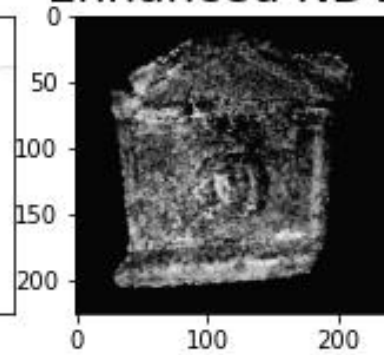
Orange



NIR

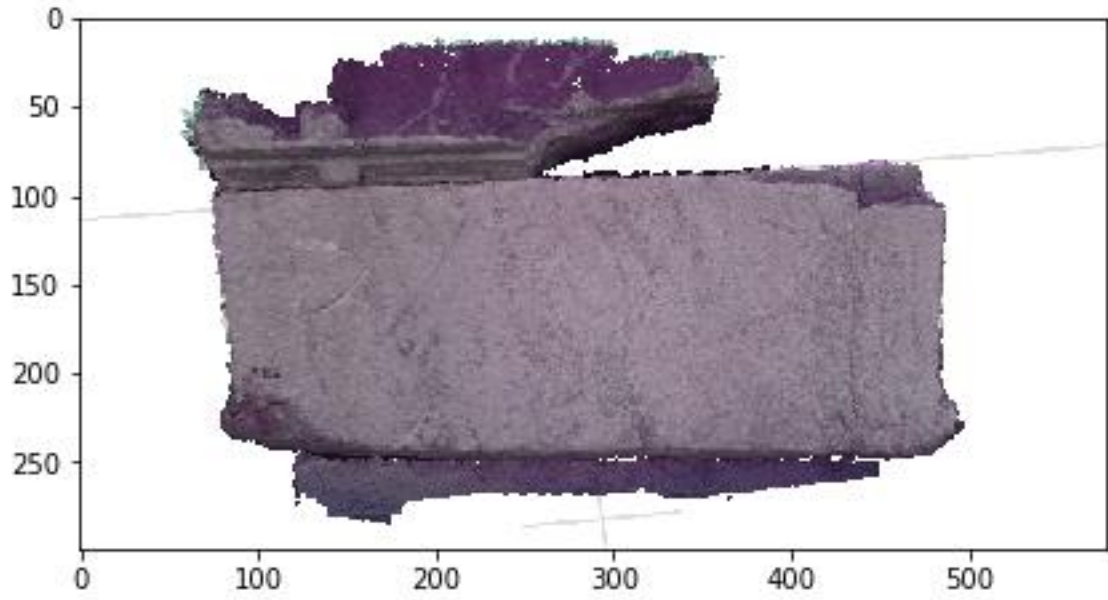
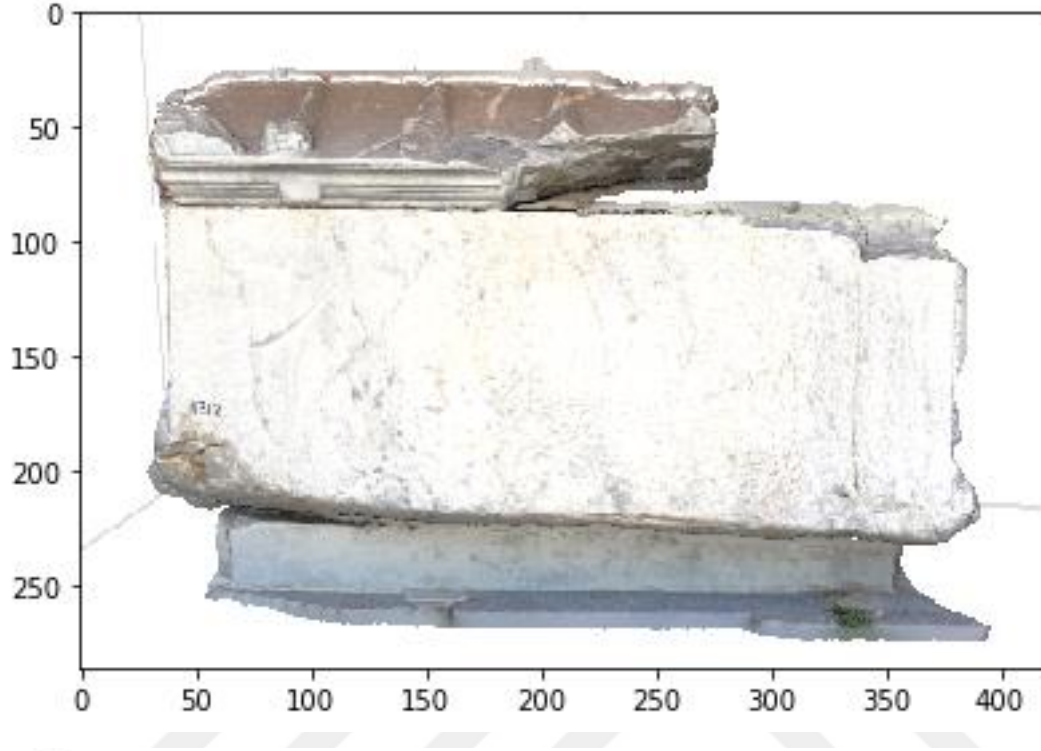


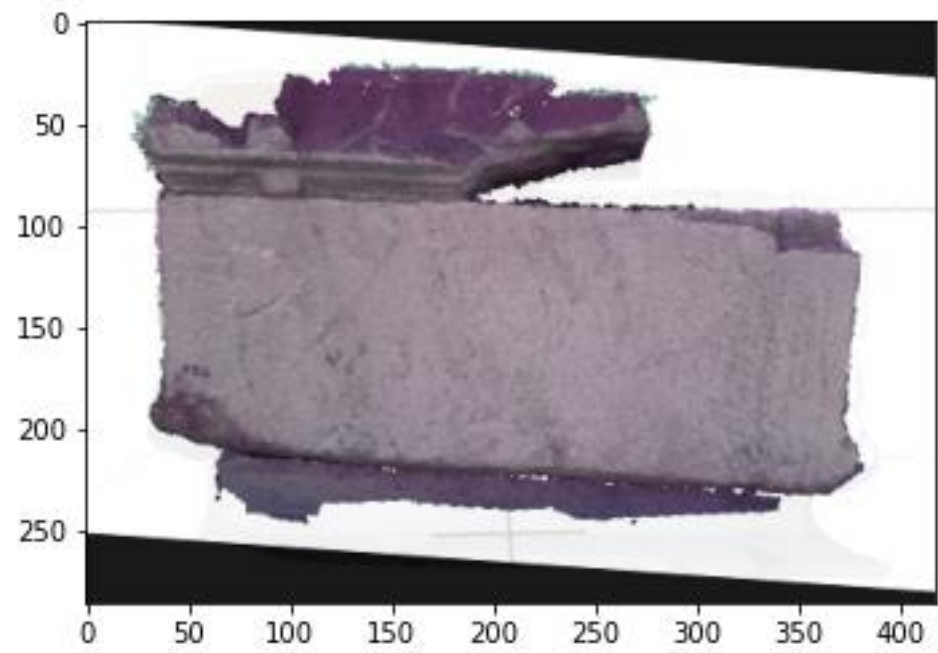
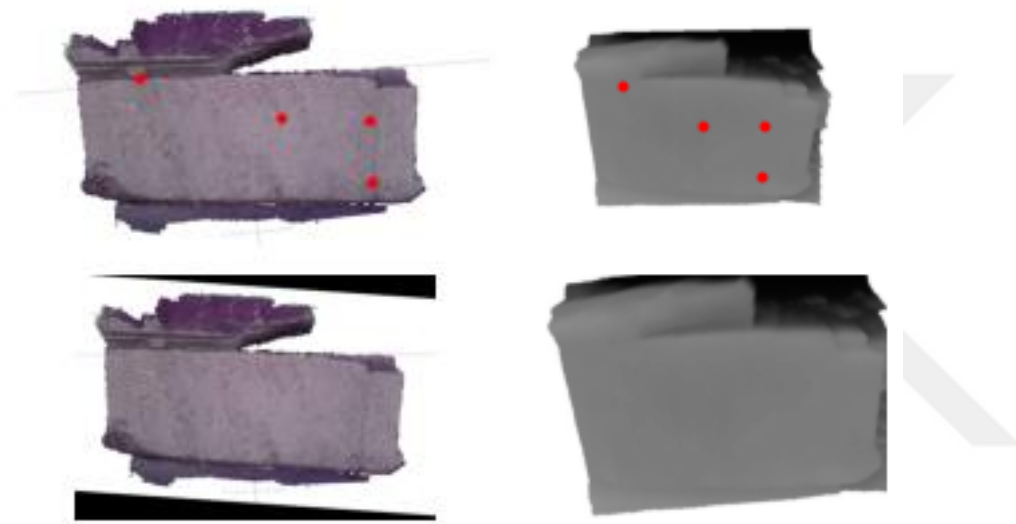
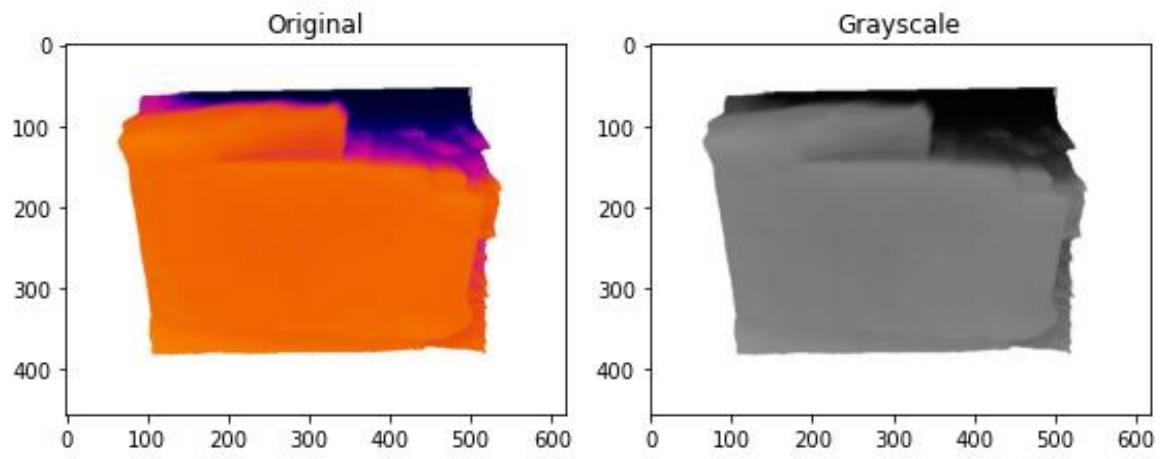
Enhanced NDVI



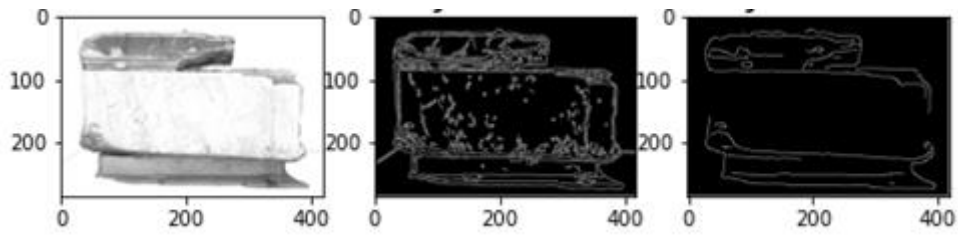
EK 3.

11312 NOLU LAHİTİN C3 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



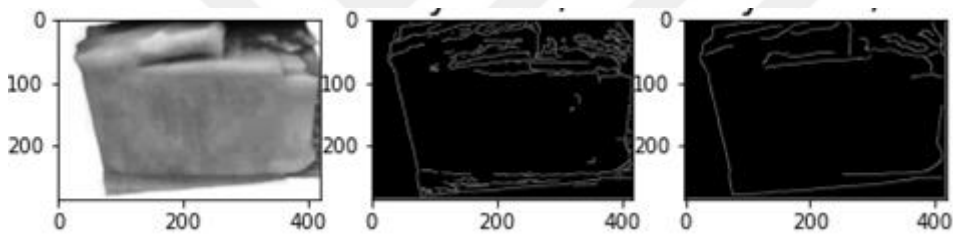
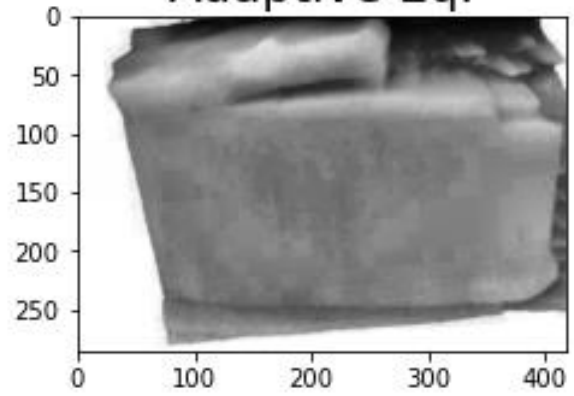
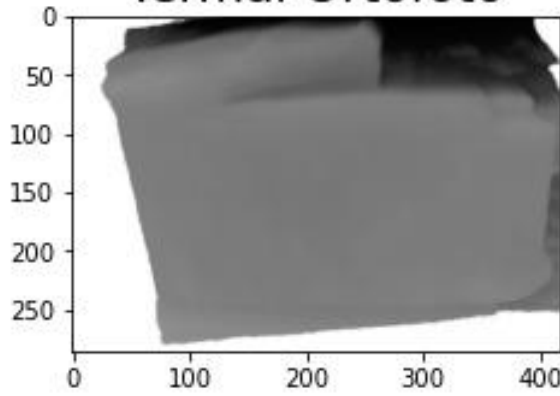


x



Termal Ortotofo

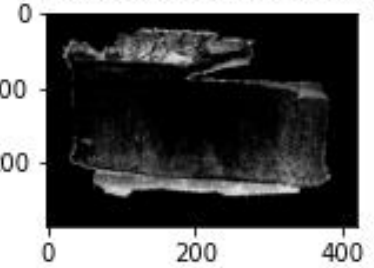
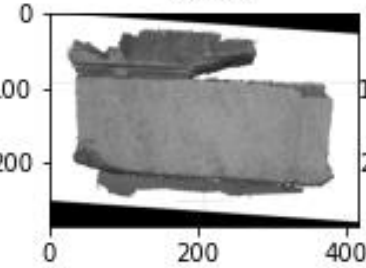
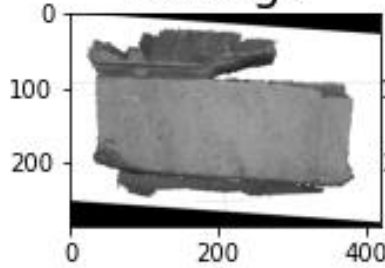
Adaptive Eq.



Orange

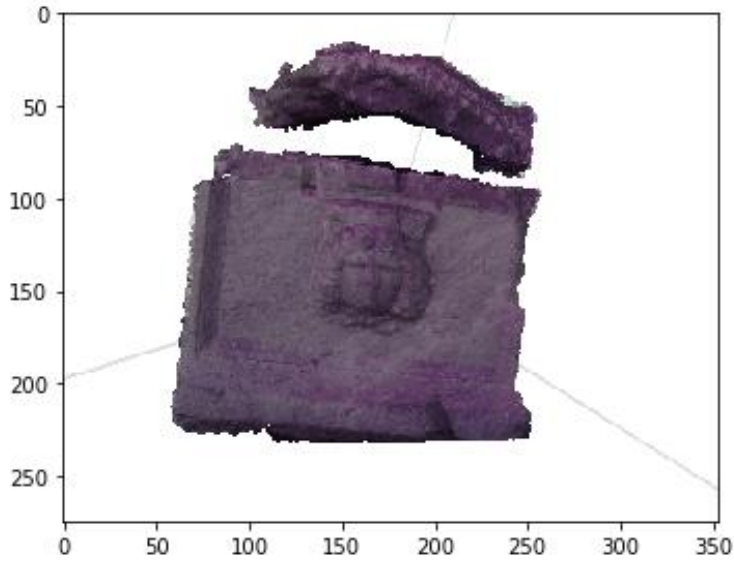
NIR

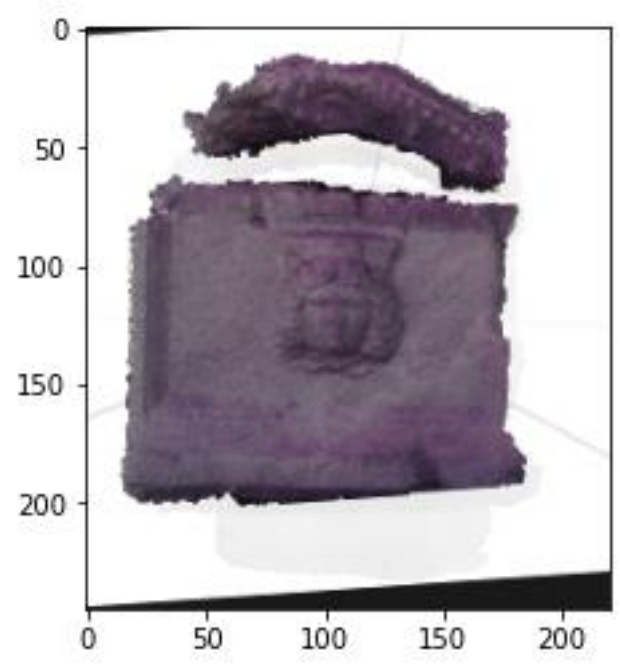
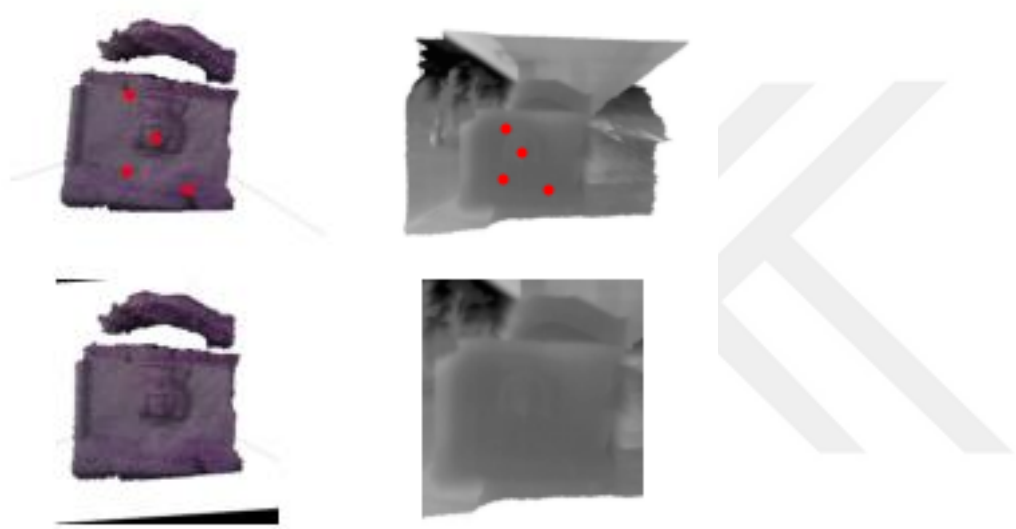
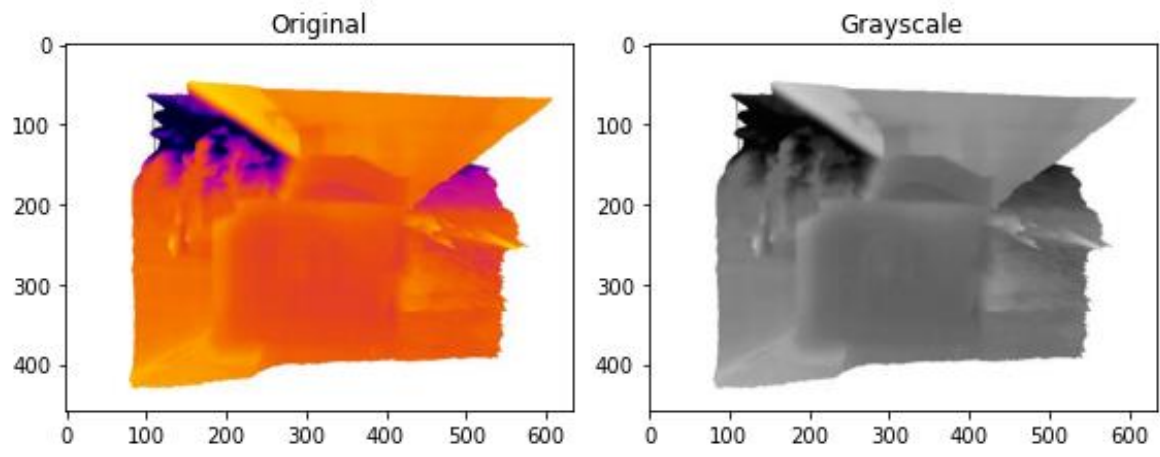
Enhanced NDVI

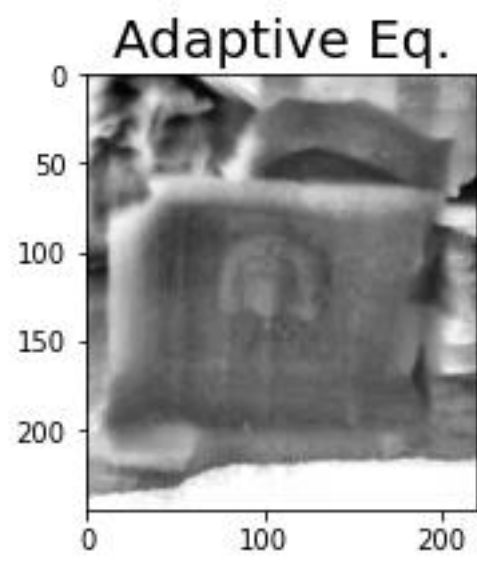
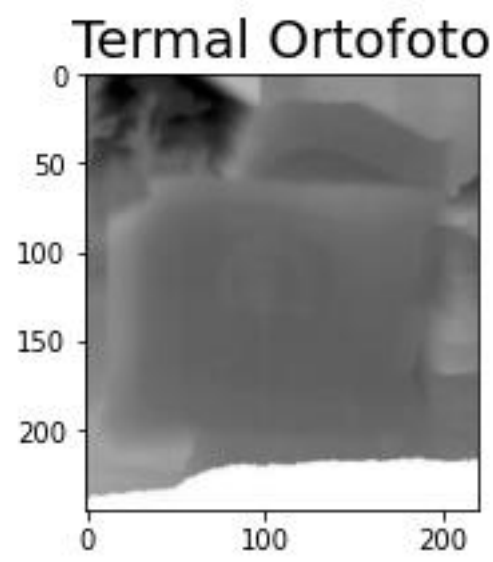
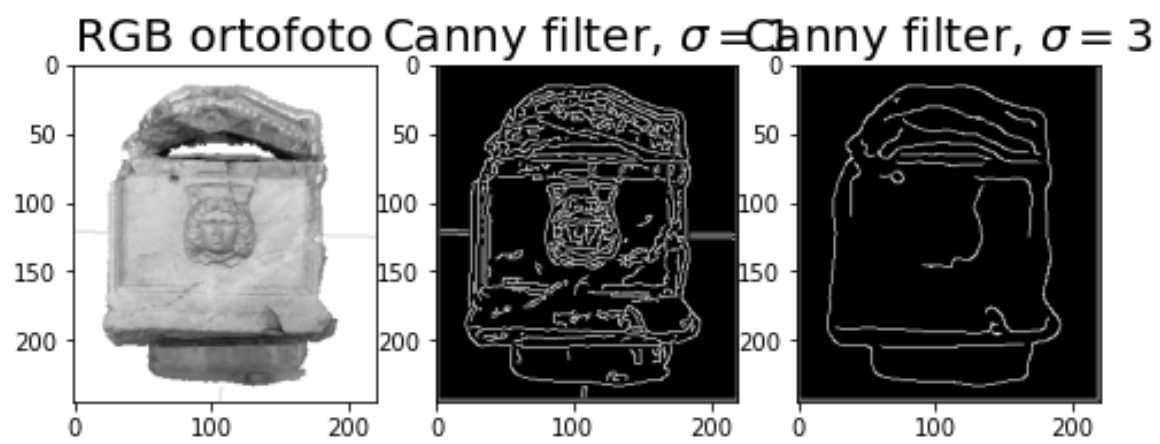


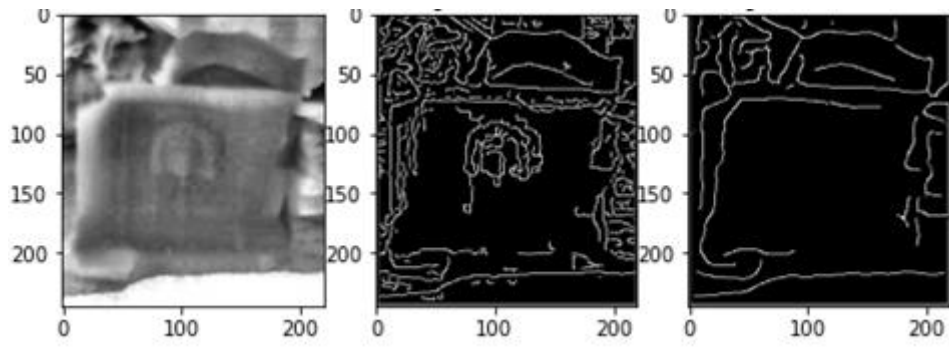
EK 4.

11312 NOLU LAHİTİN C4 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ





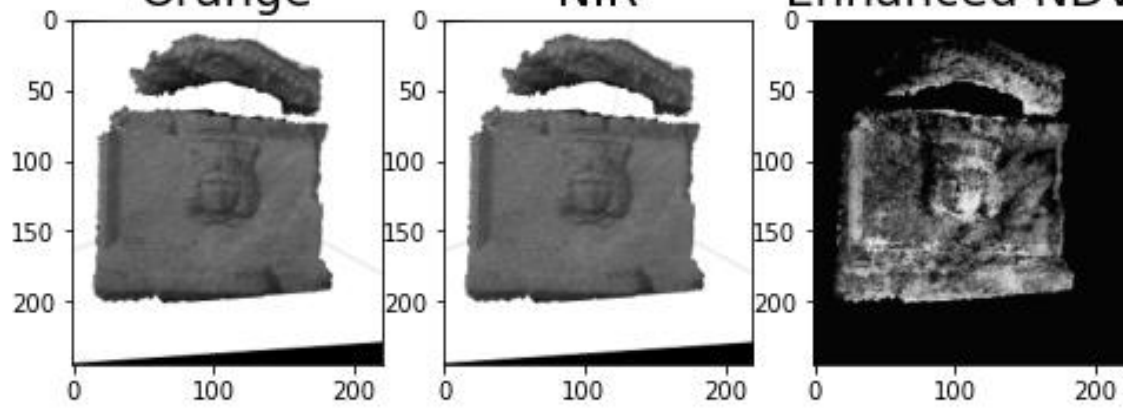




Orange

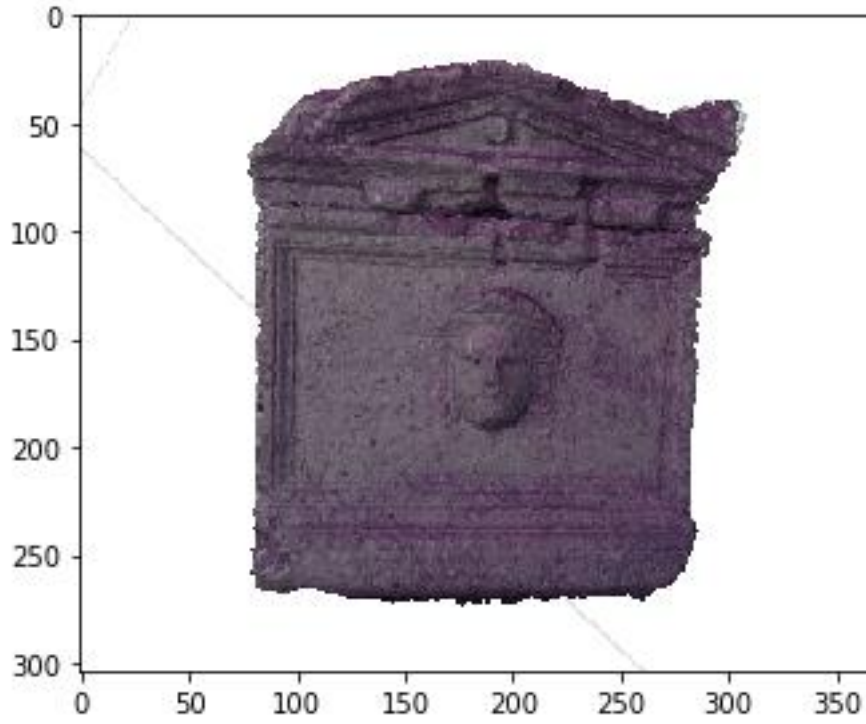
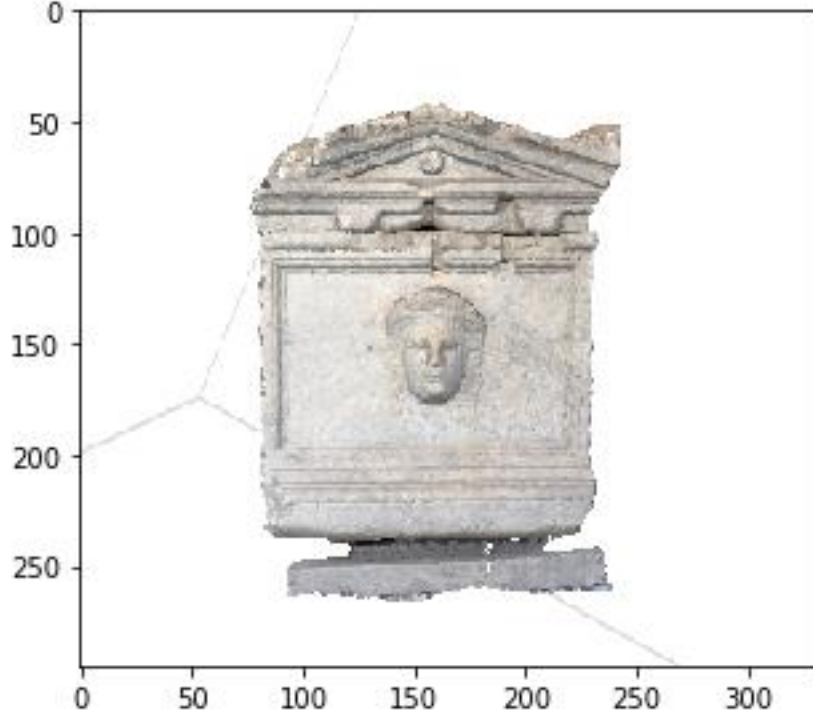
NIR

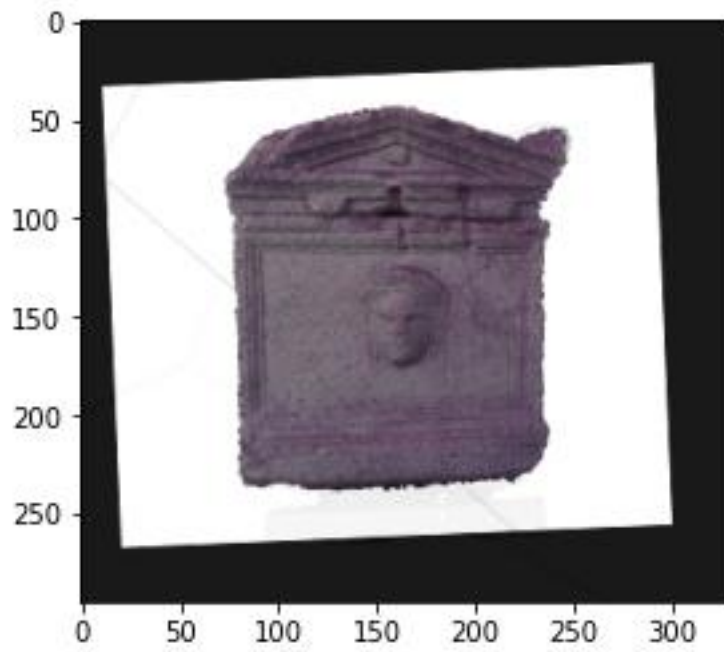
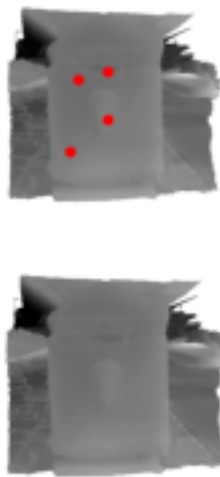
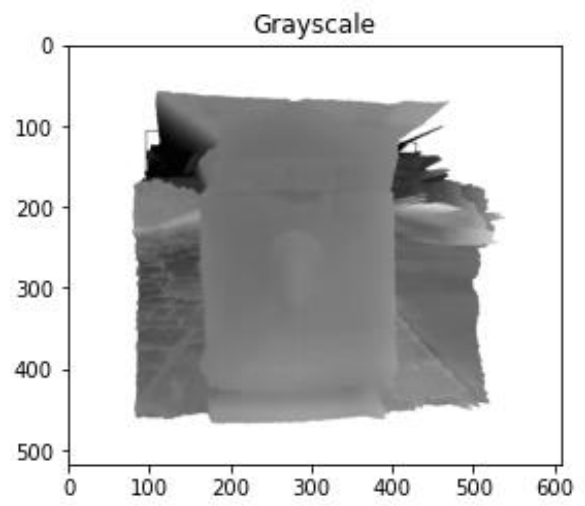
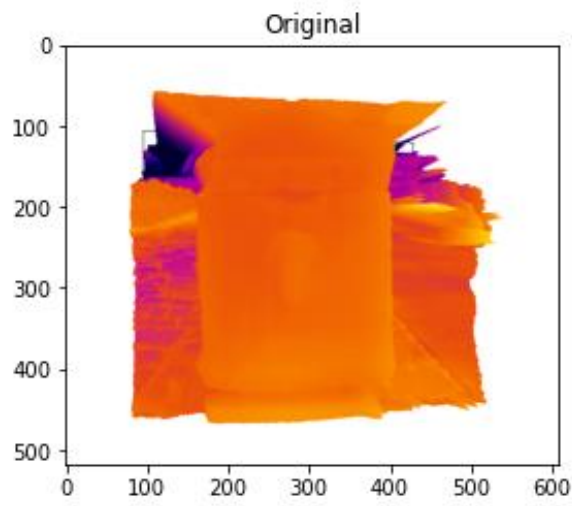
Enhanced NDVI

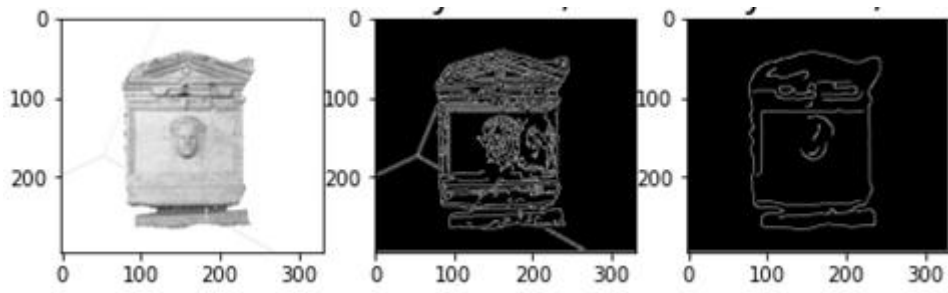


EK 5.

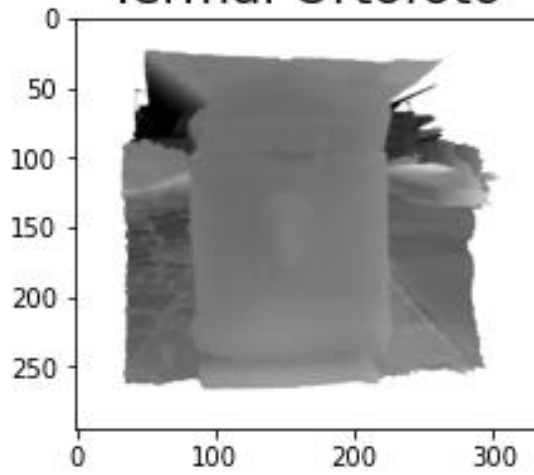
11313 NOLU LAHİTİN C2 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



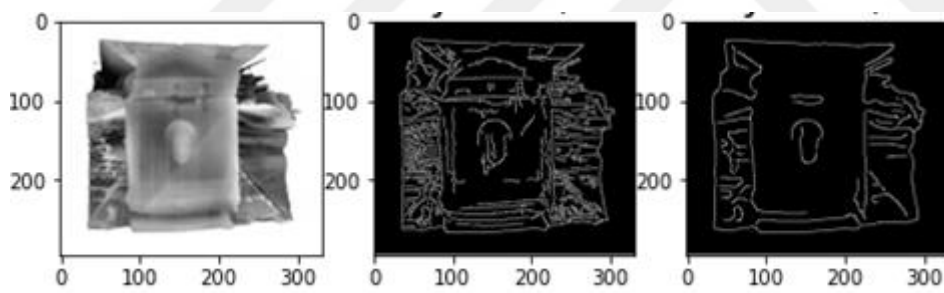
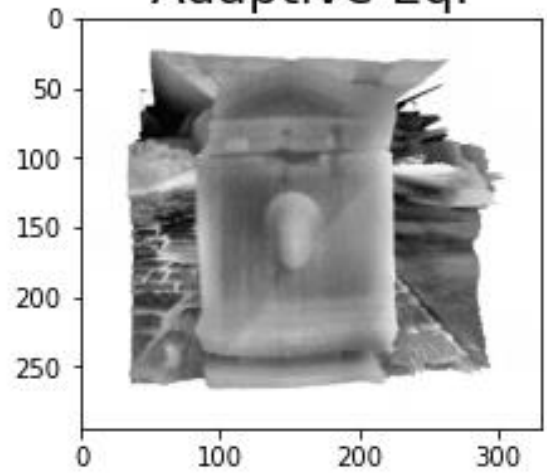




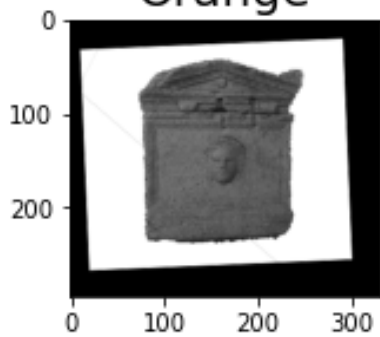
Termal Ortofoto



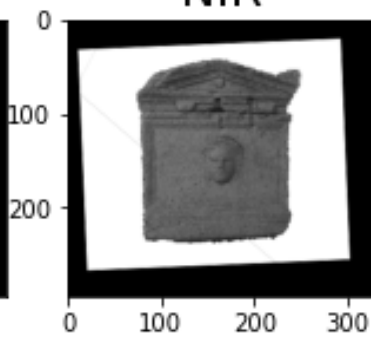
Adaptive Eq.



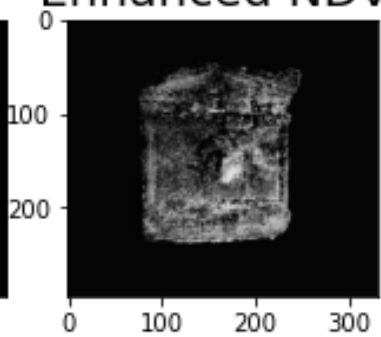
Orange



NIR

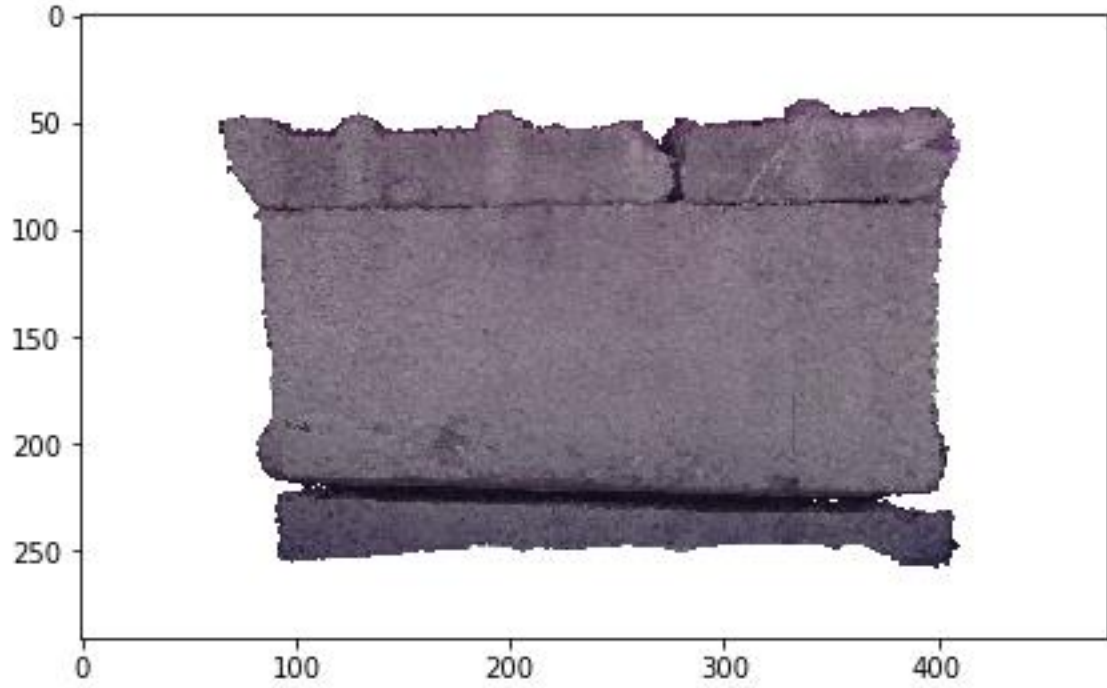
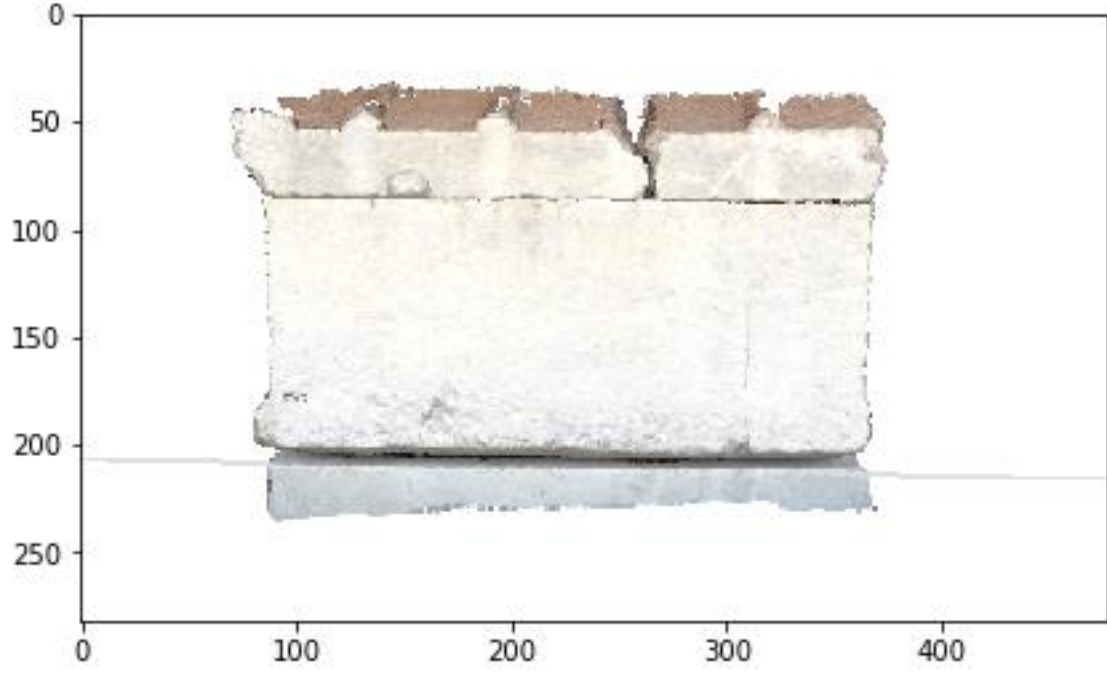


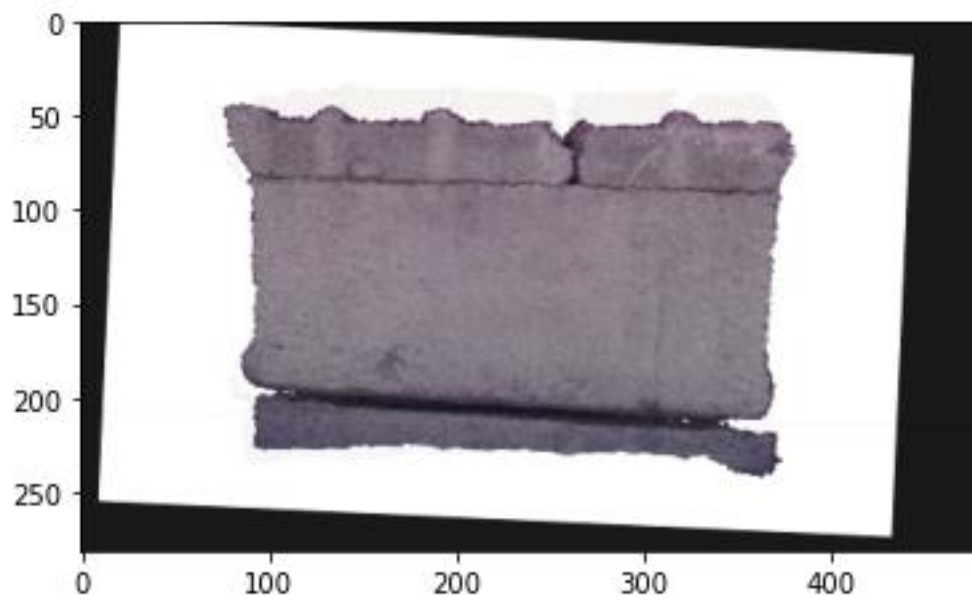
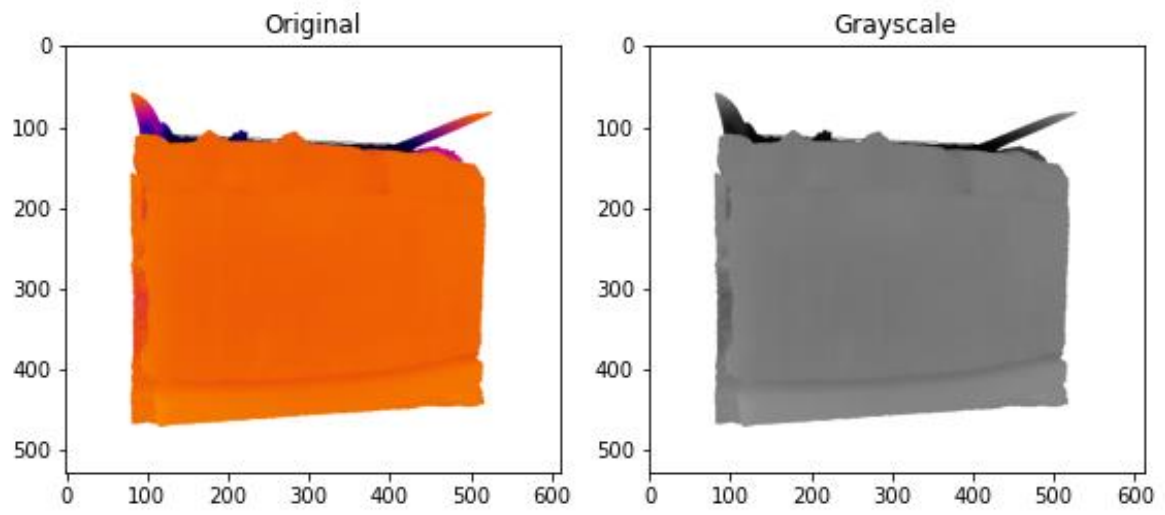
Enhanced NDVI

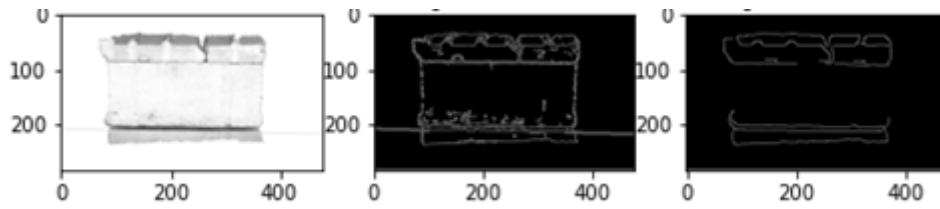


EK 6.

11313 NOLU LAHİTİN C3 NUMARALI GÖRÜNTÜLERİ

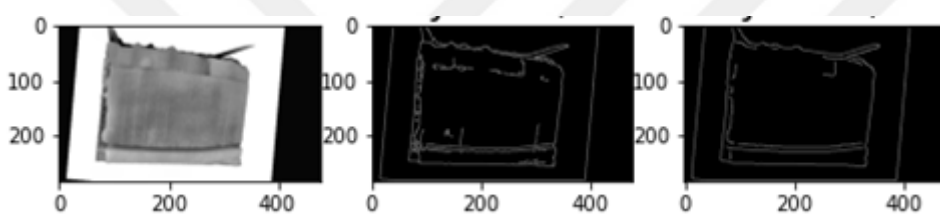
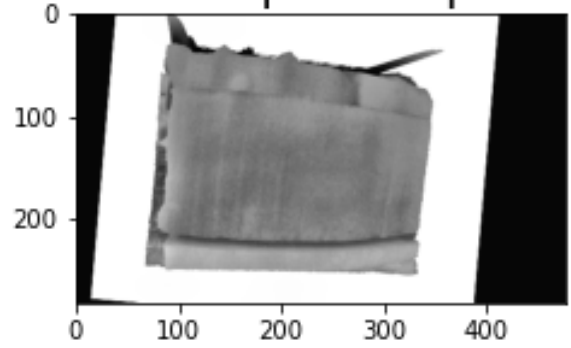
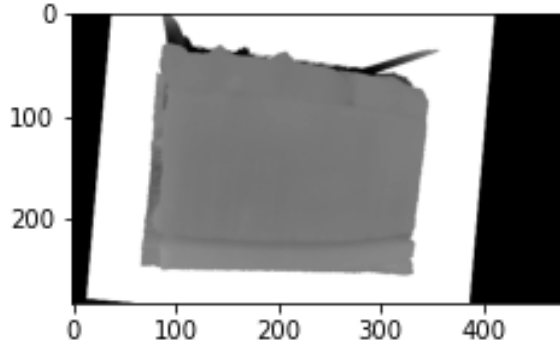






Termal Ortofoto

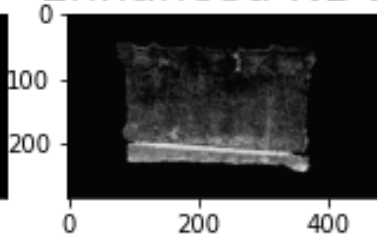
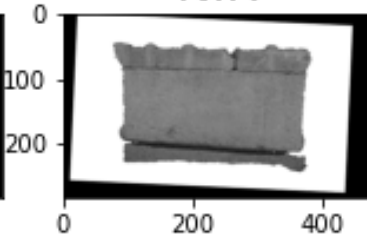
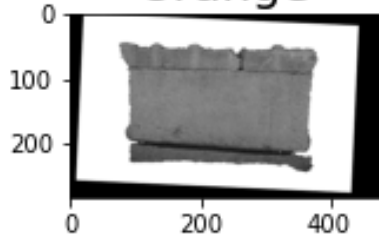
Adaptive Eq.



Orange

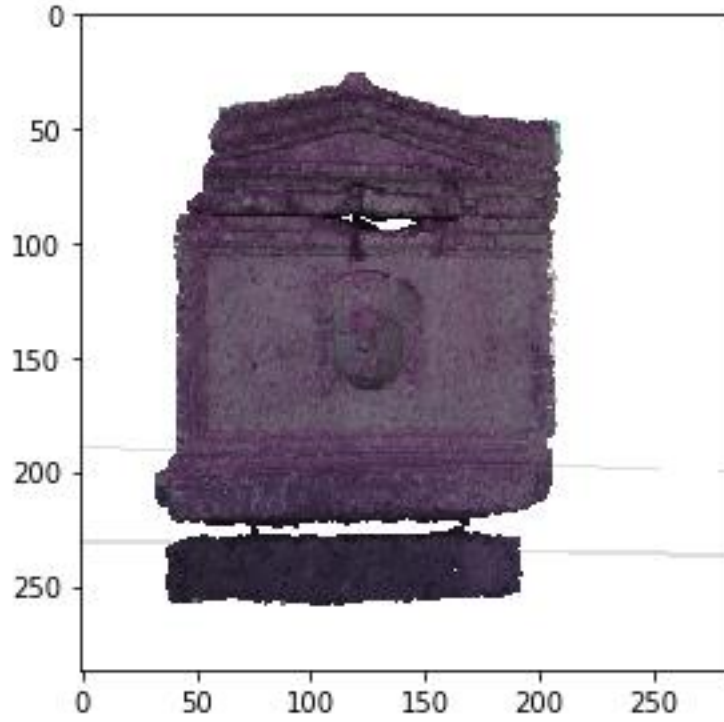
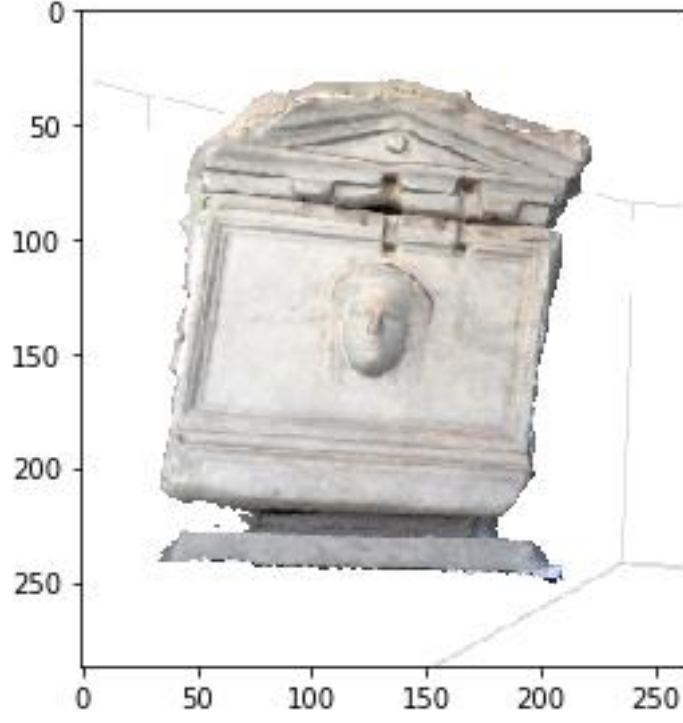
NIR

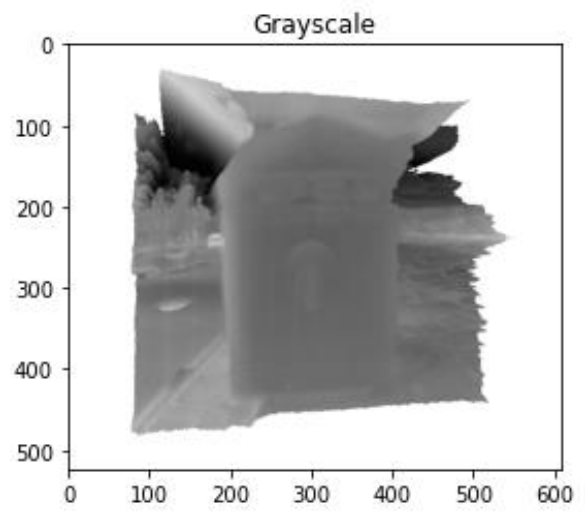
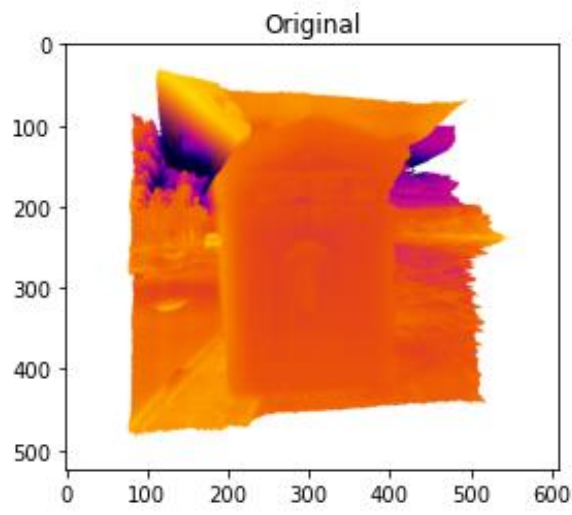
Enhanced NDVI

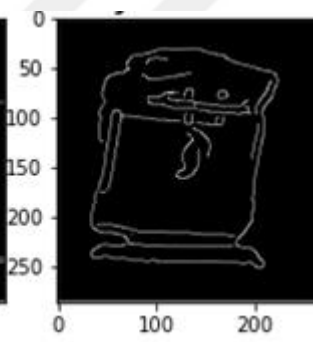
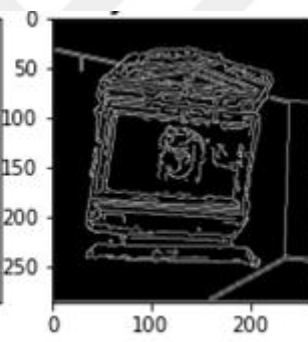
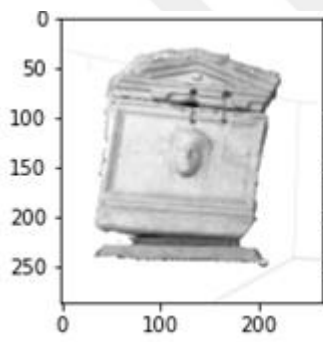
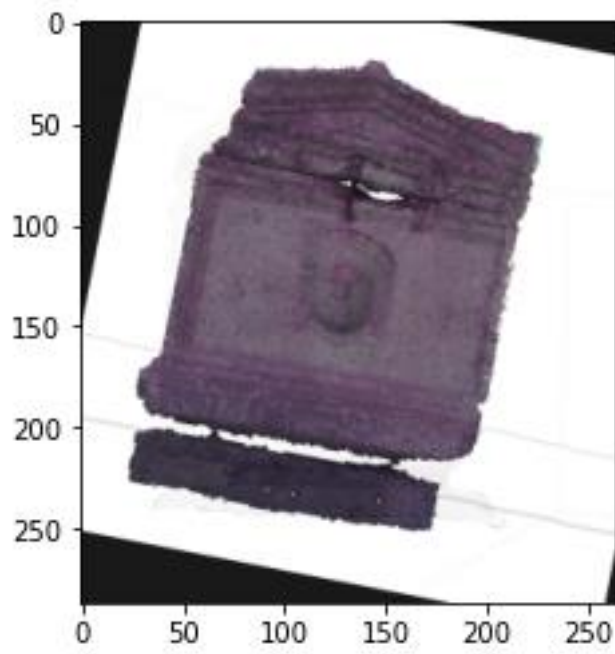


EK 7.

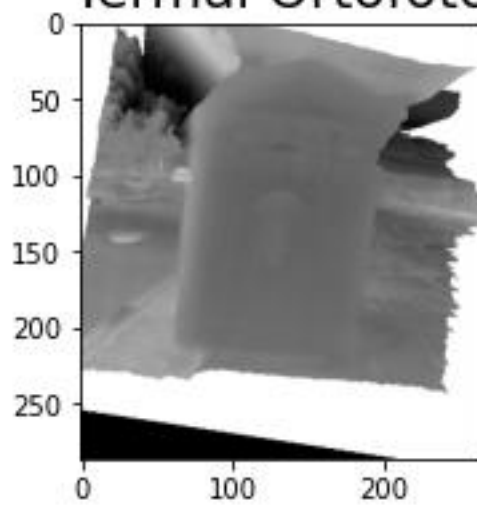
11313 NOLU LAHİTİN C4 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



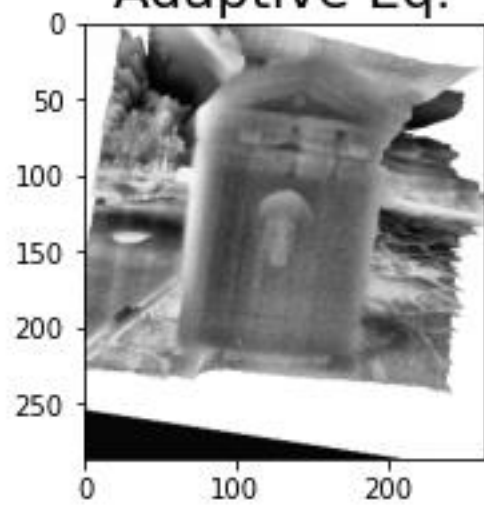


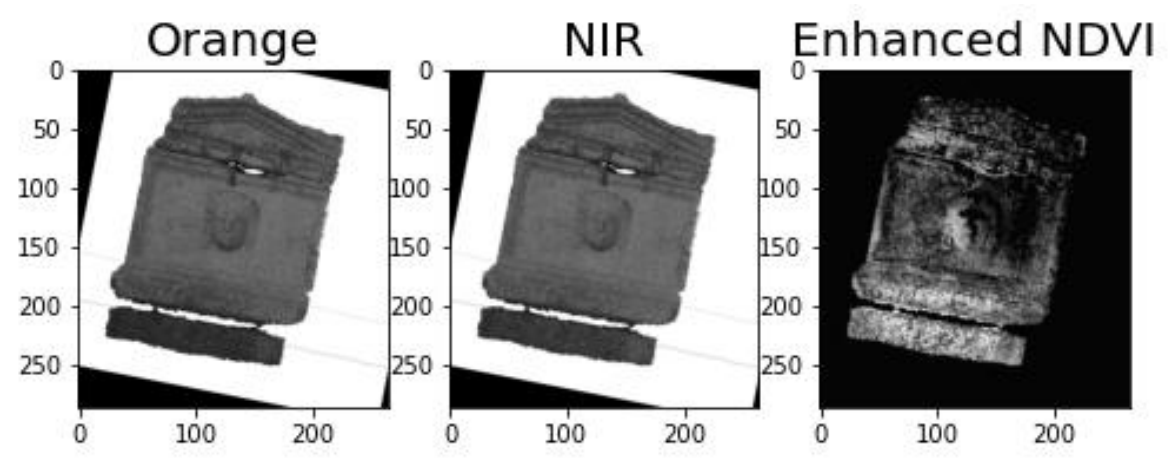
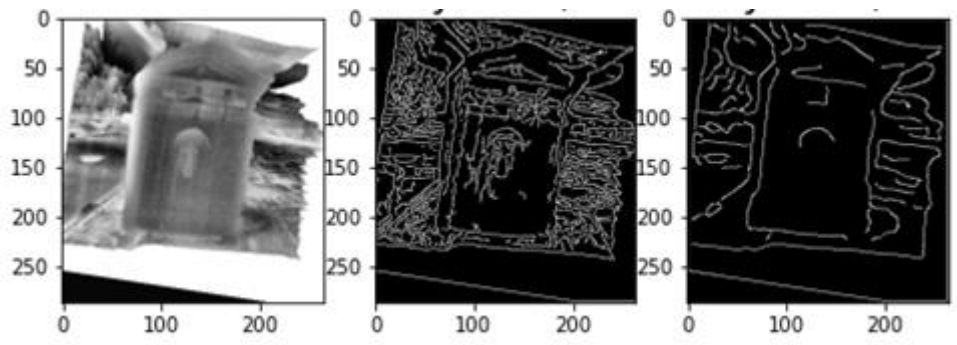


Termal Ortofoto



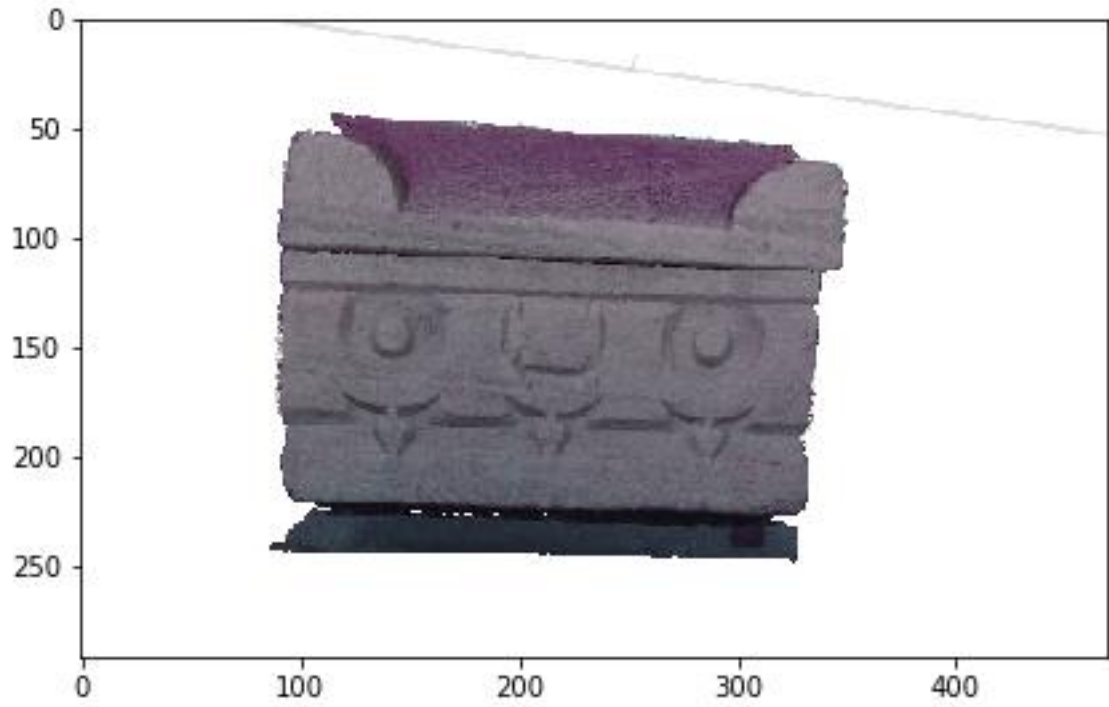
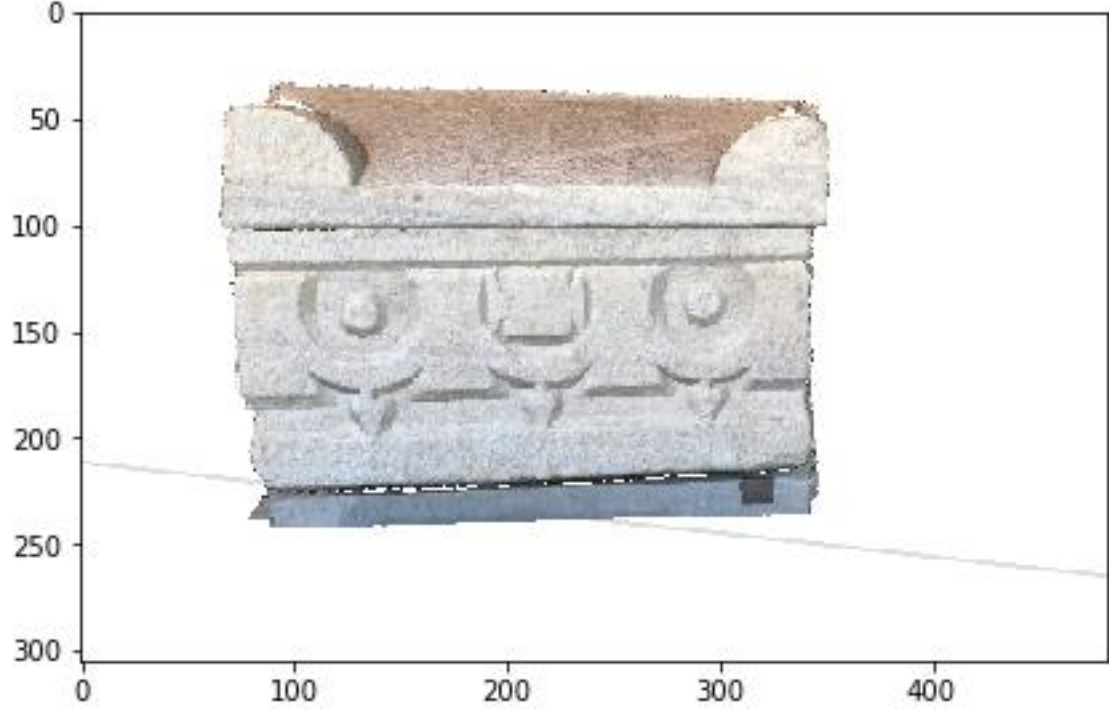
Adaptive Eq.

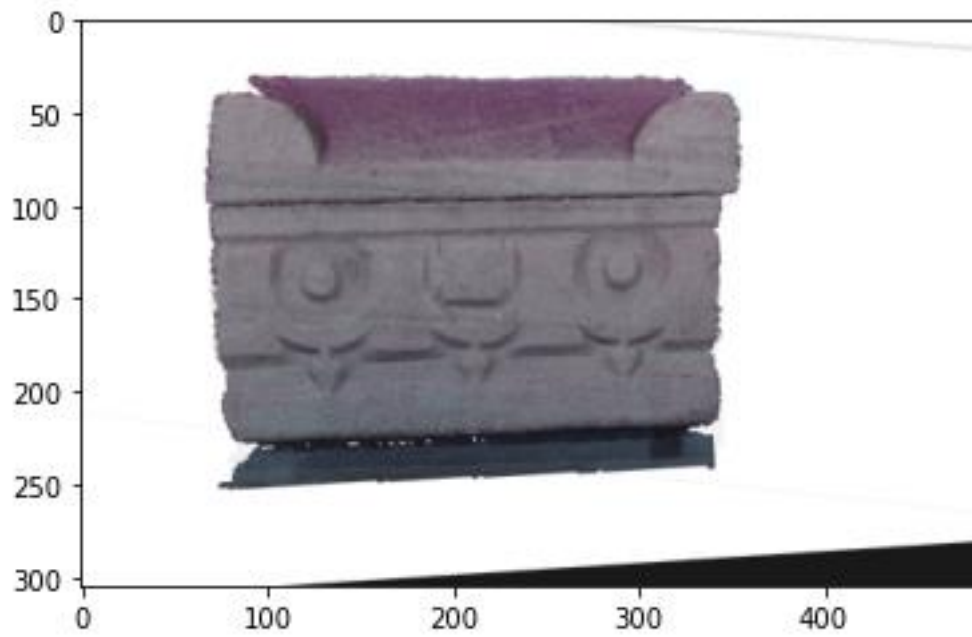
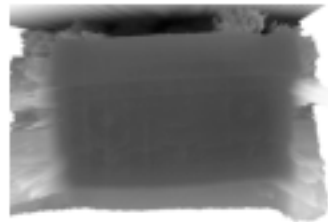
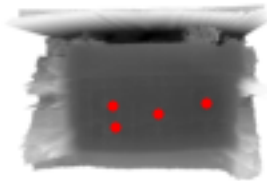
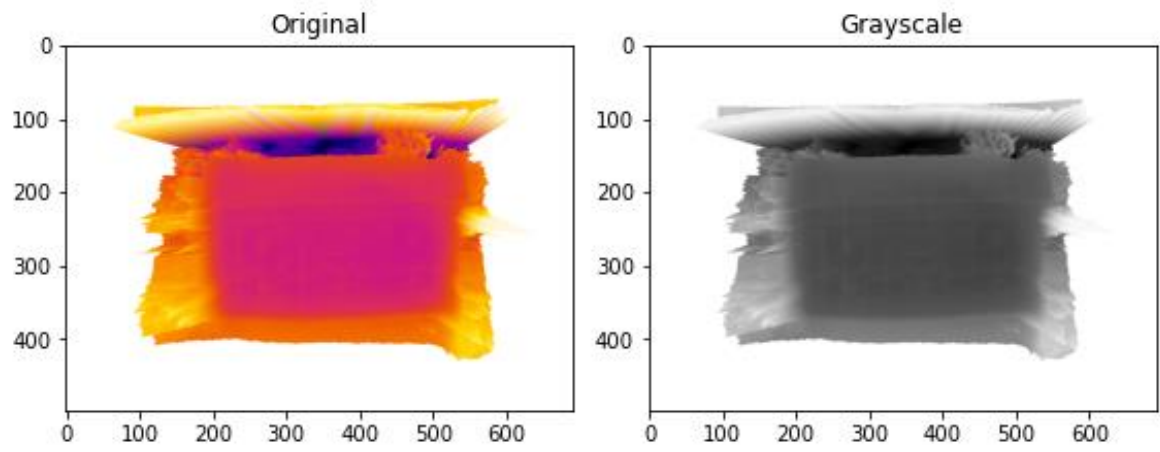


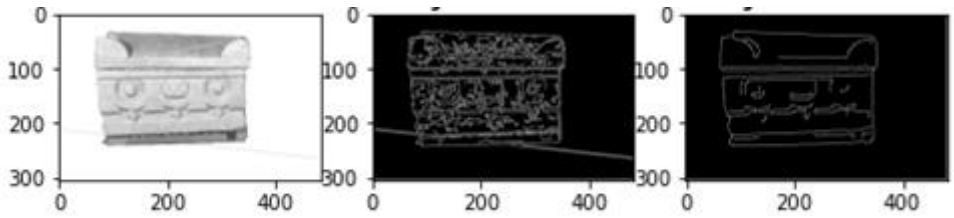


EK 8.

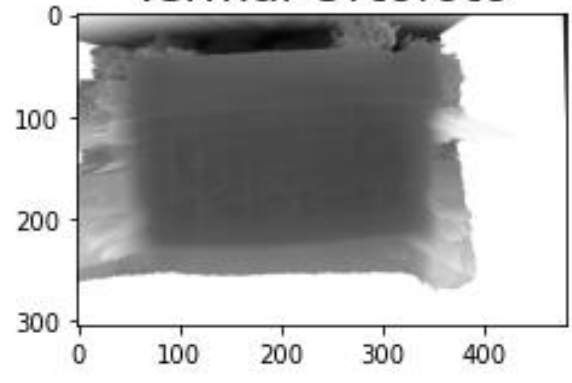
11315 NOLU LAHİTİN C1 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



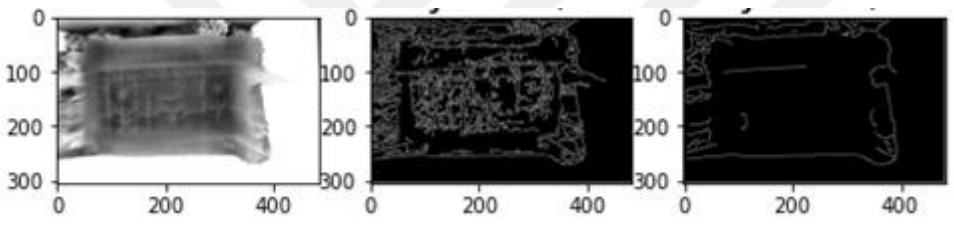
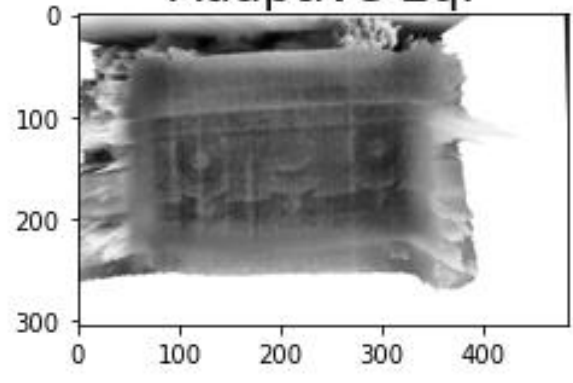




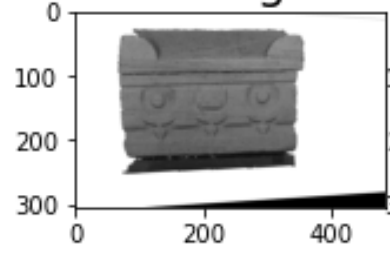
Termal Ortofoto



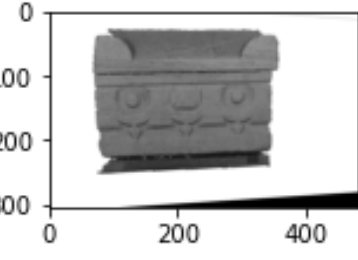
Adaptive Eq.



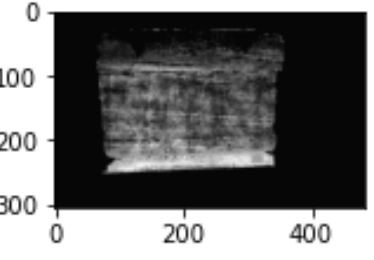
Orange



NIR

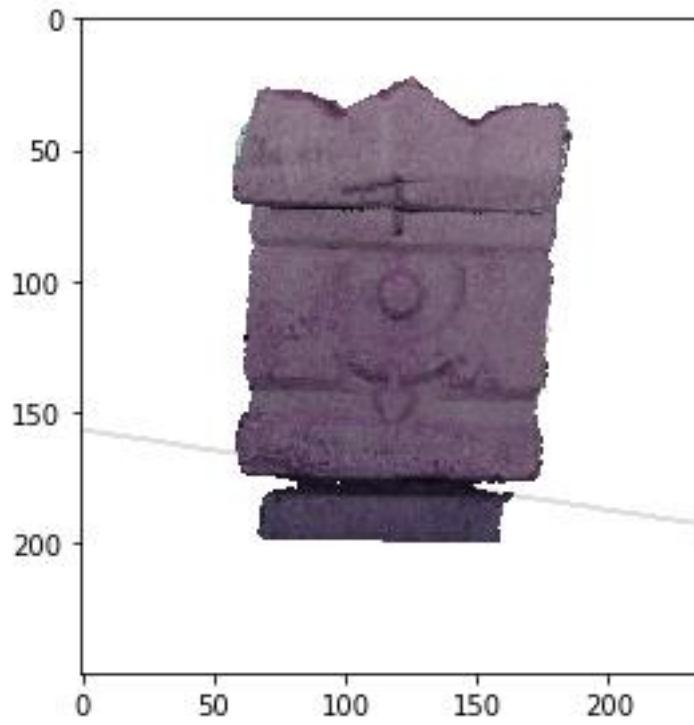
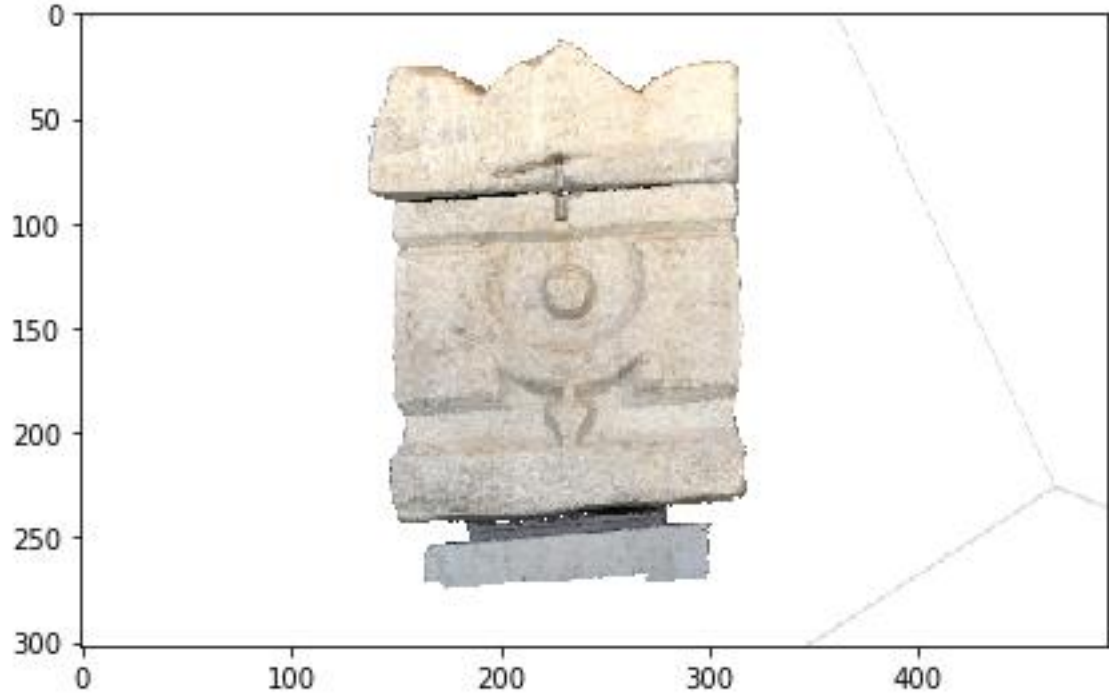


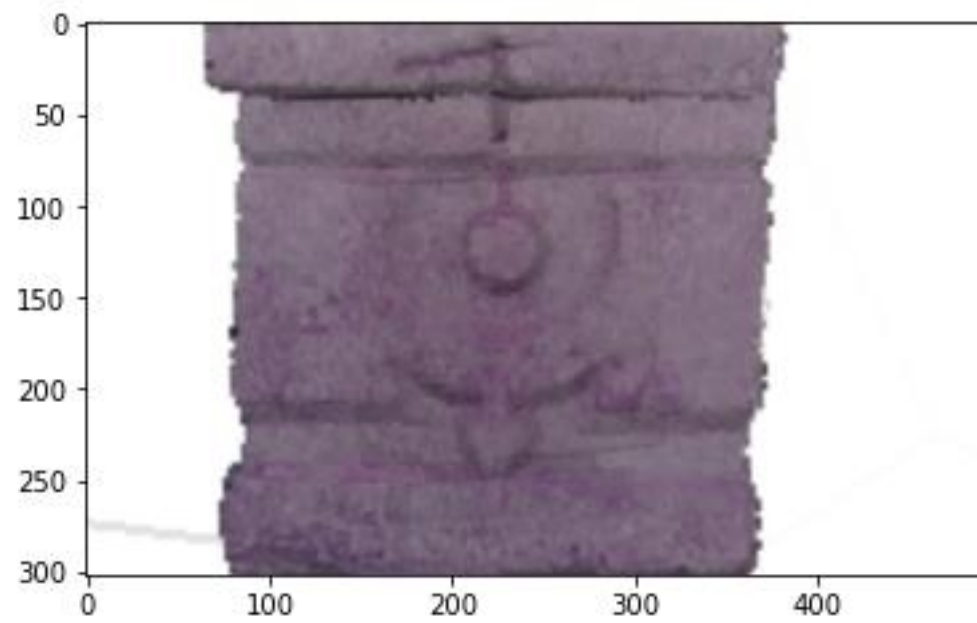
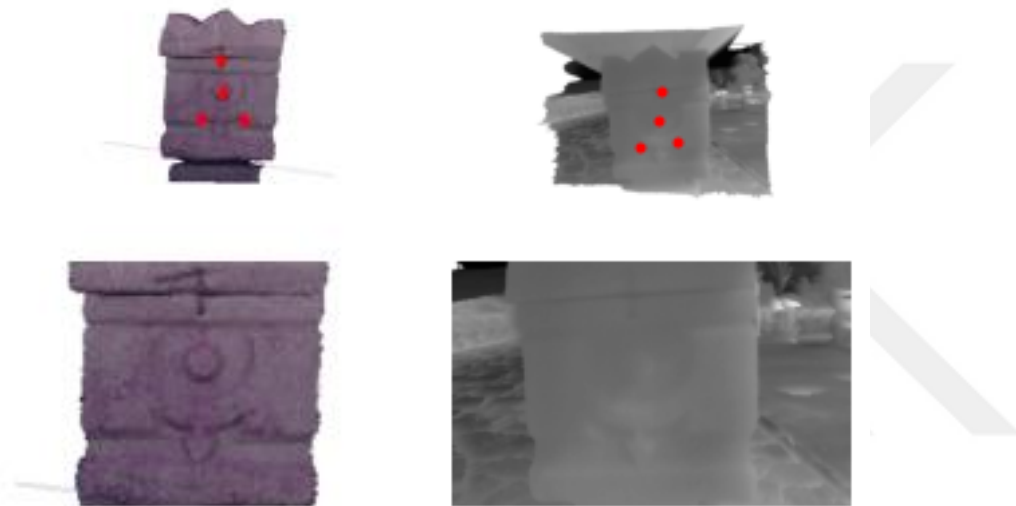
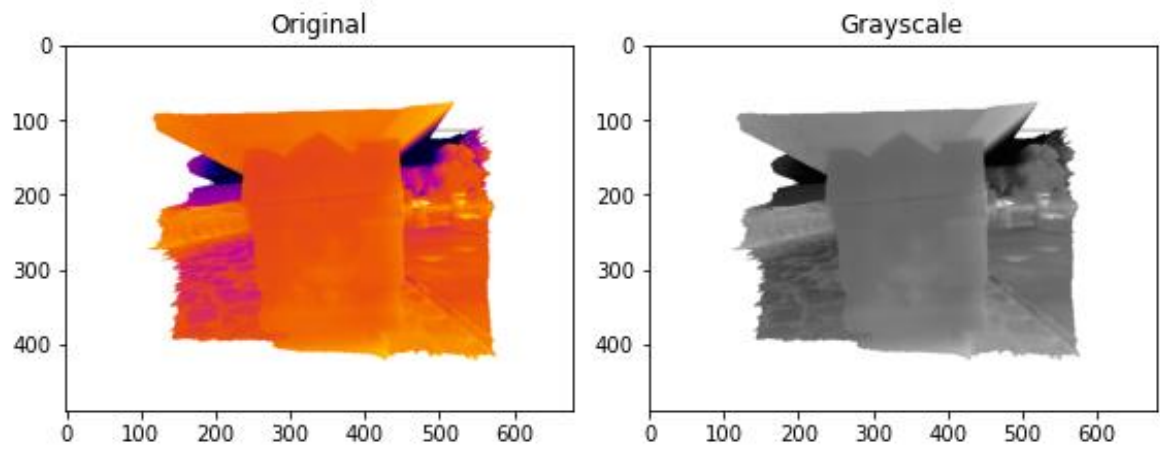
Enhanced NDVI

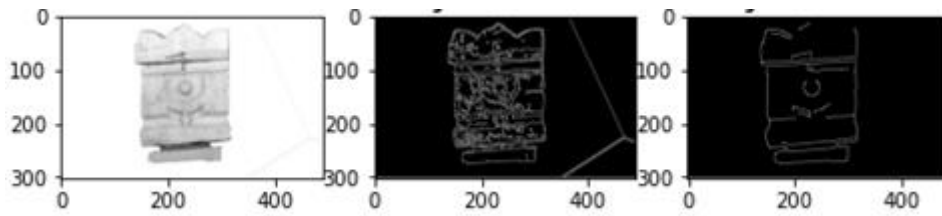


EK 9.

11315 NOLU LAHİTİN C2 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ

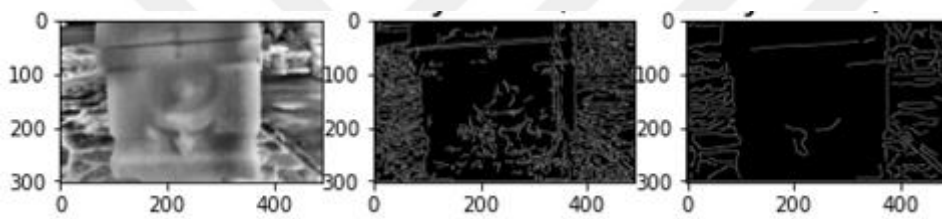
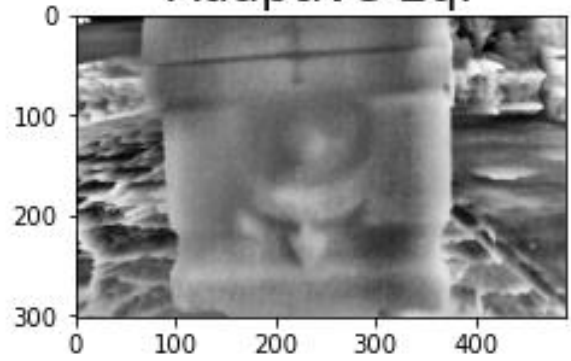
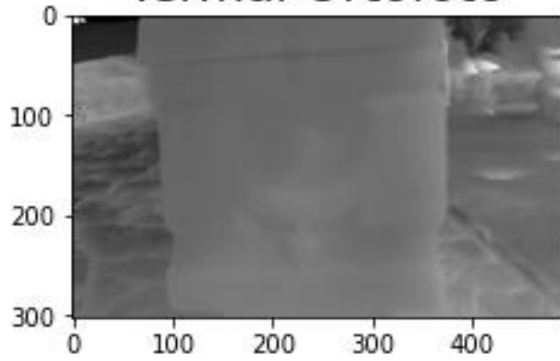






Termal Ortofoto

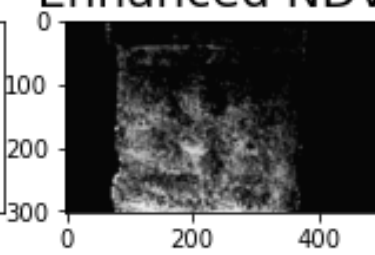
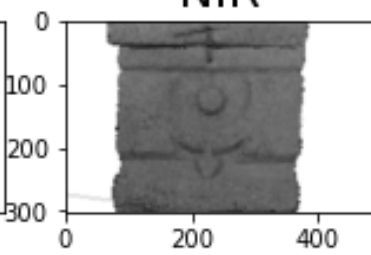
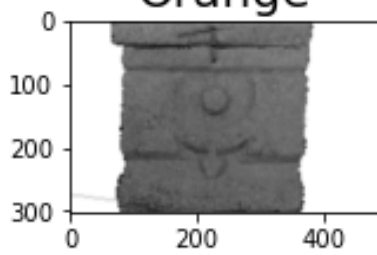
Adaptive Eq.



Orange

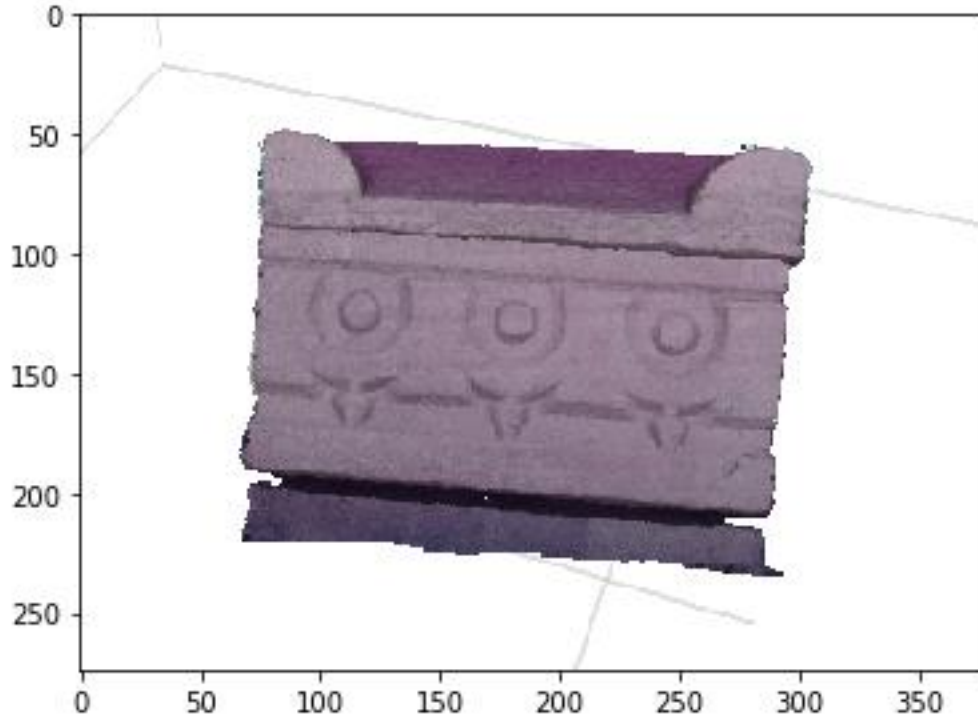
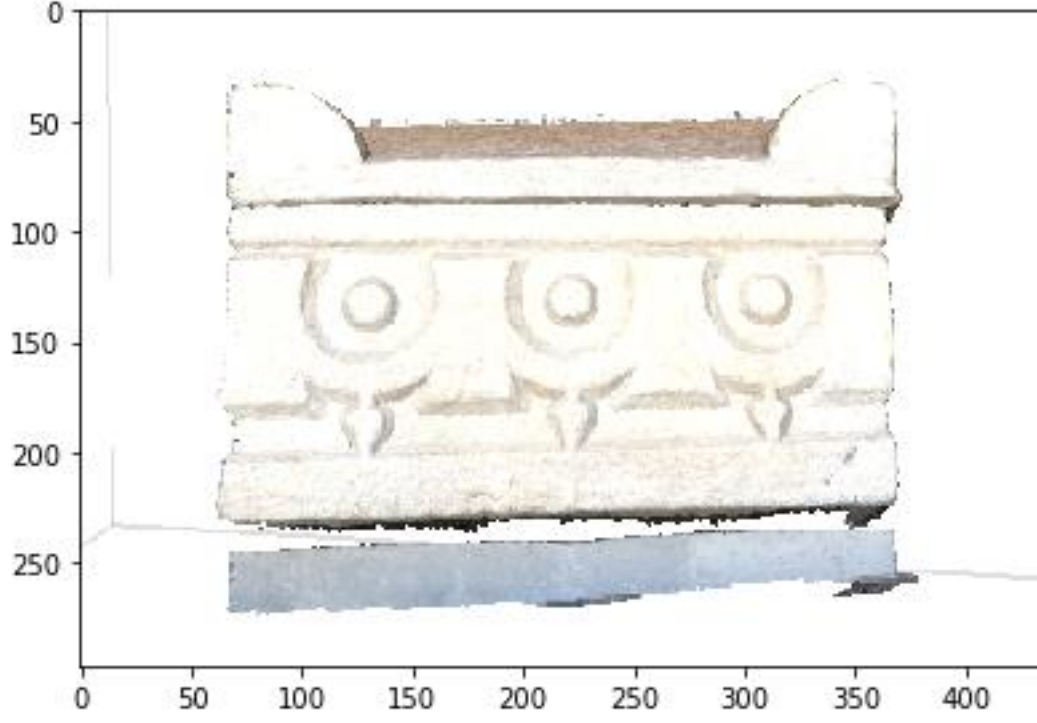
NIR

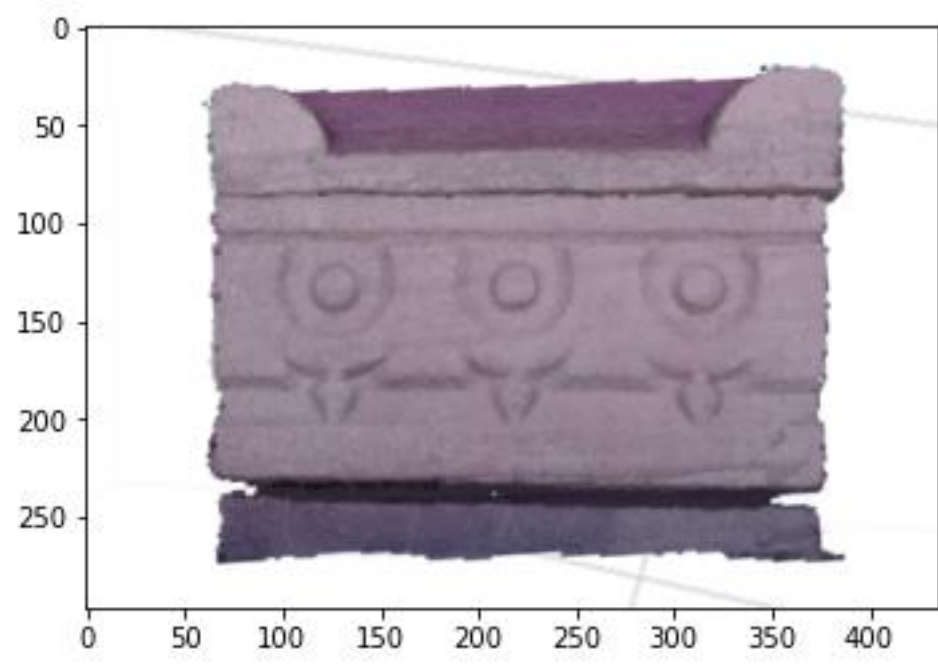
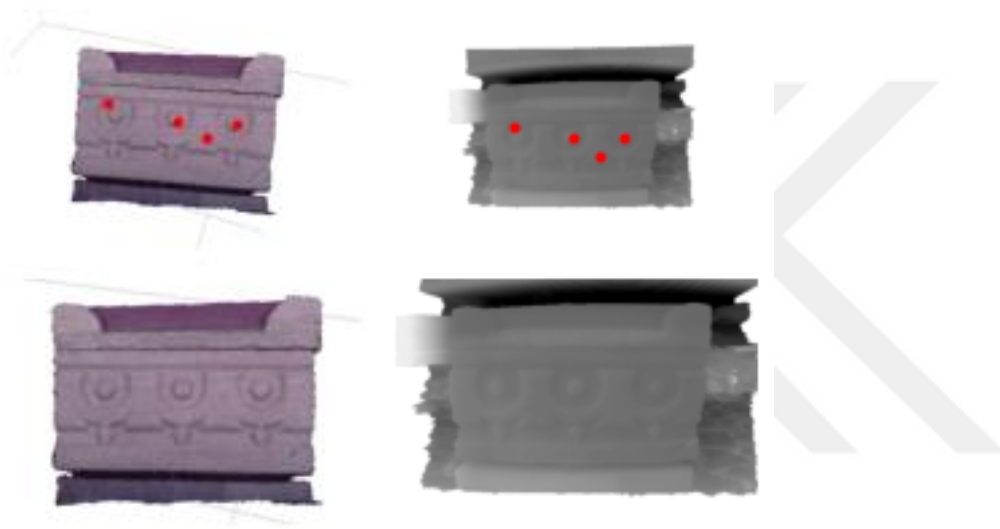
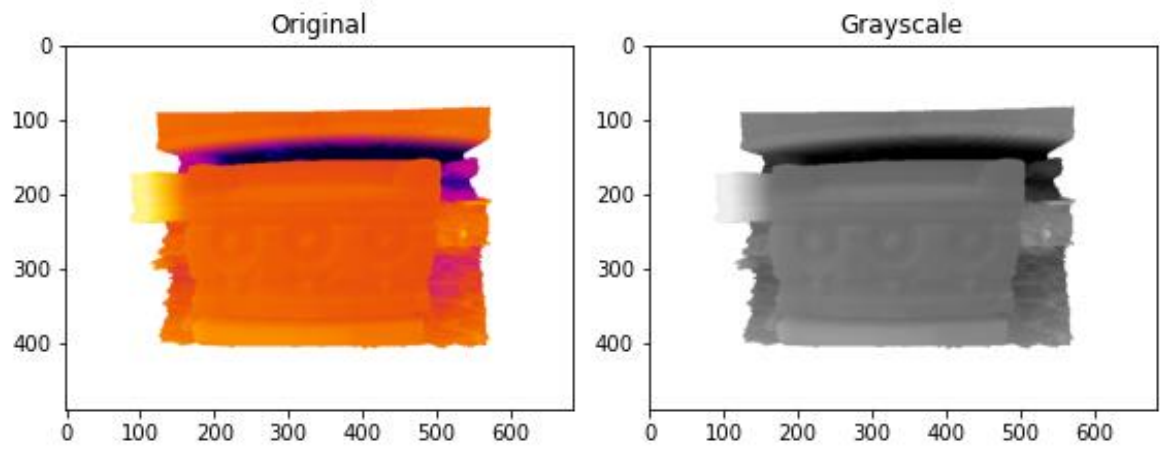
Enhanced NDVI

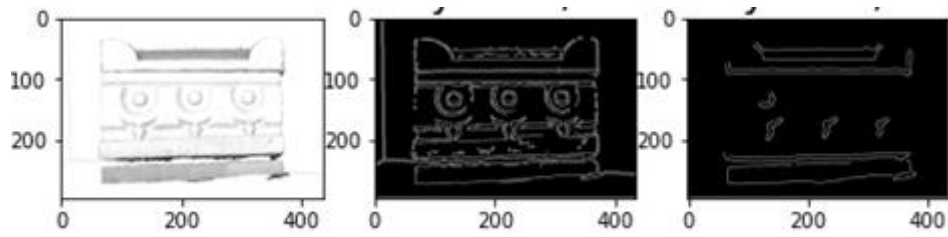


EK 10.

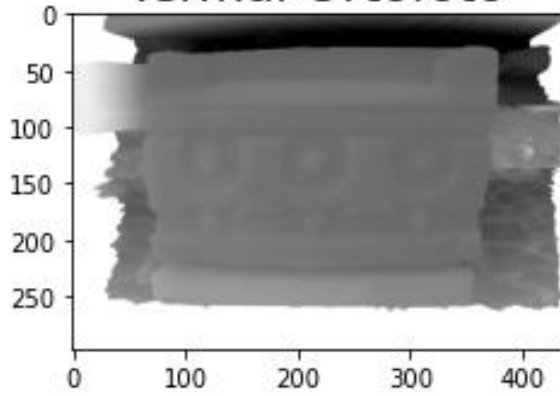
11315 NOLU LAHİTİN C3 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



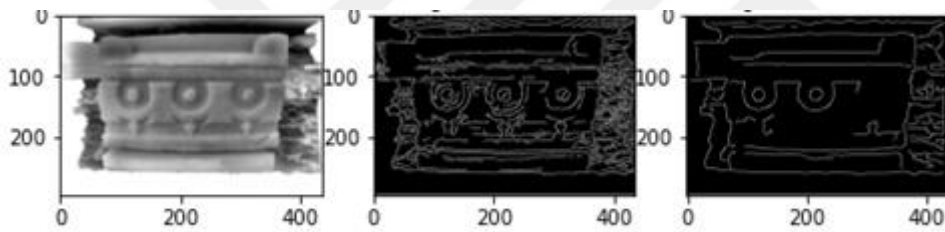
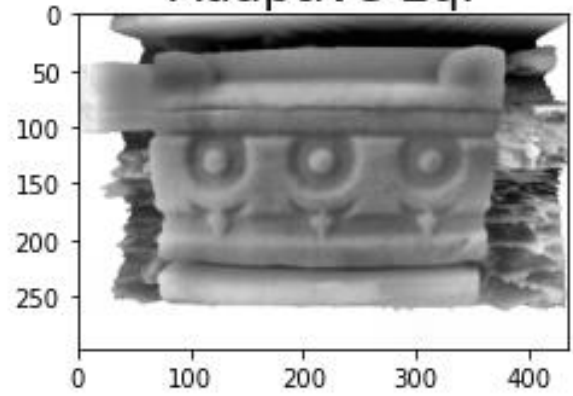




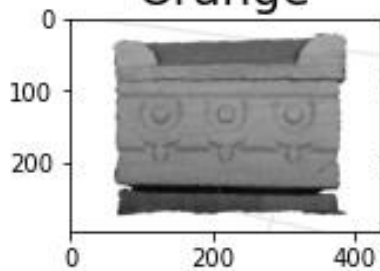
Termal Ortofoto



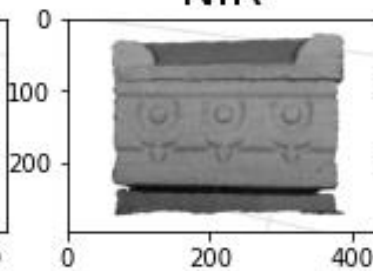
Adaptive Eq.



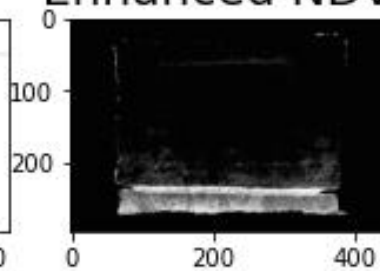
Orange



NIR

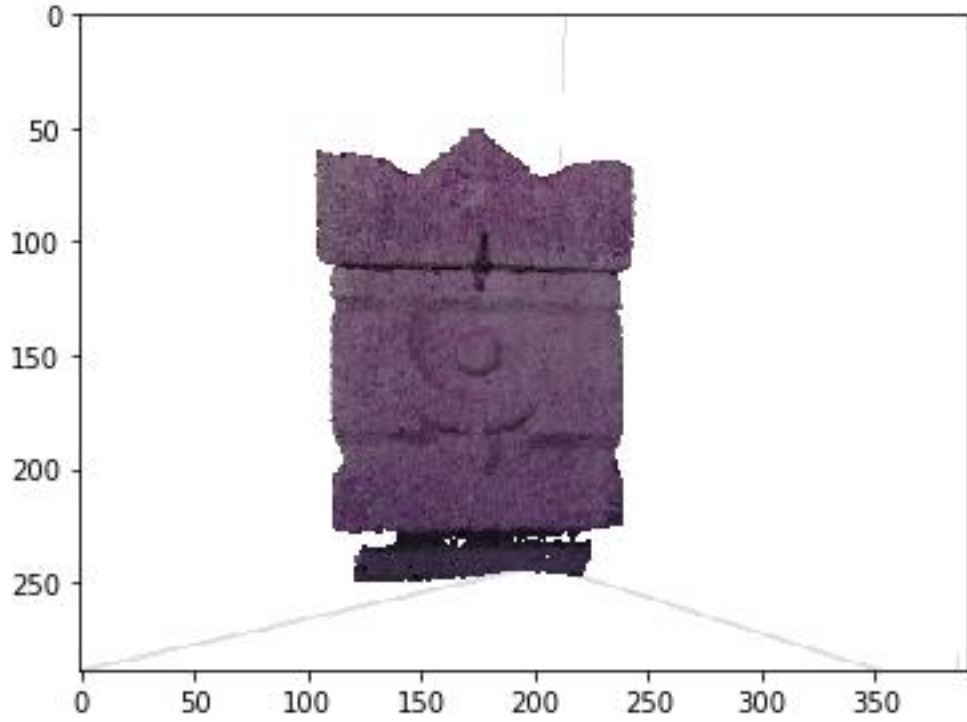
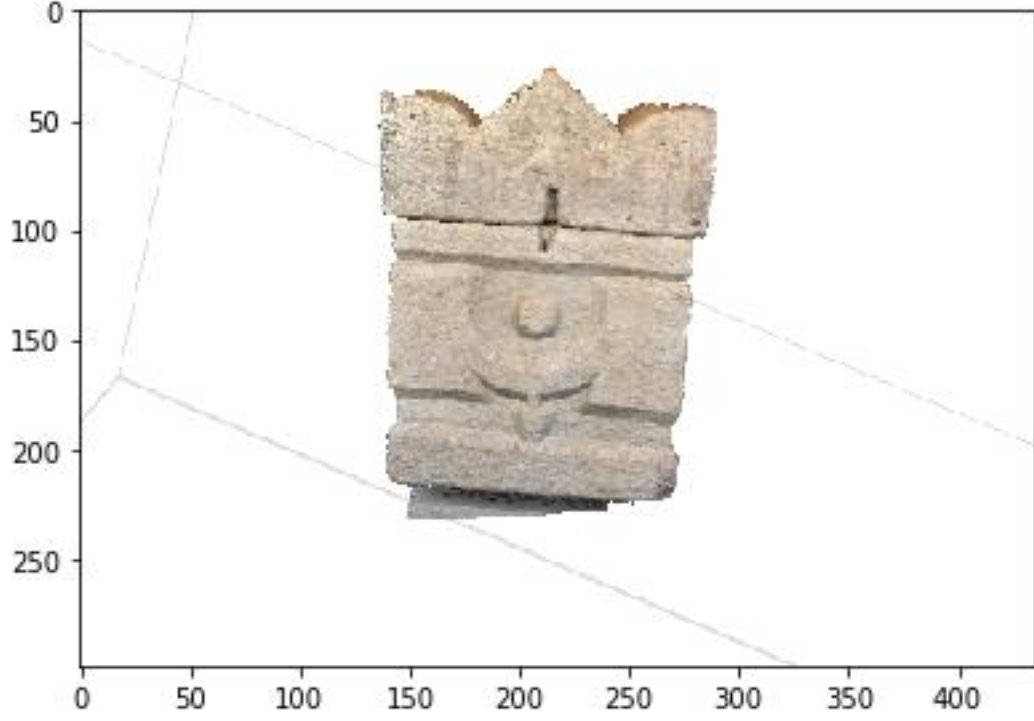


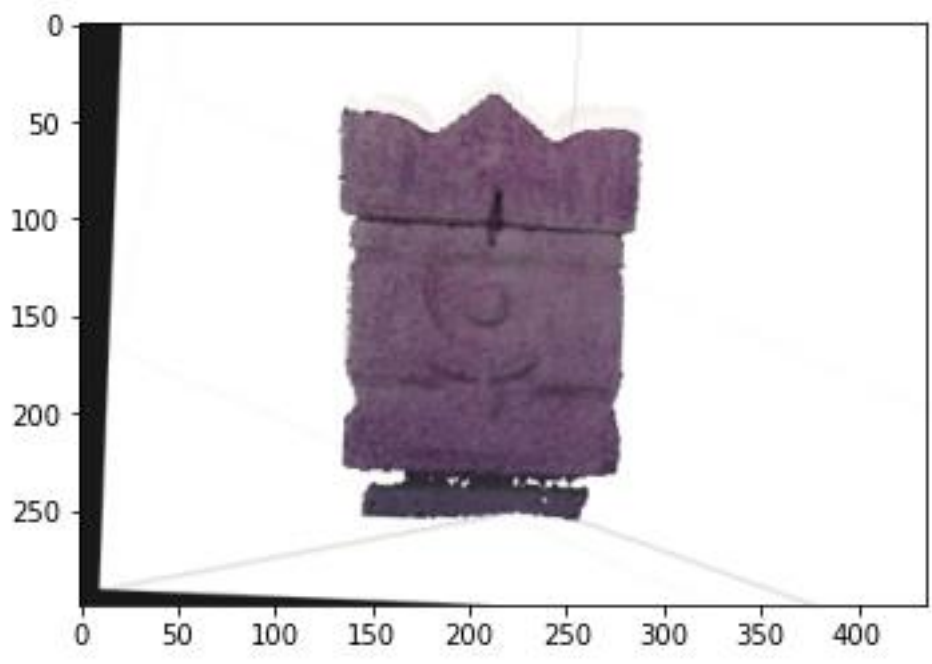
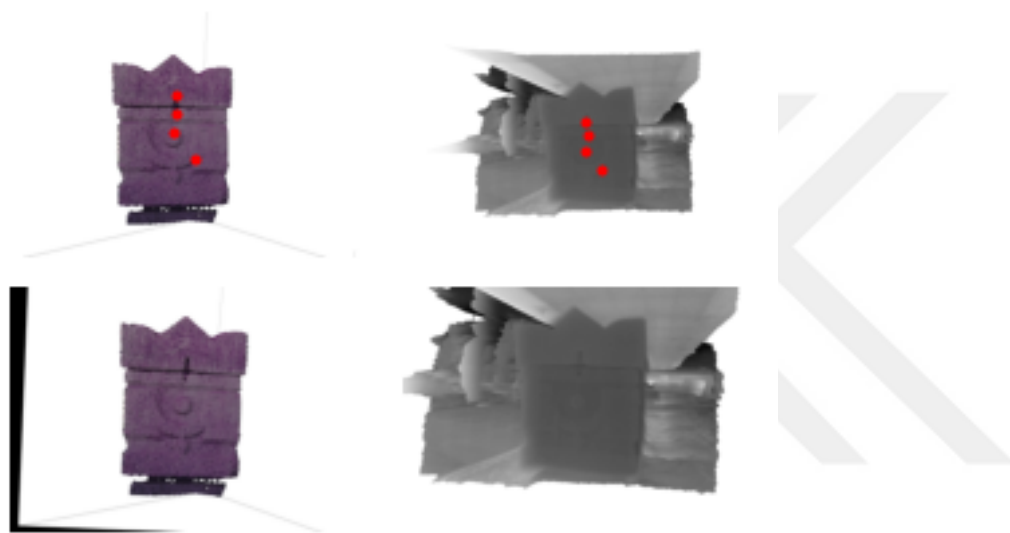
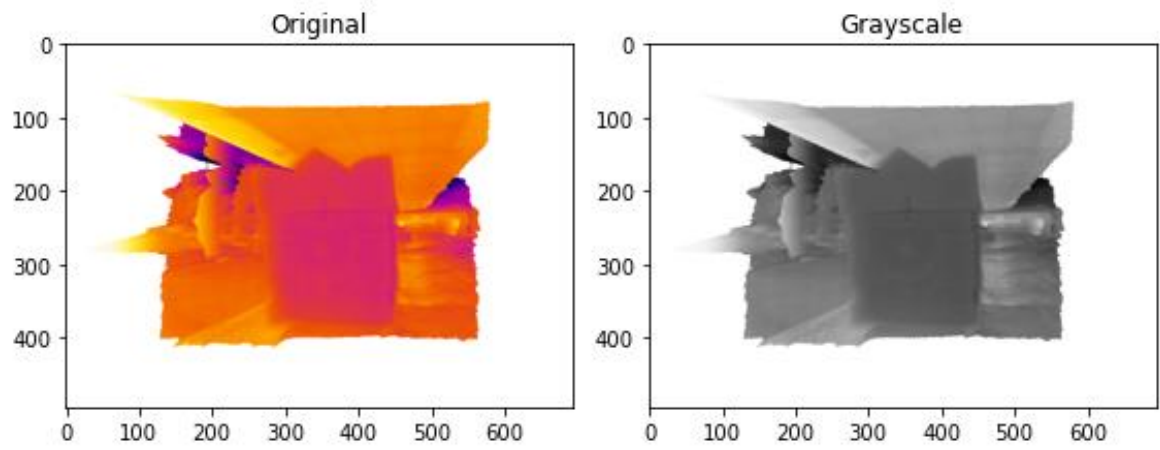
Enhanced NDVI

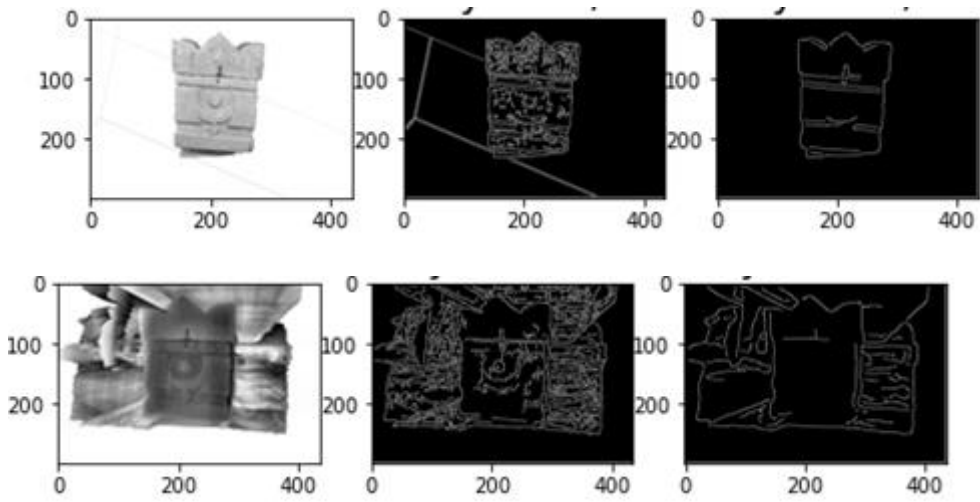


EK 11.

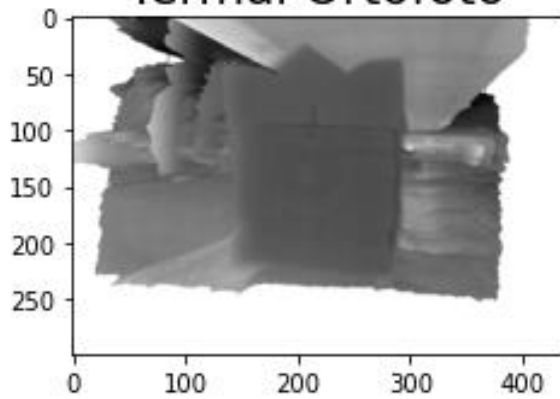
11315 NOLU LAHİTİN C4 NUMARALI CEPHESİNİN GÖRÜNTÜLERİ



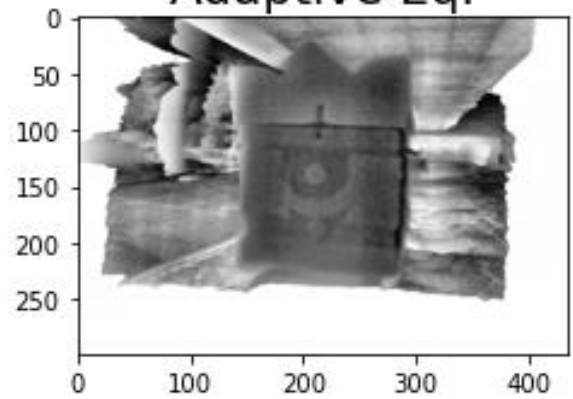




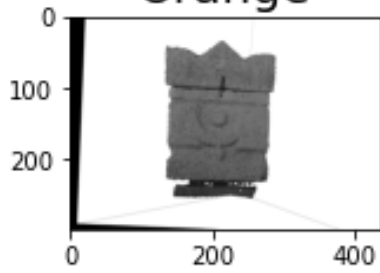
Termal Ortofoto



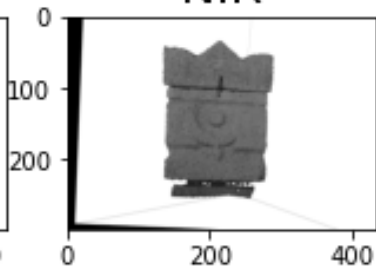
Adaptive Eq.



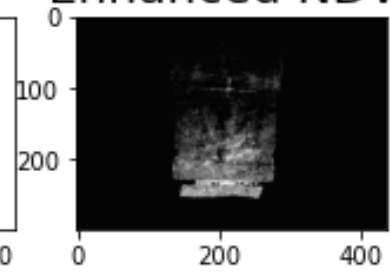
Orange



NIR



Enhanced NDVI



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

İsim SOYİSİM :

Doğum Yeri :

Doğum Tarihi :

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi :

Yüksek Lisans Öğrenimi :

Bildiği Yabancı Diller :

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

a) Yayınlar

b) Bildiriler

c) Katıldığı Projeler

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl:

İLETİŞİM

E-posta Adresi :

ORCID :