



**TARİHİ HAVA FOTOĞRAFLARININ FARKLI YÖNTEMLER İLE
ORTOREKTİFİKASYONU VE DOĞRULUK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertuğrul AVŞAR

Danışman

Prof.Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Prof.Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TARİHİ HAVA FOTOĞRAFLARININ FARKLI YÖNTEMLER İLE
ORTOREKTİFİKASYONU VE DOĞRULUK ANALİZİ**

Ertuğrul AVŞAR

Danışman

Prof.Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman

Prof.Dr. Murat UYSAL

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TARİHİ HAVA FOTOĞRAFLARININ FARKLI YÖNTEMLER İLE ORTOREKTİFİKASYONU VE DOĞRULUK ANALİZİ

Ertuğrul AVŞAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa YILMAZ

İkinci Danışman: Prof. Dr. Murat UYSAL

Uzaktan algılama biliminin uygulama alanları içerisinde önemli bir yeri olan hava sistemleri, eski dönemlerden bu yana yaygın olarak kullanılmış ve günümüzde de gelişen teknoloji ile birlikte aktif olarak kullanılmaktadır. Bahse konu bu uygulamanın temel algılayıcı sistemi analog hava kameraları olmuştur. Analog hava kameraları ile çekilen hava fotoğrafları ise çekim zamanına göre içerdikleri bilgi ile büyük önem arz etmektedir.

Bu kapsamda bu hava fotoğraflarının ortorektifikasyonunun yapılabilmesi ve kullanıcıların hizmetine sunulabilmesi için zamana bağlı olarak kamera parametre bilgilerinin eksik olduğu da varsayılırsa doğru yöntemler kullanılarak ortorektifiye edilmesi gerekmektedir. Bu sayede yapılacak olan birçok çalışmaya ışık tutacak ve geçmişten günümüze olan birçok sorunun ya da değişim analizinin doğru yapılmasına katkı sağlayacaktır. Hava fotoğraflarının eski yıllara ait olması nedeniyle bazı parametre bilgileri günümüzde bilinmemekte ve bu durum karşısında hassas yöneltme işlemi yapılamaya bilmektedir. Bu nedenlerden dolayı hava fotoğraflarının yöneltme işlemlerini farklı yöntemlerle yapmak ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Fakat farklı senaryolarda ortorektifikasyon işlemi yapılarak her bir yöntem arasındaki farklılıkların karşılaştırılması gerekmektedir.

Araştırma çalışmasında bu kapsamda HGM tarafından 1973 yılında çekilen 60 adet hava

fotoğrafi kullanılarak, PCI Geomatica yazılımıyla, otomatik görüntü eşleme ile stereo görüntülerden elde edilen YKN'ler kullanılarak ve Agisoft yazılımıyla iç yöneltme elemanları dâhil edilmeden yapılan ortorektifikasyon işlemleri ile ortofoto üretimi yapılmış ve ortofotoların yatay ekseninde karesel ortalama hata değerleri karşılaştırılmış ve yöntemlerin birbirine göre durumları değerlendirilmiştir.

2022, xii + 56 sayfa

Anahtar Kelimeler: Fotogrametri, Uzaktan Algılama, Analog Hava Kameraları, Analog Hava Fotoğrafları, Ortofoto



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ORTHORECTIFICATION OF HISTORICAL AERIAL PHOTOGRAPHS WITH DIFFERENT METHODS AND ACCURACY ANALYSIS

Ertuğrul AVŞAR

Afyon Kocatepe University

Institute of Science and Technology

Department of Geomatic Engineering

Supervisor: Prof. Mustafa YILMAZ

Co-Supervisor: Prof. Murat UYSAL

Aerial systems, which have an important place in the fields of application of remote sensing science, have been widely used since ancient times and are actively used today along with developing technology. The basic sensor system of this application has been analog aerial cameras. Aerial photographs taken with analog aerial cameras are of great importance with the information they contain according to the shooting time.

In this context, in order for these aerial photographs to be orthorectified and made available to users, if it is also assumed that the camera parameter information is missing depending on the time, it must be orthorectified using the correct methods. In this way, it will shed light on many studies to be done and will contribute to the correct analysis of many problems or changes from the past to the present. Due to the fact that the aerial photographs belong to the old years, some parameter information is not known today, and sensitive orientation cannot be performed in the face of this situation. For these reasons, the need to do the orientation of aerial photographs with different methods has emerged. However, in different scenarios, it is necessary to compare the differences between each method by performing orthorectification.

In the research study of this context, orthophotos were produced by using 60 aerial photographs taken by HGM in 1973, by using GCPs obtained from stereo images with

automatic image matching with PCI Geomatica software, and by orthorectification processes with Agisoft software without including internal orientation elements and the root mean square error values on the axis of the orthophotos were compared and the relative conditions of the methods were evaluated.

2022, xii + 56 pages

Keywords: Photogrammetry, Remote Sensing, Analog Aerial Cameras, Analog Aerial Photography, Orthophoto



TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa YILMAZ ve Sayın Prof. Dr. Murat UYSAL'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Ertuğrul AVŞAR
Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. FOTOGRAMETRİNİN GELİŞİM SÜRECİ.....	4
3. FOTOGRAMETRİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....	8
3.1 Plançete Fotogrametri.....	8
3.2 Analog Fotogrametri.....	9
3.3 Analitik Fotogrametri	10
3.4 Sayısal Fotogrametri.....	10
4. ANALOG FOTOGRAMETRİNİN TEMELLERİ VE ELEMANLARI	12
4.1 Analog Hava Kameraları	14
4.2 Analog Hava Fotoğrafları	16
4.3 Tarayıcılar.....	17
4.4 Analog Hava Kameralarında İç Yöneltilme.....	20
4.5 Analog Hava Kameralarında Dış Yöneltilme	20
4.6 Ortorektifikasyon	22
5. MATERYAL VE METOT	24
5.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri Seti	24
5.2 Çalışmada Kullanılan Yardımcı Veriler	25
5.3 Çalışmada Kullanılan Metodlar	28
5.3.1 Yöntem-1	29
5.3.2 Yöntem-2	36
5.3.3 Yöntem-3	41
6. BULGULAR.....	47

7. SONUÇLAR.....	52
8. KAYNAKLAR	54
ÖZGEÇMİŞ.....	56



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

BN	Bağlama Noktası
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
KN	Kontrol Noktası
KOH	Karesel Ortalama Hata
RMS	Root Mean Square
SYM	Sayısal Yüzey Modeli
SAM	Sayısal Arazi Modeli
TKGM	Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
UA	Uzaktan Algılama
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS84	World Geodetic System 1984
YKN	Yer Kontrol Noktası
YÖA	Yer Örneklem Aralığı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Fotogrametrik ölçüm yöntemlerinin tarihsel gelişimi (Yastıklı 2009).	8
Şekil 4.1 Veri boyutu ve tarama çözünürlükleri arasındaki ilişki.	18



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Dengeleme parametre sonuçları.	26
Çizelge 5.2 Yer kontrol noktaları koordinat listesi.	26
Çizelge 5.3 Metaveri isterleri.	30
Çizelge 5.4 Stage-1 YKN/BN hata değerleri.	33
Çizelge 5.5 Stage-2 YKN/BN hata değerleri.	34
Çizelge 5.6 Yöntem-1 hassas dış yöneltme elemanları.	35
Çizelge 5.7 YKN ve BN hata değerleri.	38
Çizelge 5.8 Yöntem-2 hassas dış yöneltme elemanları.	38
Çizelge 5.9 YKN hata değerleri.	43
Çizelge 5.10 Yöntem-3 hassas dış yöneltme elemanları.	44
Çizelge 6.1 KOH değerleri.	49
Çizelge 6.2 Maksimum ve minimum mutlak farklar.	50

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 2.1 Pilot Wilbur Wright'ın 1908 yılında Fransa üzerinde yaptığı uçuş (Bilgi 2007).....	5
Resim 2.2 HGM 1944 yılı fotogrametri hava ekibinin uçuş hazırlığı (İnt.Kyn.2).....	6
Resim 2.3 Hava fotogrametrisi.	7
Resim 3.1 1935 - Yerden fotoğraflama ekibinin arazi çalışması (İnt.Kyn.2).	9
Resim 3.2 1970 - Zeiss C-8 Fotogrametrik Kıymetlendirme Aletiyle kıymetlendirme yapılırken (İnt.Kyn.2).	9
Resim 3.3 1997 Zeiss Planicomp P Serisi Analitik Alet Sistemi (İnt.Kyn.2).....	10
Resim 3.4 Sayısal fotogrametri elemanları.	11
Resim 4.1 Fotogrametrinin matematiksel modeli (Yastıklı 2009).....	13
Resim 4.2 Analog hava kamerası.	14
Resim 4.3 PromptSCAN M2 Analog hava fotoğrafı tarayıcı cihazı (İnt.Kyn.3).....	17
Resim 4.4 Taranmış hava fotoğrafı.	19
Resim 4.5 Merkezi izdüşüm geometrisi (C Odak uzaklığı, h uçuş yüksekliği).	21
Resim 4.6 Dış yöneltme elemanları.	21
Resim 4.7 Rölyef yer değiştirme (Kiracı 2018).	22
Resim 5.1 Çalışma alanı.....	24
Resim 5.2 Analog hava fotoğrafları.	25
Resim 5.3 Uçuş protokolü.....	25
Resim 5.4 Kamera kalibrasyon raporu.....	25
Resim 5.5 Stereo görüntü çiftlerinden elde edilen yer kontrol noktaları.	26
Resim 5.6 Mozaiklenmiş referans ortogörüntü.	27
Resim 5.7 Sayısal Arazi Modeli (10 m).....	28
Resim 5.8 Ortofoto üretim iş akış şeması.	29
Resim 5.9 Fotoğraf kenar ve köşe markalarının ölçümü.	31
Resim 5.10 Kaba yöneltme (Coarse Alignment) parametreleri.	32
Resim 5.11 Kaba yöneltme (Coarse Alignment) YKN ve BN dağılımı.	32
Resim 5.12 Hassas yöneltme (Fine Alignment) parametreleri.	33
Resim 5.13 Hassas yöneltme (Fine Alignment) YKN ve BN dağılımı.	34
Resim 5.14 Kamera parametreleri.....	37
Resim 5.15 YKN ve BN nokta dağılımı.	38
Resim 5.16 SYM üretim parametreleri.	40

Resim 5.17 SYM verisi.....	41
Resim 5.18 Kamera parametreleri.....	42
Resim 5.19 Koordinat sistemi ve ölçü hassasiyeti.....	42
Resim 5.20 YKN ve BN nokta dağılımı.	43
Resim 5.21 SYM verisi.....	46
Resim 6.1 Kontrol noktaları.....	47
Resim 6.2 Kontrolde kullanılan detay noktaları.	48
Resim 6.3 Detay noktası koordinatları.....	49
Resim 6.4 Yöntem-1 hata dağılım grafiği.....	50
Resim 6.5 Yöntem-2 hata dağılım grafiği.....	51
Resim 6.6 Yöntem-3 hata dağılım grafiği.....	51

1. GİRİŞ

Uzaktan algılama bilimi yeryüzü üzerindeki bir nesne hakkında herhangi bir temas olmaksızın bilgi edinme bilimi olarak tanımlanmaktadır. Geçmişten günümüze kadar uzaktan algılama faaliyetleri devamlı olarak uygulanmış ve gelişen teknoloji ışığında sürekli gelişim göstermiştir. Bu kapsamda uzaktan algılama uygulamaları genellikle yersel, hava ve uzay sistemleri ile kullanılmıştır.

Bu uygulamalardan yaygın olarak kullanılan hava sistemlerinin temelinde analog hava kamera sistemleri gelmektedir. Günümüzde ülkemizde hava fotogrametrisinde yıllar boyunca analog hava kameraları kullanılmış ve ilerleyen teknoloji ile analog hava kameraları yerini sayısal hava kameralarına bırakmıştır.

Bu doğrultuda analog hava kameralarının kullanımına ilk olarak Harita Genel Müdürlüğü (HGM) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) başlamış ve uzun yıllar boyunca analog hava fotoğraflarından harita ve harita bilgisi üretimi gerçekleştirilmiştir. Harita Genel Müdürlüğü bahse konu üzerine 1936 yılından 2008 yılına kadar analog hava kameraları kullanarak hava fotoğrafı çekim faaliyeti gerçekleştirmiş ve çekilen hava fotoğraflarını yıllarca arşivinde saklamış ve günümüze kadar ulaştırmıştır. Ayrıca arşivindeki analog hava fotoğraflarını hassas tarayıcılarda taramış ve sayısal ortama aktarmıştır.

Tarihi hava fotoğrafları kullanım amacına göre birçok alanda geçmişe ışık tutmuştur. Özellikle kadastro mahkemelerinin sınır anlaşmazlıkları, kentsel değişim analizlerinin yapılmasında, kıyı değişimlerinin tespiti, su alanlarının takibi, orman alanlarının değişimi ile arazi değişimlerinin yıllara göre analiz edilmesinde, bina tespit çalışmaları ve üniversite çalışmaları ile deprem, yangın ve sel gibi afet durumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yukarıdaki bahse konular üzerine birçok alanda çalışmalar yapılmıştır. Stephanie A. ve arkadaşları (2016), ekosistemdeki değişim hakkında çalışma yapmış ve dergi yayınında tarihi verilerin önemine değinmiştir. Stephan N. ve arkadaşları (2014), bina tespiti ve bina değişikliği için tarihi hava fotoğrafları ve nesne tabanlı görüntü analizine dayalı çalışma yapmıştır. Ayrıca Nocerino E. ve arkadaşları (2012), kentsel

değişim analizi üzerine faydalı çalışmalar yapmıştır. Ayrıca Uysal M. (2009), tarihi fotoğraflar yardımıyla objenin 3B yeniden oluşturulması için bir takım çalışmalar yapmıştır. Son olarak Pinto A. T ve arkadaşları (2019), arşivlenmiş tarihi hava fotoğraflarından ortofotolar üretmiş ve sosyoekolojik araştırma çalışması yapmıştır. Yukarıda yapılan araştırmalar tarihi görüntüler üzerine yapılan çalışmalara örnek gösterilebilir.

Analog hava kameraları metrik kamera olması sebebiyle çekilen hava fotoğrafları fiziksel yapıya sahip olmakta ve film rulolarına kaydedilmektedir. Film rulolarına kaydedilmesi sebebiyle arşivlenmesi ve saklanması için özel saklama koşullarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yıllar boyunca arşivde saklanan bu rulolar zamanın etkisi ile deformasyona, kullanıcı hatası veya saklama koşullarından kaynaklı bozulmalar neticesinde zarara uğramaktadır. Bu nedenle tarihi anlamı büyük öneme sahip olan bu analog hava fotoğraflarının özel hava fotoğrafı tarayıcıları ile taranarak sayısal ortama aktarılması büyük önem arz etmektedir. Sayısal ortama aktarılabilecek olan analog hava fotoğraflarının uygun çözünürlükte ve fotoğrafın kenar ve köşe markası bilgilerini de içerecek şekilde taramasının yapılması gerekmektedir. Çünkü köşe marka bilgileri tarama içerisine dâhil edilmez ise fotoğrafa ait iç yöneltme işlemini yapmak mümkün olmayacaktır. Bu durumda çok eski tarihli fotoğraflarda zaten kamera kalibrasyon bilgilerinin çoğu analog hava fotoğrafında eksik olduğu varsayılırsa bu durumda fotoğrafların doğru ve hassas yöneltmesi zorlaşacak ve hatalı yöneltme işlemi yapılacaktır. Yöneltme işleminin hatalı yapılması yapılacak olan çalışmalarda analizlerin ve değerlendirmelerin yanlış yapılmasına ve hatalı sonuçların elde edilmesine neden olabilir.

Bu nedenle bahse konu üzerine analog hava fotoğraflarında kamera kalibrasyon bilgisinin eksik olması, pozların zamana bağlı deformasyonundan kaynaklı kenar köşe bilgilerinin okunamaması gibi ihtimallerini de göz önüne alarak 3 yöntem ile ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilerek en doğru sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu doğrultuda 1973 yılında RMK A 15/23 marka analog hava kamerası kullanılarak çekilen Sivas il merkezini içeren 60 adet analog hava fotoğrafından 3 farklı yöntemde ortofoto üretimi yapılmıştır. 3 yöntemde de Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Kontrol Noktası (KN); 2019 yılında

UltraCam Eagle marka sayısal hava kamerası ile 30 cm yer örnekleme aralığında çekilen hava fotoğraflarından “Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi” ile hassas dış yöneltme elemanlarına sahip stereo görüntü çiftlerinden elde edilmiştir.

Bu konu üzerine tarihi (analog) hava fotoğraflarında kamera kalibrasyon bilgisinin olmaması yada kenar köşe marka bilgilerinin okunamaması senaryolarına göre fotoğraflara 3 farklı yöneltme işlemi uygulanarak sonuçlarının analiz edilmesi ve yöntemlerin birbirine göre karşılaştırılması yapılmıştır.



2. FOTOGRAMETRİNİN GELİŞİM SÜRECİ

Eski Yunanca'dan batı dillerine giren fotogrametri sözcüğü 3 kök sözcükten oluşur. Photos (ışık), Grama (çizim), Metron (ölçme). Buna göre ışık yardımı ile ölçme (çizim yapabilme) anlamına gelmektedir. Fotogrametri yöntemlerle ölçülmek istenen nesnenin veya arazinin fotoğrafları çekilebilir ve fotoğraf üzerindeki gerekli bilgiler sağlanabilir ya da özel donanımlar vasıtasıyla görüntülerden harita üretilebilir. Bu doğrultuda fotogrametri, fotoğraflar üzerinden güvenilir bilgiler elde etme bilimi ya da sanatıdır. (Yaşayan vd. 2011).

Çizilmiş olan ilk haritalar genellikle yeni keşifler sonucu ya da ilgili bilim adamlarının gerçekleştirdikleri seyahatler sonucu ortaya çıkmıştır. Yapılmış olan keşifler ve seyahatlerin sayesinde çizilen haritalar yardımıyla aynı zamanda yeni uygarlıkların kurulmasına da ön ayak olmuştur (Uysal 2016).

Fotogrametrinin doğuşu, bazı yazarlar tarafından Aristotle'la kadar götürülür. Aristotle optik izdüşümle görüntü elde etme yöntemini ilk defa ortaya koymuştur. Daha sonra birçok bilim adamı ve araştırmacı tarafından değişik yönleri ile geliştirilmiştir ve halen bu gelişme devam etmektedir (Gürbüz 2006).

1851 senesinde fotogrametrinin babası olarak tanınan Laussedat ölçme yapmak amacı ile bir fotoğraf makinesini kullanmak için davet edilmişti. Fototeodolit kullanmak amacı ile fotoğrafik ölçmeler yapmış ve Paris'in planını 1867 yılında meydana getirmiştir. Bu plan basit arazi ölçme aletleri ile kıyaslandığında daha iyi sonuçlar vermiştir. Laussedat daha sonra fotogrametri ile arazi ölçmeyi geliştiren çeşitli çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmalarda fotoğrafik yatay masa, panoramik apeyeler, fototeodolit, foto gonyometre ve bu tip çeşitli aletler geliştirilerek kullanılmıştır (Tokmanoğlu 1982).

Her yeni alet ortaya çıktıkça merceklerin yapısı fotoğraf materyaline ve kayıtların durumuna işaret etmiştir. Doğru fotoğraflar alınmaya başlandıktan sonra fotoğraflardan elde edilen detayların kullanılmasına ve farklı amaçlarda çeşitli haritalar yapmaya önem verilmiş ve buna göre geliştirilmiştir (Tokmanoğlu 1982).

Fotogrametri tarihinde havadan çekilen ilk fotoğrafı, pilot Wilbur Wright'ın 1908 yılında Fransa üzerinde yaptığı uçuş sırasında, yolcusu L.P.Bonvillain (Resim 2.1) tarafından çekilen fotoğraftır (Bilgi 2007).



Resim 2.1 Pilot Wilbur Wright'ın 1908 yılında Fransa üzerinde yaptığı uçuş (Bilgi 2007).

Bunula birlikte 1927 yılında bir Fransız mühendis olan R.Feber ortofoto fikrini ilk defa ortaya atmış ve yapımını gerçekleştirmiştir. Günümüzde kullanılan ortofoto tekniği temelde R.Feber'in prensibine dayanmaktadır (Gürbüz 2006).

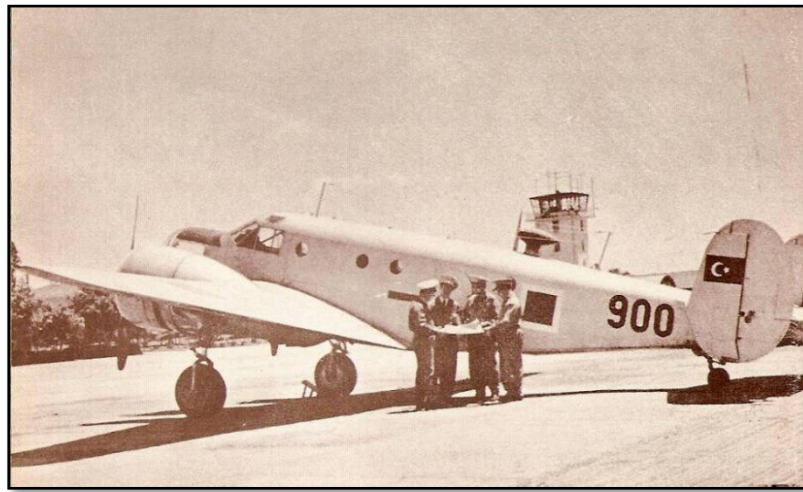
Bütün dünyada fotogrametrinin en büyük gelişmesi Birinci Dünya Savaşı'ndan sonra ve İkinci Dünya Savaşı esnasında önemli faydalar sağlaması dolayısıyla olmuştur. 1917 senesinde Avrupa'da ve Kanada'da fotogrametri arazi ölçme ve harita yapma problemlerinin hali için geniş çapta kullanılmıştır. Almanya'da Meydenbaur ve Pulfrich, Avusturya'da Scheimpflug gibi birçok insan fotogrametri ile arazi ölçmenin gelişmesinde ve yayılmasında öncü olmuşlardır (Tokmanoğlu 1982).

İkinci Dünya Savaşı'nda da çekilen hava fotoğrafları askeri alanda olduğu kadar coğrafi ve ekonomik planlama konularında da büyük ölçüde kullanılmıştır. 1952 ile 1966 yılları arasında çeşitli firmalarca incelik derecesi yüksek ve optik, optik-mekanik veya mekanik

olmak üzere çeşitli kurallara dayalı izdüşüm tipli çeşitli aletler yapılmıştır. Bunlardan bir kısmı günümüzde halen kullanılmaktadır.

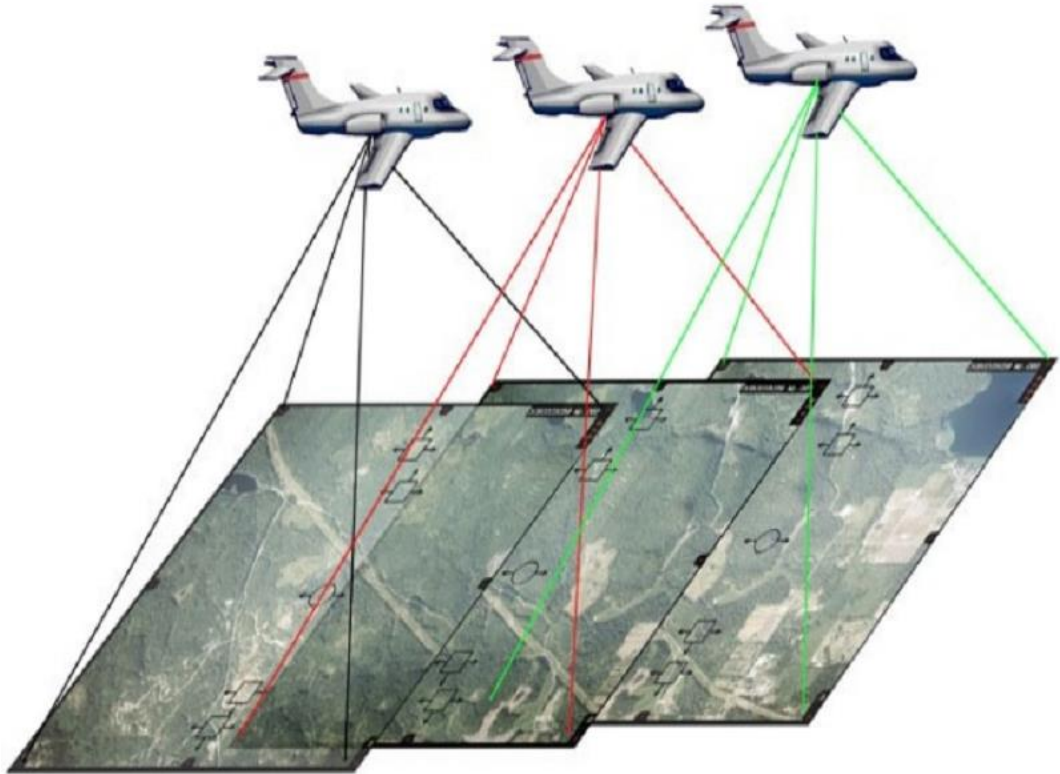
Elektronik veri işlemenin ortaya çıkması ile fotogrametri de büyük bir ivme başlamıştır. Optik-Mekanik elemanların yerine artık daha sık olarak işlemciler kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişme geçen yüzyılın 50'li yıllarında ilk analitik değerlendirme aletinin ortaya çıkması ile en üst düzeye ulaşmıştır. Aynı zamanlarda fotogrametriyi büyük ölçüde sabit noktalardan kurtaran hava triangülasyonu önemli bir gelişme göstermiştir. Fotogrametrinin geleceğe yönelik gelişmeleri dijital resim ve dijital görüntü işlemeye yöneliktir. Analitik fotogrametrinin de yerinin son yıllarda hemen hemen dijital fotogrametri almıştır (Kraus 2007).

Ülkemizde fotogrametri ilk defa 1925 yılında HGM tarafından yersel resimler yardımıyla 1:25.000 ölçekli haritaların yapımında uygulanmaya başlanmıştır. 1936 yılında 1:25.000 ölçekli haritaların yapımında kullanılmak üzere hava fotogrametrisi uygulamasına geçilmiştir. Hava fotogrametrisinin sağladığı büyük faydalar sayesinde uygulama artarak devam etmiş ve ülke sınırlarının tamamında uygulaması yıllara bağlı olarak yapılmıştır. HGM öncülüğünde başlatılan fotogrametrik uygulamalara ilerleyen yıllar içerisinde TKGM'de dahil olmuş ve 1:5.000 ölçekli fotogrametrik çalışmaları günümüzde de hala devam etmektedir (Resim 2.2).



Resim 2.2 HGM 1944 yılı fotogrametri hava ekibinin uçuş hazırlığı (İnt.Kyn.2).

Artan harita ihtiyacının kısa sürelerde tamamlanması isteği, fotogrametrinin harita yapımında yaygın olarak kullanılmasını ve dolayısıyla hızla gelişmesini sağlamıştır. Bu gelişme uygulama alanlarını da büyük ölçüde arttırmıştır. Fotogrametri haritacılığın dışında tarımda, ormancılıkta, çeşitli inşaat işlerinde, mimarlıkta, coğrafya, jeoloji ve jeomorfolojide, şehircilikte, arkeolojik çalışmalarda, endüstride, tıpta, çevre mühendisliğinde, meteorolojide, madencilikte, kara ve demiryolu yapım ve bakımında kısaca görüntülenebilen her nesnenin incelenmesi, ölçülmesi ve değerlendirilmesi konularında büyük başarı ile kullanılmaktadır (Resim 2.3). Bilgisayarların kontrol ettiği değerlendirme aletlerinde 1 μm doğrudan ölçülebilmekte, değerlendirme işlemi çizgisel fotografik veya sayısal biçimde el ile veya otomatik olarak yapılabilmektedir. Resimler özel tarayıcılarla 7 μm ila 120 μm 'lik görüntü parçacıkları (piksel) halinde sayısallaştırıldıktan sonra uygun yazılımlar kullanılarak haritalar sayısal olarak elde edilebilmektedir (Gürbüz 2006).



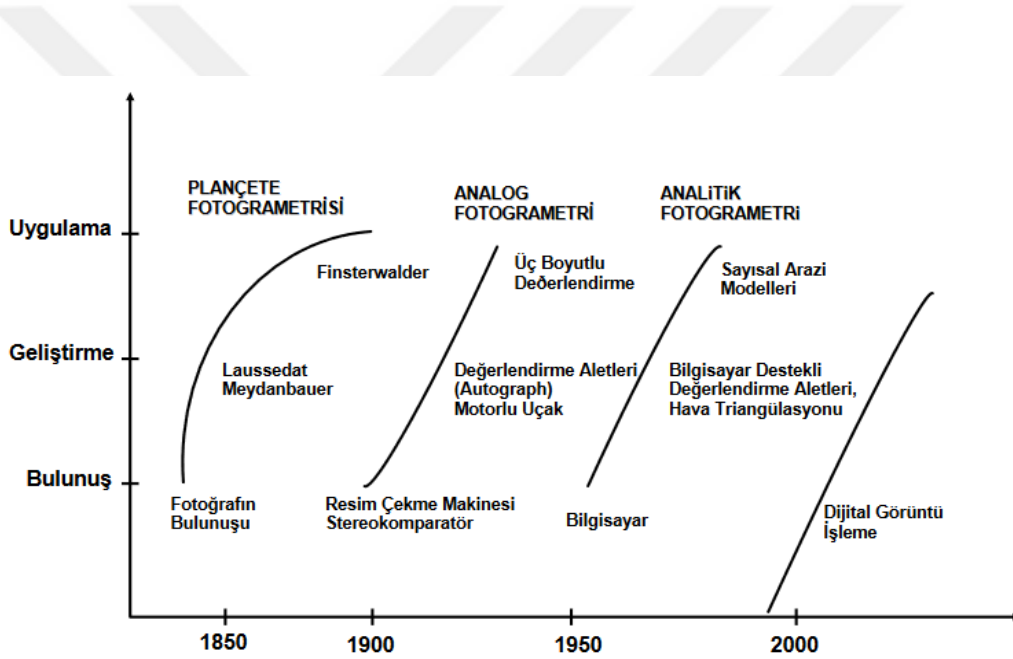
Resim 2.3 Hava fotogrametrisi.

3. FOTOGRAMETRİK ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Fotogrametrik ölçüm yöntemleri yıllara bağlı olarak gelişen teknolojinin ışığında değişim göstermiştir.

Bu yöntemler Şekil 3.1’de gösterildiği gibi sırasıyla;

- Plançete Fotogrametrisi,
- Analog Fotogrametri,
- Analitik Fotogrametri,
- Dijital Görüntü İşleme, olarak sıralanabilir.



Şekil 3.1 Fotogrametrik ölçüm yöntemlerinin tarihsel gelişimi (Yastıklı 2009).

3.1 Plançete Fotogrametri

Resimler üzerinden açı (doğrultu) ve mesafe ölçmeleri ile projektif ve perspektif geometrinin kavramlarını kullanarak vektör bazlı harita üretimi için kullanılan yöntemdir (Yaşayan vd. 2011).



Resim 3.1 1935 - Yerden fotoğraflama ekibinin arazi çalışması (İnt.Kyn.2).

3.2 Analog Fotogrametri

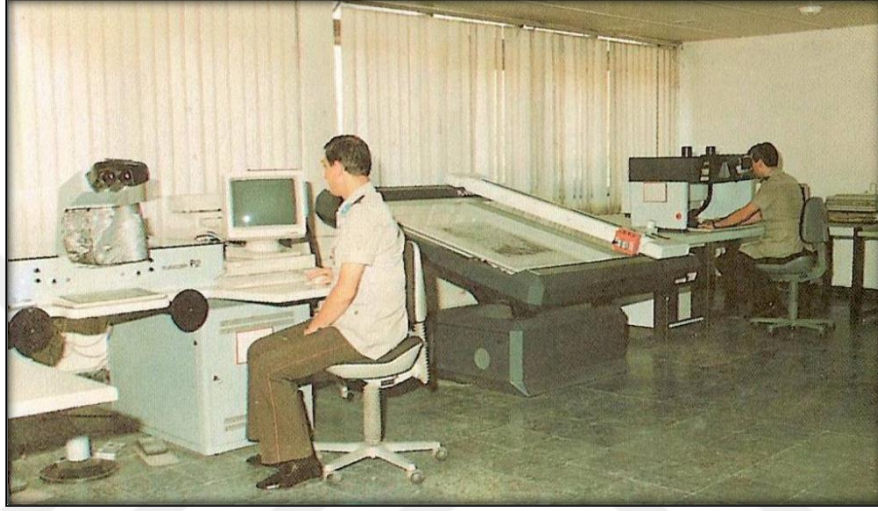
Optik veya optik mekanik değerlendirme aletlerinde (Resim 3.2) stereo olarak çekilmiş görüntüler yardımıyla nesnenin üç boyutlu modelinin stereoskopi tekniğiyle yeniden elde edilmesi ve nesnenin çizimsel yollarla yorumlanabildiği fotogrametri tekniğidir (Yaşayan vd. 2011).



Resim 3.2 1970 - Zeiss C-8 Fotogrametrik Kıymetlendirme Aletiyle kıymetlendirme yapılırken (İnt.Kyn.2).

3.3 Analitik Fotogrametri

İşlemlerin matematiksel yöntemlerle yapıldığı, stereo değerlendirme aletlerine bilgisayar ve elektronik ölçme sistemlerinin eklenmesi (Resim 3.3) ile bazı yöneltme, ölçme ve değerlendirme işlemlerinin otomatik ya da yarı otomatik yollarla yorumlandığı fotogrametri tekniğidir (Yaşayan vd. 2011).



Resim 3.3 1997 Zeiss Planicom P Serisi Analitik Alet Sistemi (İnt.Kyn.2).

3.4 Sayısal Fotogrametri

Sayısal formata dönüştürülmüş stereo görüntülerin tamamen bilgisayarlar vasıtasıyla ve bilgisayar ortamında bütün işlemlerinin yapılabildiği fotogrametri tekniğidir (Yaşayan vd. 2011).

Dijital ya da sayısal fotogrametride analog resimler yerini dijital resimlere bırakmıştır. Bütün ölçme ve değerlendirme işlemleri bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Dijital kameralar veya tarayıcılar kullanıldığında, resimler doğrudan bilgisayara aktarılabilir. Birçok fotogrametrik işlem (örn: Sayısal Yüzey Modeli (SYM) çıkarma, dijital ortofoto üretimi) otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Üretilen harita, Sayısal Arazi Modeli (SAM) ve sayısal ortofotolar bilgisayar ortamında saklanabilmektedir (Resim 3.4). Bu yönüyle kullanıcılar için depolama, yönetim ve uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Dijital fotogrametrinin gelişimi ile fotogrametrik

teknikler Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile entegrasyon sağlamıştır (Karşlı).



Resim 3.4 Sayısal fotogrametri elemanları.

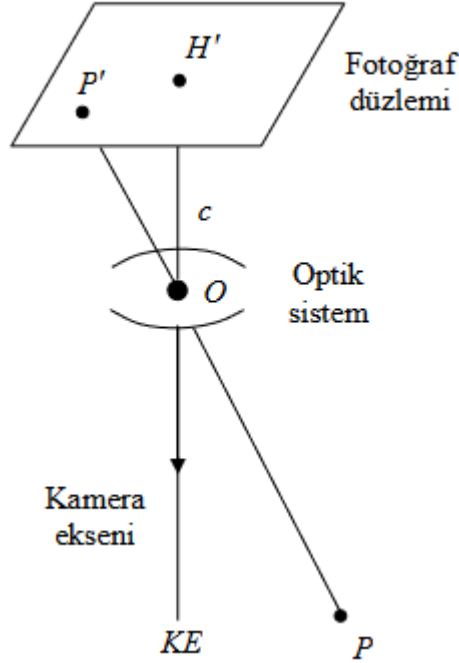
4. ANALOG FOTOGRAMETRİNİN TEMELLERİ VE ELEMANLARI

Fotogrametrinin temeli, görüntülerden ya da fotoğraflardan çevre hakkında bilgi elde etmektir. Bu kısım, 2 boyutlu perspektif görüntülerden geometrik 3 boyutlu ölçümlerin elde edilmesine izin veren matematiksel temelleri ayırtmıştır.

Fotoğraf kameralarıyla ve diğer birçok optik algılayıcı cihaz ile ölçümün temel ilkesi basittir. Işık düz ışınlar boyunca hareket eder ve bu ışınlar kamera tarafından kaydedilir. Bu nedenle algılayıcı sensör, 3 boyutlu uzaydaki yönleri hesaplar. Temel fotogrametrinin geometrik ilişkisi, bu nedenle basit bir eş doğrusallık kısıtlamasıdır. Bir 3 boyutlu yeryüzü noktası, kameradaki görüntüsü ve kameranın projeksiyon merkezinin tamamı düz bir çizgi üzerinde uzanmalıdır. Bununla birlikte, modelin tek bir algılayıcıyla elde edilmesi koşulu olduğuna dikkat edilmelidir. İzdüşüm merkezi ve doğrusal ışınlar boyunca merkezi olmayan izdüşümlerde de uzantılar vardır. Fiziksel bir kamerada, ışığa duyarlı sensör düzlemi, projeksiyon merkezinin arkasında bulunur ve görüntü baş aşağı çekilir. Ancak bir yansıma olduğu gibi kameranın önünde bulunan görüntü düzlemi ile simetrik bir kurgu söz konusudur (Schindler).

Bir nesnenin görüntüsü, 3B nesnenin 2B temsili olarak açıklanır. Bir nesnenin 3B uzaydaki konumunu 2B görüntüdeki konumu ile ilişkilendiren matematiksel modele projeksiyon denir. Çoğu standart fotogrametrik algoritmalar perspektif projeksiyonuna dayanır. Perspektif projeksiyonu, sensörü bir düzlem (görüntü düzlemi olarak adlandırılır) ve bir nokta (perspektif merkezi olarak adlandırılır) olarak modellemektedir. 3B uzayda hedef üzerindeki bir noktanın, görüntü düzlemindeki karşılık gelen noktasının ve perspektif merkezinin hepsinin düz bir çizgi üzerinde uzandığı varsayılır. Başka bir deyişle, hedeften gelen tüm ışık ışınlarının hedeften düz bir çizgide, perspektif merkezinden görüntü düzlemine geçtiği varsayılır (Blonquist F. K 2008). Resim 4.1 çerçeve görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Çerçeve görüntü geometrisinin (frame image) temel prensibi izdüşüm merkezi (O), görüntü noktası P' ve buna karşılık gelen arazi noktası P'nin tek bir doğru üzerinde olmasıdır. Bu doğru, görüntü koordinat sisteminde ve yersel koordinat sisteminde vektör bileşenleri olarak ifade edilebilir. Bu görüntü ve yersel koordinat sistemi arasındaki bağıntı üç

dönüklük parametresi ile ifade edilebilir.



Resim 4.1 Fotogrametrinin matematiksel modeli (Yastıklı 2009).

İzdüşüm Merkezi: Kamera optik sisteminin O noktası. Bütün ışınlar bu noktadan geçer.

İzdüşüm Işını: Nesne uzayındaki bir noktadan geçen ve izdüşüm merkezinden geçtikten sonra fotoğraf noktasını oluşturan doğru parçası. POP'

Kamera Optik Eksenini : Kamera optik sisteminin eksenini, KE

Asal Nokta : Kamera ekseninin fotoğraf düzlemini kestiği nokta. Bu nokta aynı zamanda izdüşüm merkezinden fotoğraf düzlemine indirilen dikinin ayağı, H'

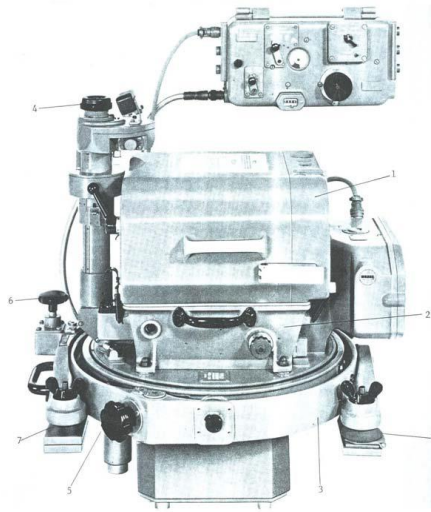
Asal Uzaklık : Fotoğraf düzlemi ile izdüşüm merkezi arasındaki mesafe, $OH'(c)$ (Yastıklı 2009).

4.1 Analog Hava Kameraları

Fotogrametrik belgeleme için özel olarak tasarlanmış, kamera kalibrasyonu yapılmış, optik ve mekanik donanımdan kaynaklı hataların en az seviyeye indirildiği, film şerit üzerine (Rulolara) çekim yapan özel kameralardır (Selçuk vd. 2010).

Analog hava kameraları her şeyden önce metrik kamera sistemleridir. Hava kamerası objektifleri, birçok mercekten meydana gelen bir algılayıcı sistemidir. Başlıca özellikleri iç yöneltme elemanlarının bilinmesidir (Gürbüz 2006).

Hava fotogrametrisi için fotoğraf çekiminde kullanılan kameralar (hava kameraları), görüntü düzlemi sabit olan yani mesafe ayarı yapılamayan kameralardır. Objektifleri hassas, ayırma gücü yüksek ve distorsiyonları küçüktür. Resim 4.2’de de örneği gösterilen kameralar özel yapıdaki bir uçağa, bir helikoptere ve bazen bir uyduya monte edilerek kullanılırlar (Gürbüz 2006).



Resim 4.2 Analog hava kamerası.

Sonuç olarak hava kameraları, hava fotoğrafı çekme amaçlı kullanımları ile dünya yüzeyinin uzaktan algılanması için kullanılan en basit ve en eski sensörlerdir. Kameralar, yüzeyin bir alanının anlık görüntüsünü elde eden çerçeveleme sistemleridir. Kamera sistemleri, bir görüntünün keskin bir şekilde tanımlandığı düzlem olan odak düzleminde

bir görüntü oluşturmak için bir mercek (veya topluca optik olarak adlandırılan mercek sistemi) kullanan pasif optik sensörlerdir (İnt.Kyn.1).

Hava kameraları farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

Çekim şekline göre;

- Metrik Kameralar
- Panoramik Kameralar
 - Doğrudan tarayanlar
 - Döner ayna ile tarayanlar
 - Optik çubuk türü olanlar

Çoğu hava fotoğrafı, görüntü alma anındaki kamera düzleminin yönüne bağlı olarak eğik veya dikey olarak sınıflandırılır. Eğik hava fotoğrafları, uçağın yan tarafına yönlendirilmiş kamera ile çekilir. Yüksek eğik fotoğraflar genellikle ufku içerirken, düşük eğik fotoğraflar içermez. Eğik fotoğraflar, çok geniş alanları tek bir görüntüde kaplamak ve arazi kabartmasını ve ölçeğini göstermek için faydalı olabilir. Bununla birlikte, haritalama için yaygın olarak kullanılmazlar çünkü ön plandan arka plana doğru ölçek bozulmaları ile mesafe, alan ve yüksekliğin kolay ölçümlerini engellemektedir.

Tek lensli bir çerçeve kamerayla çekilen dikey fotoğraflar, uzaktan algılama ve haritalama amacıyla hava fotogrametrisinde en yaygın kullanım türüdür. Bu kameralar, geometrik bozulmaları sınırlarken hızlı bir fotoğraf dizisi yakalamak için özel olarak üretilmiştir. Her fotoğrafa anında doğru coğrafi koordinatların atanmasını sağlamak için genellikle uçak platformundaki navigasyon sistemleriyle bağlantılıdır. Çoğu kamera sistemi, bozulmayı mümkün olduğunca sınırlamak için uçağın hareketinin düzleme göre etkisini elimine eden mekanizmaları da içerir (İnt.Kyn.1).

Bu nedenle fotogrametrik amaçlı harita yapımında genellikle metrik kameralar kullanılır. Özel amaçlar dışında fotoğraflar filmler üzerine çekilir. Filmler genellikle 60-70 m uzunluğundadır ve rulolar 24 cm enindedirler. Ayrıca bir rulodaki filmin uzunluğu, inceliği ile de ilgilidir. Metrik kameralar, tek tek ya da seri şekilde resim çekebilme özelliğine sahiptir. Bunlardan seri çekim yapanlar (seri kameralar), ayarlanabilen belirli

zaman aralıklarında (t) (cycling time), art arda otomatik olarak resim çekerler. Bu nedenle hava fotogrametrisinde genellikle seri kameralar kullanılır (Gülbüz 2006).

4.2 Analog Hava Fotoğrafları

Fotogrametrik amaçlı kullanılan filmler, ultraviyole (UV), görünür ve yakın kızılötesini (NIR) kapsayan dalga boyunda 0,3 μm ile 0,9 μm arasındaki ışığa duyarlıdır. Pankromatik filmler UV' ye ve spektrumun görünür kısımlarına karşı duyarlıdır. Pankromatik film, siyah beyaz görüntüler üretir ve hava fotoğrafçılığı için kullanılan en yaygın film türüdür. Siyah beyaz kızılötesi fotoğrafçılığı, 0.3 ile 0.9 μm dalga boyu aralığının tamamına duyarlı filmler kullanır ve NIR yansımalarına karşı duyarlılığı nedeniyle bitki örtüsü üzerindeki farklılıkları tespit etmek için kullanışlıdır (İnt.Kyn.1).

Renkli fotoğrafçılığı, her katmanın farklı ışık aralıklarına duyarlı olduğu üç katmanlı bir filmin kullanılmasını içerir. Normal renkli bir fotoğraf için katmanlar mavi, yeşil ve kırmızı ışığa duyarlıdır yani gözlerimizle aynıdır. Bu fotoğraflar bize gözlerimizin çevreyi gördüğü gibi gösterir, çünkü renkler bize "normal" olarak görünenlere benzerdir. (yani ağaçlar yeşil görünür, vb.) Renkli kızılötesi (CIR) fotoğrafçılığı, üç emülsiyon katmanı, sırasıyla mavi, yeşil ve kırmızı olarak görünecek şekilde işlenen yeşil, kırmızı ve yakın kızılötesi radyasyonun fotografik kısmına duyarlıdır. Yanlış renkli (False color) bir fotoğrafta, yakın kızıl ötesi yansıması yüksek hedefler kırmızı, kırmızı yansıması yüksek olanlar yeşil ve yeşil yansıması yüksek olanlar mavi görünür, böylece hedeflerin normalde algıladığımız renge göre "yanlış" bir sunumunu yaparız.

Uçaktan çekilen çok detaylı fotoğraflar, detayların veya küçük hedeflerin tanımlanmasının gerekli olduğu birçok uygulama için kullanışlıdır. Bir fotoğrafın zemin kaplaması, objektifin odak uzaklığı, platform yüksekliği ve filmin formatı ve boyutu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Odak uzaklığı, kamera lensinin açılabilir görüş alanını etkili bir şekilde kontrol eder ve kamera tarafından görülen alanı belirler. Bu nedenle kullanılan tipik odak uzunlukları 90 mm, 210 mm ve en yaygın olarak 152 mm'dir. Kapsanan alan aynı zamanda platformun yüksekliğine de bağlıdır. Yüksek irtifalarda, bir kamera zeminde daha düşük irtifalardan daha geniş bir alanı daha az ayrıntıyla görecektir. Hava

fotoğrafları, 50 cm'den daha az uzamsal çözünürlüğe kadar ince detaylar sağlayabilir. Bir fotoğrafın mekânsal çözünürlüğü, her veri alımında değişen birçok faktöre göre değişir (İnt.Kyn.1).

4.3 Tarayıcılar

Profesyonel fotogrametrik tarayıcılar (Resim 4.3) genellikle analog hava fotoğraflarını sayısallaştırmak için kullanılır.



Resim 4.3 PromptSCAN M2 Analog hava fotoğrafı tarayıcı cihazı (İnt.Kyn.3).

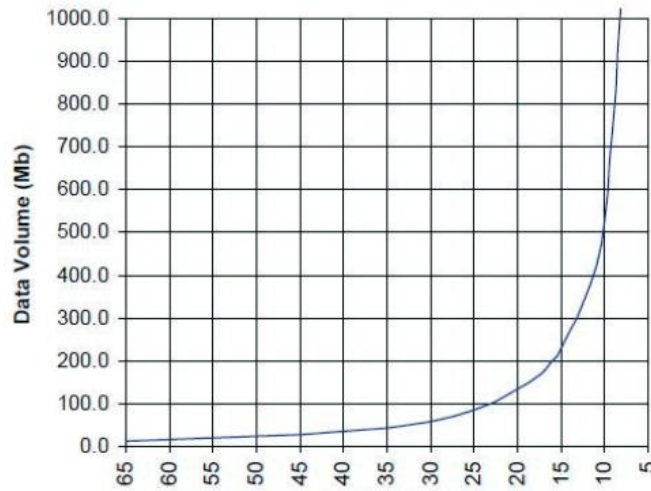
Bu tarayıcılar, uygun bir tarih formatındaki fotoğrafları tarama kapasitesine göre (örneğin, 23 x 23 cm boyutlar) kullanılabilir. Saydamlık birimi ve yüksek geometrik ve radyometrik çözünürlük gibi temel gereksinimleri karşılayan dijital formatta analog fotoğraf malzemesi (negatif veya pozitif) üretebilir. Farklı profesyonel fotogrametrik tarayıcı türleri, farklı maksimum tarama çözünürlüğü altında tarama yapabilmektedir. Örneğin DSW300 LH Sistemleri - 4 mm; SCAI, Zeiss - 7 mm; XL- 10ISM - 10 mm (Kraus 2000).

Uygun bir tarama aralığının seçimi, yani dijital resmin bir ögesinin (piksel) boyutu analog hava fotoğraflarının taranmasında önemli noktadır. Tarama aralığı (tarama / piksel

Çözünürlüğü) in başına nokta sayısı (dpi) veya mikrometre ile belirtilir. Piksel özünürlüğü gösterilen bağıntı (4.1) ile hesaplanır (Ruzgiene vd. 2012).

$$\Delta D(m) = \frac{0.0254 \times \text{Fotoğraf Ölçeği}}{\Delta (dpi)} \quad (4.1)$$

Dijital ortamda yer alan bilgi miktarı görüntü piksel boyutuna bağlıdır. Tipik olarak, dijital görüntülerde piksel çözünürlükleri yaklaşık olarak değişebileceğinden dolayı fotoğraflar 250 µm (in başına 100 nokta (dpi)) ile 10 µm (2500 dpi) arasında taranır. Ancak, genellikle hava fotoğraflarının 300 ile 600 dpi çözünürlük altında taranması önerilir. Bu nedenle tarama çözünürlüğü 25 µm'nin altına düştükçe veri hacmi (mb) Şekil 4.1' de belirtildiği üzere keskin bir şekilde artmaktadır (Ruzgiene vd. 2012).



Şekil 4.1 Veri boyutu ve tarama çözünürlükleri arasındaki ilişki.

Kural olarak, görüntüdeki bir özelliği temsil etmek için en az 2-4 piksel gerekmektedir. Teorik açıklamalar, fotoğrafın çözünürlük kısıtlamasında bir çizgi çiftini temsil etmek için yaklaşık en az 2 pikselin gerekli olduğunu göstermektedir. Daha büyük bir piksel boyutu daha fazla bilgi kaybına neden olur ve fotogrametrik ölçümler yanlış sonuçlar verir. Bu sebeple tarama çözünürlüğü gerektiği kadar yüksek ve mümkün olduğunca düşük olmalıdır.

Dijital haritalamada analog hava fotoğraflarının tarama aralığı, doğruluk gereksinimlerine bağlı olarak seçilir. Arazi birimlerinde mutlak yöneltmenin doğruluğu taranan hava fotoğraflarında pikselin 1/2'si büyüklüğü ile tanımlanır. Örneğin, 1:6000 ölçeğindeki analog hava fotoğrafları 50 mm çözünürlük altında taranırsa, nesne alanının piksel boyutu 30 cm'dir. Böylelikle, dış yöneltmenin doğruluğu 25 mm'ye ulaşabilir. Yüksekliklerde maksimum ulaşılabilir doğruluk (0.1% uçuş yüksekliği) ayrıca tarama çözünürlüğüne de bağlıdır. 23 × 23 cm boyutlarındaki hava fotoğrafları A4 formatını aşmaktadır. Böylece, bu hava fotoğraflarını taramak için bir A3 formatı gereklidir. Çünkü iç yöneltmeyi gerçekleştirirken köşe markası işaretleri açıkça görülmelidir (Linder 2009).

Ayrıca Resim 4.4' de gösterilen taranmış analog hava fotoğrafları, “BMP”, “JPG” ve “TIFF” gibi uygun görüntü formatlarında saklanabilmektedir.



Resim 4.4 Taranmış hava fotoğrafı.

4.4 Analog Hava Kameralarında İç Yönelme

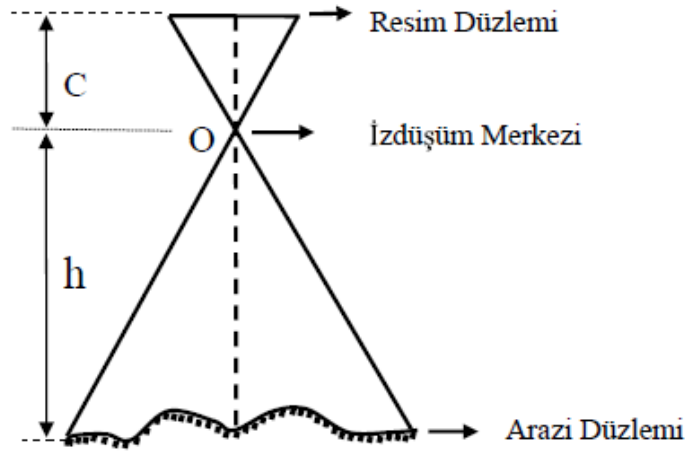
İç yönelme resmi oluşturan ışınların, yani resim çekimi sırasında objektiften geçen ışınların küçültülmüş veya büyültülmüş olarak ışın demeti oluşturacak biçimde yeniden elde edilmesidir. İç yönelme, izdüşüm merkezine göre resim noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı ifade eder. Böylece resim koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumu yönelmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilir. İç yönelme ile resim çekim anındaki ışın demeti yeniden oluşturulmuş olur.

İç yönelme elemanları, resim ana noktasının orta noktaya göre konumunu ve iz düşüm merkezinin resim düzlemine olan uzaklığıdır (Selçuk 2008).

İç yönelme işlemi, genel olarak çekim kamerası özelliklerinin değerlendirme aletine getirilmesi olarak ifade edilir. Sayısal stereo değerlendirme sistemlerinde yapılan iç yönelme, kalibrasyon raporundaki kamera bilgilerinin sisteme tanımlanmasıdır (xh,yh ve c).

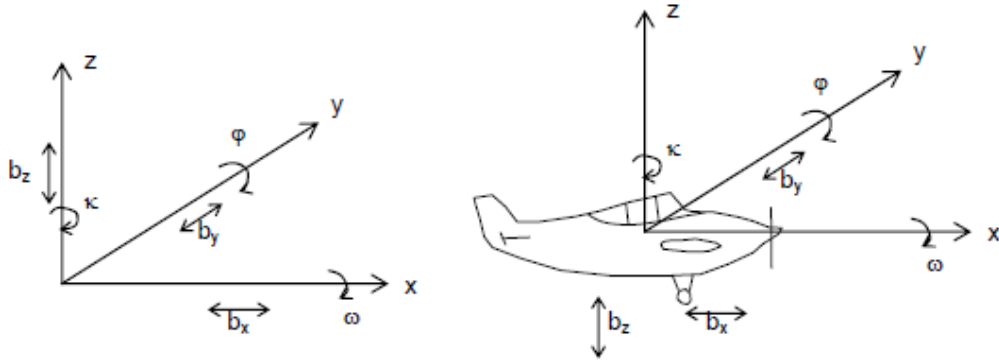
4.5 Analog Hava Kameralarında Dış Yönelme

Dış yönelme kameranın bir referans sistemine göre (arazi sistemi) konumunun belirlenmesini ve yönelmesini içerir. Bunun için; Resim 4.5’de de gösterilen iç yönelmeli izdüşüm, eğer izdüşüm merkezinin X_0 , Y_0 ve Z_0 koordinatları ile resim koordinat sisteminin uzay koordinat sistemindeki yönelmesinin bilinmesi durumunda analitik olarak ve tek anlamlı olarak belirlidir. Bu yönelme birbirinden bağımsız ve çeşitli şekilde seçilebilen ω , ϕ , ve K açıları ile gösterilir.



Resim 4.5 Merkezi izdüşüm geometrisi (C Odak uzaklığı, h uçuş yüksekliği).

Bir ışın demetinin uzaydaki konumunun belirlenmesi üç dönme ve ötelenme değerlerinin bilinmesi ile mümkün olur. Resim 4.6’da gösterilen bu değerler resim çekme noktasının X_0 , Y_0 ve Z_0 koordinatları ile ışın demetinin üç dönme parametresi, ve ω , φ , ve K açılarıdır. Bu altı parametreye dış yöneltme elemanları denir.

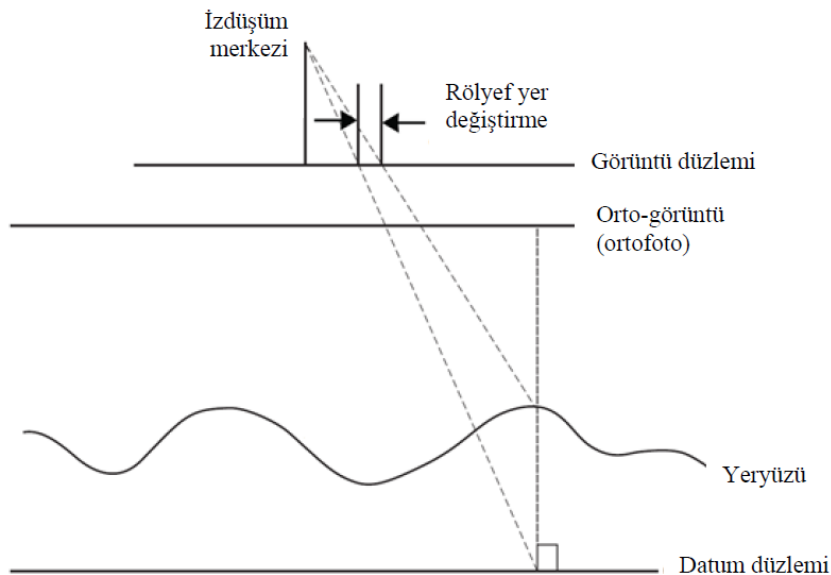


Resim 4.6 Dış yöneltme elemanları.

Üç boyutlu bir cismin yeniden oluşturulması tek bir ölçme resminde mümkün olmayacağı ve bir cismin en az iki merkezi izdüşümünün gerekli olduğu düşünülürse, bir çift ölçme resminde $6 \times 2 = 12$ dış yöneltme elemanı bulunduğu söylenebilir. Bu 12 bağımsız yöneltme elemanının belirlenmesini amaçlayan dış yöneltme işlemi iki adımda gerçekleştirilir. Bu işlemlere karşılıklı ve mutlak yöneltme adı verilir (Selçuk 2008).

4.6 Ortorektifikasyon

Ortorektifikasyon, arazi üzerindeki değişikliklerden kaynaklı farklılıkları nedeniyle uydu ve hava fotoğraflarında oluşan kaymaların giderilmesi işlemidir. Bilindiği üzere bir görüntü üzerindeki noktalar projektif izdüşümle 2 boyutlu bir düzlem üzerine kaydedilmişlerdir. Görüntü üzerinde bulunan noktalar temsil ettiği arazi yüzeyindeki yükseklik farkından dolayı ve 2 boyutlu bir düzleme izdüşürüldükleri için her bir pikselin ölçeği farklıdır ve konumu hatalıdır. Bu durum Resim 4.7’de gösterildiği gibi rölyef yer değiştirme olarak tanımlanmaktadır (Kiracı 2018).



Resim 4.7 Rölyef yer değiştirme (Kiracı 2018).

Her bir piksel için ve merkezi izdüşüm eşitlikleri ile o noktaya ait arazi koordinatları hesaplandığında aslında görüntünün tamamı projektif izdüşümden ortogonal izdüşüme dönüşümü gerçekleştirilmiş olmaktadır. Böylece arazi koordinatları bilinen bir piksel kümesinden oluşan yeni bir görüntü oluşmaktadır. Oluşan bu piksel kümesi yükseklik farkının her yerde eşit olmadığından ham görüntüdeki gibi düzenli grid aralığında değildir. Bu yüzden bu piksel kümesini yeniden örnekleme ile düzenli grid oluşturulmalıdır. Yeniden örnekleme sonrası elde edilen görüntü ortogonal izdüşümde koordinatları bilinen ve eşit ölçekte bir görüntüdür. Bu oluşan yeni görüntü ortogörüntü

(ortofoto) olarak adlandırılmaktadır. Ortogörüntü üzerinden koordinat alınabilir ve metrik işlemler gerçekleştirilebilir (Kıracı 2018).

İzdüşüm eşitliği (4.2), iç yöneltme elemanları, asal noktanın konumu ve asal uzaklık (c) ile dış yöneltme elemanları (X_0 , Y_0 , Z_0) fotoğraf üzerinde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen fotoğraf koordinatları ile arazi koordinatlarının arasındaki matematiksel bağıntıyı tanımlamaktadır (Yastıklı 2009).

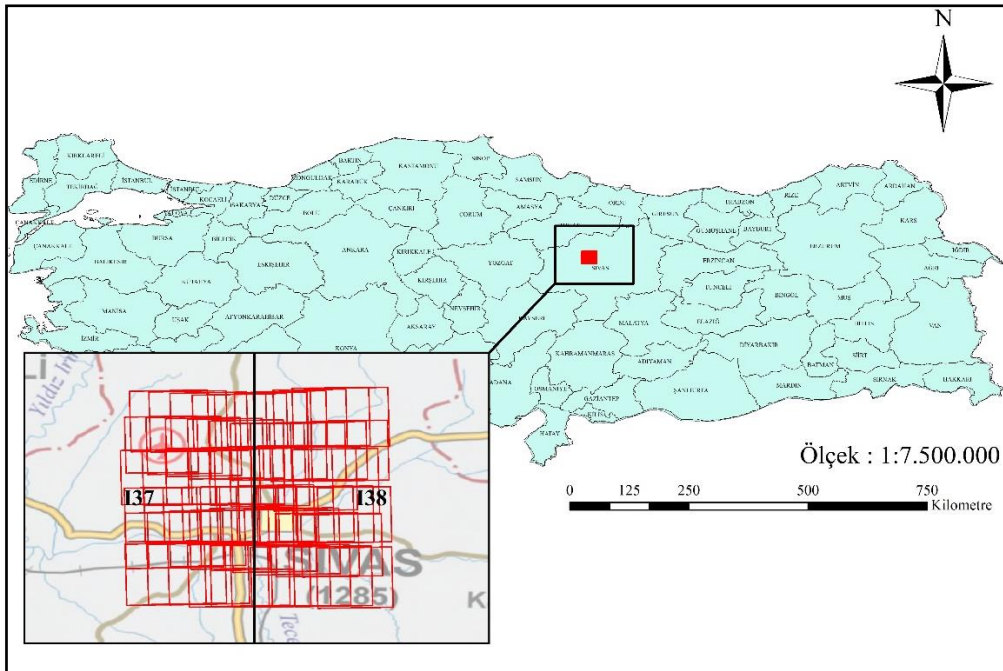
$$\begin{aligned} x &= -c \frac{a_{11} (X - X_0) + a_{21} (Y - Y_0) + a_{31} (Z - Z_0)}{a_{13} (X - X_0) + a_{23} (Y - Y_0) + a_{33} (Z - Z_0)} \\ y &= -c \frac{a_{12} (X - X_0) + a_{22} (Y - Y_0) + a_{32} (Z - Z_0)}{a_{13} (X - X_0) + a_{23} (Y - Y_0) + a_{33} (Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (4.2)$$

5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada RMK A 15/23 marka analog hava kamerası kullanılarak çekilen hava fotoğraflarında; iç yöneltme işlemi yapılarak ve otomatik görüntü eşleme yöntemi kullanılarak ortorektifikasyon, iç yöneltme işlemi yapılarak ve stereo görüntü çiftlerinden elde edilen Yer Kontrol Noktaları (YKN) ile ortorektifikasyon ve son olarak iç yöneltme işlemi yapılmaksızın stereo görüntü çiftlerinden elde edilen Yer Kontrol Noktaları (YKN) kullanılarak ortorektifikasyon olmak üzere 3 farklı yöntemde ortofoto üretimi ve doğruluk analizi yapılmıştır.

5.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri Seti

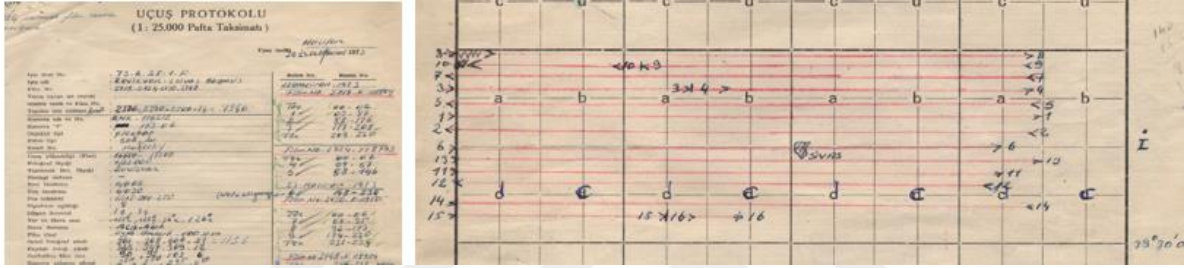
Çalışmada yukarıdaki bahse konu kamera ile 1973 yılında Resim 5.1’de gösterilen çalışma alanında ve I37-I38 1:100.000 ölçekli pafta sınırları içerisine giren Sivas il merkezini kapsayan bölgenin; Harita Genel Müdürlüğünce Resim 5.3’de gösterilen uçuş protokolü doğrultusunda 1:23.000 ölçeğinde çekilen, kamera kalibrasyon raporu Resim 5.4’de gösterilen, 6 adet kolonu içeren ve 4 adet ruloya ait Resim 5.2’de gösterilen 20 mikron piksel boyutuna göre taranmış 60 adet hava fotoğrafı kullanılmıştır.



Resim 5.1 Çalışma alanı.



Resim 5.2 Analog hava fotoğrafları.



Resim 5.3 Uçuş protokolü.

Kamera Adı RMK A 15/23	Kalibrasyon tarihi 30.07.1973	Seri No 116212	Odak Uzaklığı 153.06
PPA (mm) X 0	PPA (mm) Y 0	FC (mm) X 0	FC (mm) Y 0
PPS X1 0	PPS Y1 0	PPS X2 0	PPS Y2 0
PPS X3 0	PPS Y3 0	PPS X4 0	PPS Y4 0
PPS X5 0	PPS Y5 0	PPS X6 0	PPS Y6 0
PPS X7 0	PPS Y7 0	PPS X8 0	PPS Y8 0

Resim 5.4 Kamera kalibrasyon raporu.

Tarihi (Analog) hava fotoğraflarının ortorektifikasyonu işlemi için PCI Geomatica ve Agisoft yazılımları kullanılmıştır.

5.2 Çalışmada Kullanılan Yardımcı Veriler

Uygulamada kullanılmak üzere yardımcı veri olarak; HGM tarafından 2019 yılında UltraCam Eagle marka sayısal hava kamerası ile 30 cm yer örnekleme aralığında çekilen

hava fotoğraflarından “Kinematik GPS Destekli Fotogrametrik Nirengi Yöntemi” ile dış yöneltme elemanları elde edilmiş görüntüler kullanılmıştır. Görüntülere ait dengeleme parametresi sonuçları Çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Dengeleme parametre sonuçları.

Yer Kontrol Noktası Hatası			
	X (m)	Y (m)	Z (m)
Maksimum	-0.20	0.19	0.53
Minimum	0.00	0.00	-0.01
Sigma	0.08	0.07	0.21
KOH(x,y,z)	0.08	0.07	0.18

Bu kapsamda hassas yöneltme elemanları elde edilen fotoğraflardan stereo görüntü çiftleri kullanılarak 38 adet Yer Kontrol Noktası (YKN) Resim 5.5’de belirtildiği gibi elde edilmiştir.



Resim 5.5 Stereo görüntü çiftlerinden elde edilen yer kontrol noktaları.

Çizelge 5.2’de koordinat listesi belirtilen 38 adet YKN yukarıda belirtilen yöntem ile elde edilmiştir.

Çizelge 5.2 Yer kontrol noktaları koordinat listesi.

Yer Kontrol Noktaları							
No	X (m)	Y (m)	Z (m)	No	X (m)	Y (m)	Z (m)
G0001	339099.9	4414948.39	1460.80	G0020	332556.58	4400300.33	1259.70
G0002	339776.98	4409379.91	1474.88	G0021	317266.06	4407629.67	1506.15
G0003	339659.67	4410758.04	1501.46	G0022	319797.02	4407344.75	1598.73
G0004	340297.76	4405836.69	1290.77	G0023	319112.67	4412331.3	1462.78
G0005	338070.37	4404966.95	1309.08	G0024	317688.07	4410271.54	1524.40

Çizelge 5.2 (Devamı) Yer kontrol noktaları koordinat listesi.

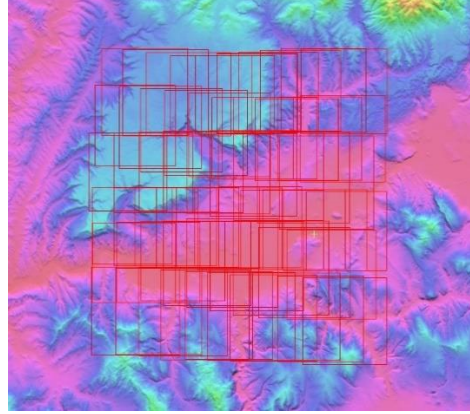
G0007	338925.68	4399621.1	1315.00	G0026	327587.65	4391976.85	1471.01
G0008	340157.62	4403785.87	1428.32	G0027	327148.39	4396289.88	1306.94
G0009	336944.53	4396217.64	1508.97	G0028	328198.21	4397289.02	1258.99
G0010	338749.92	4398544.59	1321.13	G0029	329958.74	4402003.62	1301.91
G0011	339504.38	4395357.44	1400.64	G0030	326327.67	4398860.99	1254.75
G0012	339941.16	4392178.89	1393.97	G0031	328650.02	4404527.49	1353.34
G0013	318363.07	4393109.98	1571.29	G0032	326111.7	4404510.55	1454.29
G0014	318530.26	4397879.68	1330.24	G0033	328465.32	4408533.75	1638.32
G0015	317982.84	4396739.24	1422.45	G0034	327736.22	4406826.16	1475.00
G0016	318210.46	4400951.03	1434.81	G0035	328022.8	4411588.33	1579.71
G0017	317704.91	4400266.63	1315.07	G0036	329884.71	4411164.1	1622.82
G0018	320090.42	4404376.11	1532.35	G0037	327538.98	4411412.49	1584.06
G0019	317994.85	4404037.18	1627.12	G0038	329409.99	4414718.81	1610.30

Otomatik görüntü eşleme yönteminde kullanılmak üzere, ayrıca bu hassas yöneltmesi yapılan hava fotoğraflarından üretilen ve Resim 5.6’da belirtilen 30 cm konumsal çözünürlüğe ve 30 cm konumsal doğruluğa sahip Universal Transverse Mercator (UTM) projeksiyonunda ve WGS84 World Geodetic System-1984 (WGS84) datumunda “TIFF” formatlı mozaiklenmiş ortogörüntü kullanılmıştır.



Resim 5.6 Mozaiklenmiş referans ortogörüntü.

Resim 5.7’de gösterilen ve 3 farklı yöntemde ortofotoların üretiminde kullanılmak üzere 10 m yer örnekleme aralığına sahip Sayısal Arazi Modeli (SAM) kullanılmıştır.



Resim 5.7 Sayısal Arazi Modeli (10 m).

Bu kapsamda yardımcı veri olarak çalışma bölgesine ait;

- Stereo görüntü çiftlerinden elde edilen **38 adet YKN**,
- Görüntü eşleme yönteminde kullanılmak üzere **30 cm** konumsal çözünürlüğe ve doğruluğa sahip mozaiklenmiş **Ortogörüntü**,
- 10 m YÖA'na sahip **SAM**,

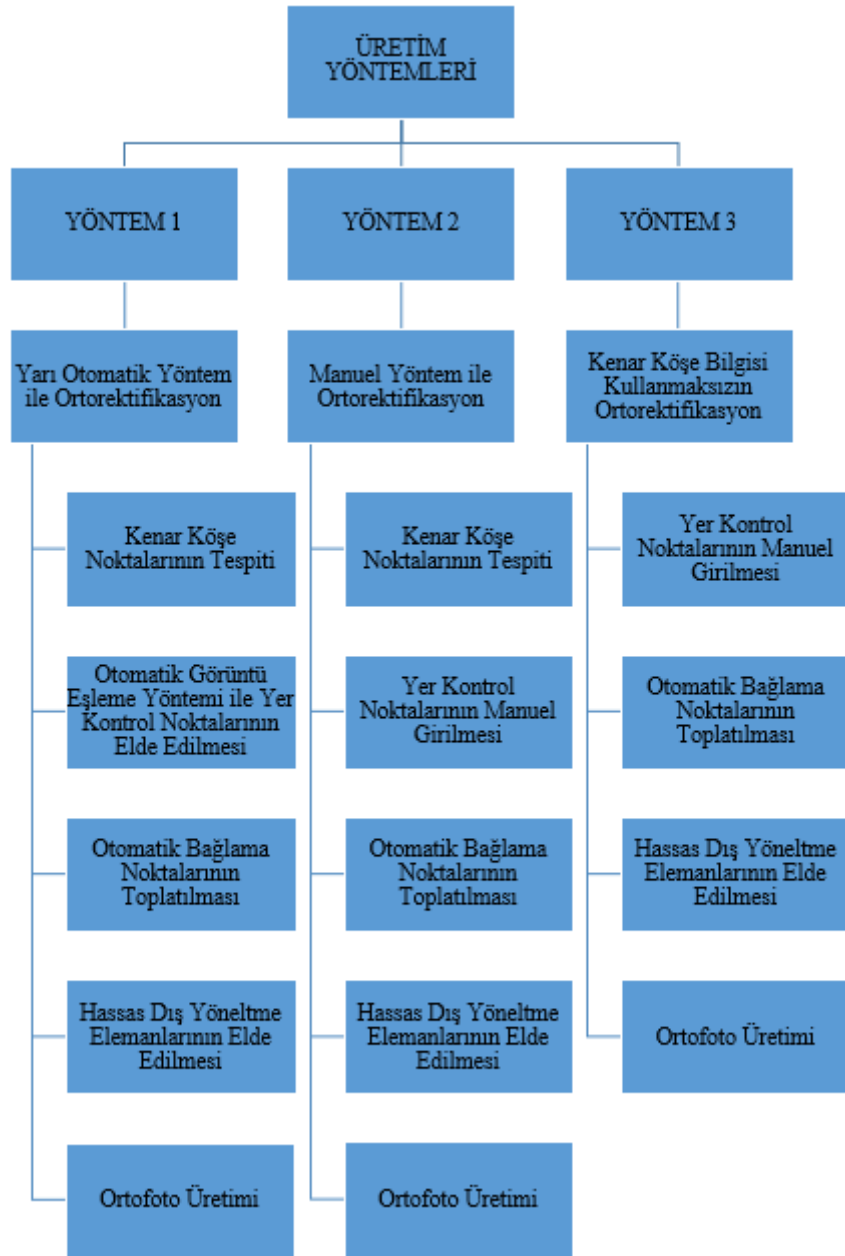
verileri hazırlanmıştır.

5.3 Çalışmada Kullanılan Metodlar

Ortorektifikasyon işlemleri aşağıda belirtilen,

- İç yöneltmesi yapılan analog hava fotoğraflarının, mozaiklenmiş referans ortogörüntü üzerinden yarı otomatik görüntü eşleme yöntemi ile yer kontrol noktaları tespit edilerek ortorektifikasyonu,
- İç yöneltmesi yapılan analog hava fotoğraflarının, stereo görüntü çiftlerinden elde edilen yer kontrol noktaları kullanılarak ortorektifikasyonu,
- İç yöneltme elemanları kullanılmaksızın analog hava fotoğraflarının stereo görüntü çiftlerinden elde edilen yer kontrol noktaları kullanılarak ortorektifikasyonu,

yöntemleri kullanılarak Resim 5.8'deki iş akış şemasına göre üretimleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.8 Ortofoto üretim iş akış şeması.

5.3.1 Yöntem-1

Uygulamada PCI Geomatica yazılımına ait Historical Airphoto Processing (HAP) eklentisi kullanılmıştır. HAP eklentisi temelinde; analog hava fotoğraflarının iç yöneltilmesinin yapılması ve sonrasında mozaiklenmiş referans ortogörüntü üzerinden yarı otomatik görüntü eşleme yöntemi ile yer kontrol noktaları ile bağlama noktalarının tespit edilmesi prensibine göre ortorektifikasyon işlemi yapmaktadır. İşleme başlamadan önce

ortorektifikasyonu yapılacak olan görüntülere ait bazı parametre isterlerinin (Metaveri) hazırlanması ve projeye tanımlanması gerekmektedir. Girdi parametreleri Çizelge 5.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.3 Metaveri isterleri.

Değer	Parametreler	Değer	Parametreler
Rulo Numarası	2718	Uçuş Yüksekliği	17000
Fotoğraf Numarası	54	Ölçek	23000
Rulo ve Fotoğraf Numarası	2718_54	Yükseklik(Inch)	8.896
Enlem	39.812392	Genişlik (Inch)	8.897
Boylam	37.054566	Yükseklik (mm)	225.95
Odak Uzaklığı (mm)	153.06	Genişlik (mm)	225.99

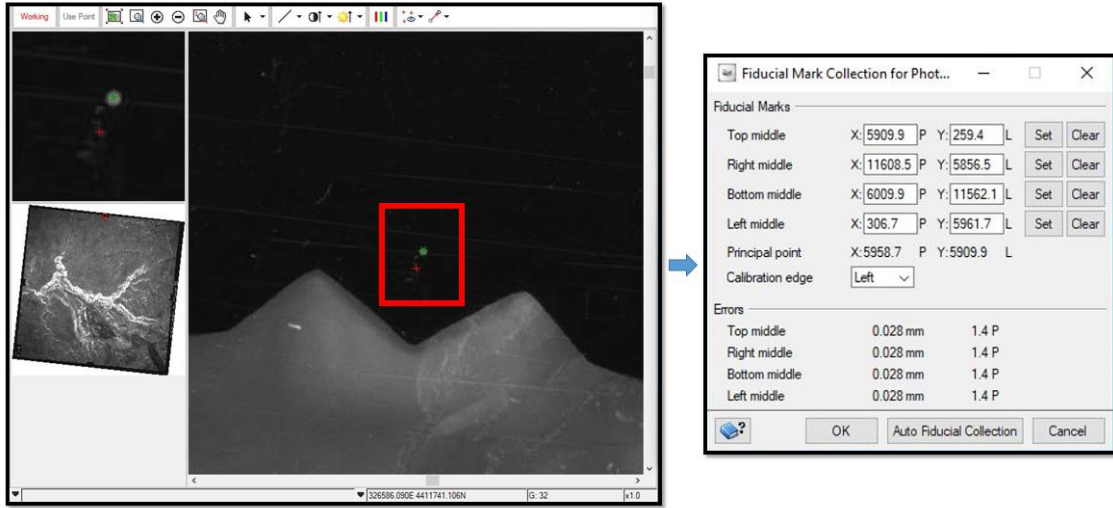
Çizelge 5.3’de gösterilen bilgilerden fotoğraf ve rulo bilgileri, kamera odak uzaklığı ile ölçek bilgisi o yıla ait uçuş protokolünden elde edilmiştir. Fotoğraf orta nokta koordinatları ise yapılan hassas olmayan (± 200 m) dizgi çalışması sonrası manuel olarak kaba doğrulukta tespit edilmiştir. Ayrıca fotoğraf boyutları da, 20 mikron piksel boyutunda taranmış, ham hava fotoğrafları üzerinde bulunan ve Resim 5.9’da belirtilen noktalar arası piksel mesafesinin 20 mikron ile çarpımının milimetre ve inç birimlerine dönüştürülmesi ile hesaplanmıştır. Yapılan ön hazırlık aşamasından sonra HAP uygulaması ile 3 aşamada üretim gerçekleştirilmiştir.

Bunlar;

- İngest (Metaveri İçeriğine Göre Proje Dosyasının Hazırlanması)
- Coarse Alignment (Kaba Yönelme)
- Fine Alignment (Hassas Yönelme)

olarak adlandırılmaktadır.

Öncelikle Çizelge 5.3’de belirtilen metaveri parametreleri kullanılarak hava fotoğraflarına ait proje dosyası oluşturulmuştur. Kamera, dönüklük ve koordinat sistemi bilgileri doğrulandıktan sonra Resim 5.9’da gösterildiği üzere her bir fotoğrafın kenar köşe markaları bulunarak fotoğrafın orta noktası 3 piksel aşağı hassasiyette elde edilmiş ve iç yönelme tamamlanmıştır.



Resim 5.9 Fotoğraf kenar ve köşe markalarının ölçümü.

Oluşturulan proje dosyası içerisinde projeye ait koordinat sistemi bilgileri ile tarama yönüne bağlı olarak “kappa” dönüklük açısı kontrol edilmiş ve uçuş yönü dikkate alınarak 180° açı düzeltmesi yapılmıştır.

Kenar köşe noktaları doğru tespit edilen ve iç yönlmesi tamamlanan bloğa ait ilk aşama olan “Ingest” tamamlanmış ve proje dosyası oluşturulmuştur.

Uygulamanın ikinci aşamasında kaba yönlme işlemi uygulanmıştır. Bu yöntemde Resim 5.10’da belirtilen parametre değerleri kullanılarak görüntülerin dış yönlme elemanlarının tespit edilebilmesi için farklı bir tarihe ait 30 cm Yer Örneklem Aralığına (YÖA) sahip referans görüntü (Ortogörüntü) ile Resim 5.7’de belirtilen 10 m YÖA’lı SAM üzerinden otomatik görüntü eşleme yöntemiyle YKN ile BN elde edilmiştir.

Historical Airphoto-Alignment

Alignment type: ☒ Coarse alignment ☐ Fine alignment

Input

Input data folder: E:\10_YUKSEK_LISANS\Yeni_Calisma\01_Uretim_A [Browse...]

Reference DTM: E:\10_YUKSEK_LISANS\YL_Tez_Verisi\DEM\aiyas [Browse...]

Reference file: E:\10_YUKSEK_LISANS\YL_Tez_Verisi\veferans\Sn [Browse...]

GCPs collection strategy

☒ Collect GCPs

Search method: GRID

Search radius unit: Pixel

Search radius value: 750

Minimum correlation score: 0.750000

☒ Perform GCP refinement

GCP refinement method: RMSE

X max. error: 15

Y max. error: 15

TPs collection strategy

☒ Collect TPs

Number of tie points: 64

Search method: GRID

Search radius unit: Pixel

Search radius value: 750

Minimum correlation score: 0.750000

☒ Perform TP refinement

TP refinement method: RMSE

X max. error: 15

Y max. error: 15

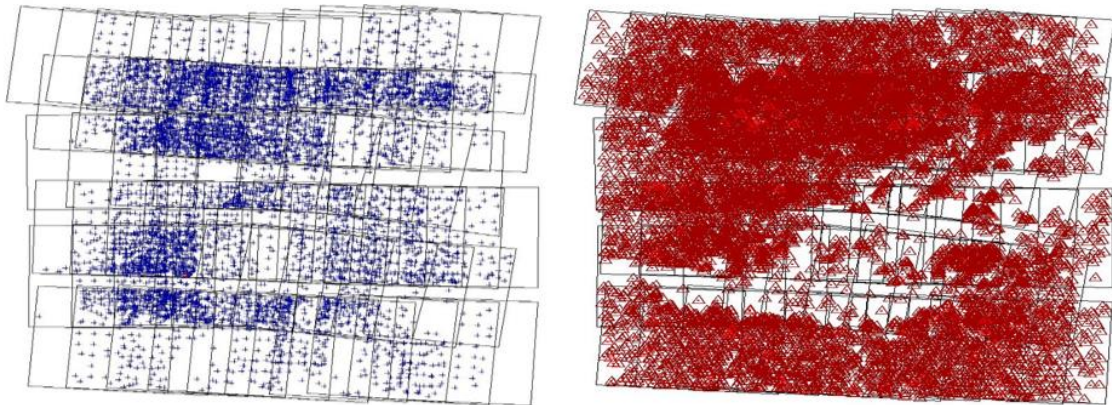
Output

Output data folder: E:\10_YUKSEK_LISANS\YL_Tez_Verisi\Alignment [Browse...]

Run Close

Resim 5.10 Kaba yöneltme (Coarse Alignment) parametreleri.

Resim 5.10’da gösterilen “Search Radius Unit” değeri fotoğrafların orta noktalarının kaba doğrulukta olmasından dolayı 750 piksel ve “X/Y max. Error” değeri 15 piksel olarak girilmiştir. “Coarse Alignment” işleminde sırasıyla BN ve YKN dağılımları Resim 5.11’de gösterildiği üzere homojen şekilde nokta dağılımı sağlanmış ve dengeleme işlemi tamamlanmıştır.

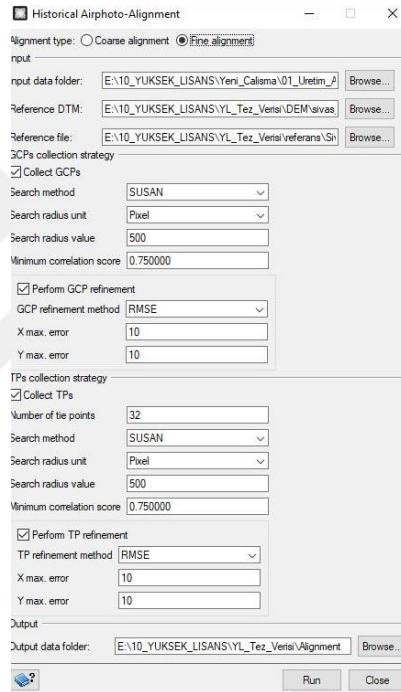


Resim 5.11 Kaba yöneltme (Coarse Alignment) YKN ve BN dağılımı.

Dengeleme işlemi tamamlanan blokta 6835 adet YKN ile 7193 adet BN elde edilmiş sonuçlar Çizelge 5.4’de belirtilmiştir. Bu durumda bloğun X yönünde ± 1.22 m, Y yönünde ± 1.23 m iç doğruluğa sahip olarak birinci tur dengelemesi tamamlanmıştır.

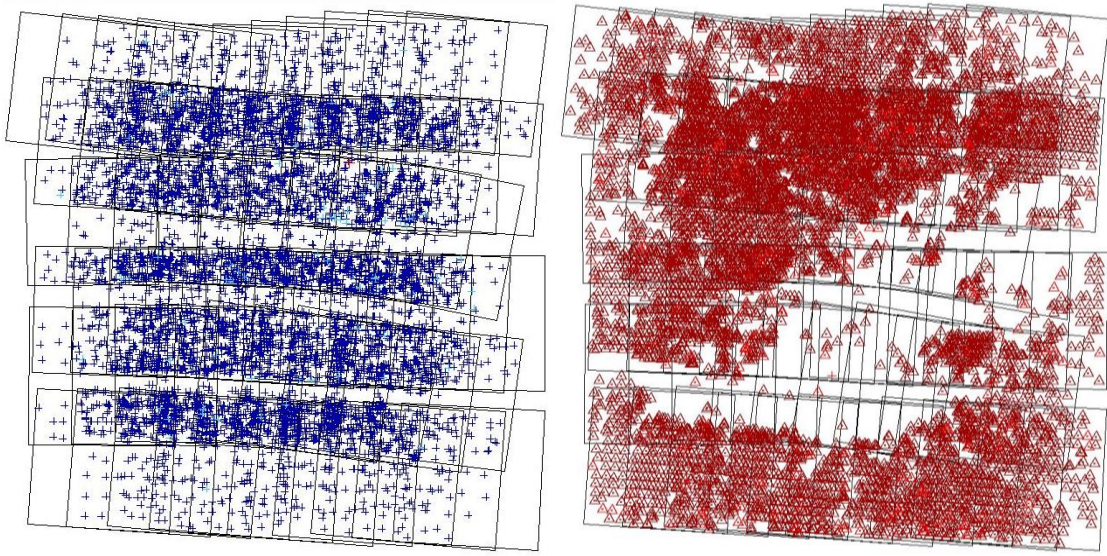
Çizelge 5.4 Stage-1 YKN/BN hata değerleri.

60 Fotoğrafın Sonuç Özeti		
	X KOH (m)	Y KOH (m)
Aktif YKN’ler	± 1.22	± 1.23
Aktif BN’ler	± 0.22	± 0.20



Resim 5.12 Hassas yöneltme (Fine Alignment) parametreleri.

“Coarse Alignment” aşaması tamamlandıktan sonra 2’inci tur dengeleme faaliyeti için “Fine Alignment” aşamasına geçilmiştir. Resim 5.12’de gösterilen “Search Radius Unit” değeri fotoğrafların orta noktalarının kaba doğruluktan biraz daha gerçek konumuna yaklaşmasından dolayı 500 piksel ve “X/Y max. Error” değeri ise 10 piksel olarak girilmiştir. “Fine Alignment” işleminde sırasıyla BN ve YKN dağılımları Resim 5.13’de gösterildiği üzere homojen şekilde nokta dağılımı sağlanmış ve dengeleme işlemi tamamlanmıştır.



Resim 5.13 Hassas yöneltme (Fine Alignment) YKN ve BN dağılımı.

Dengeleme işlemi tamamlanan blokta 9273 adet YKN ve 7438 adet BN elde edilmiş, sonuçlar Çizelge 5.5’de belirtilmiştir. Bu durumda blok iç doğruluğu RMS, X yönünde ± 0.78 m, Y yönünde ± 0.80 m, iç doğruluğa sahip olarak hassas yöneltme işlemi tamamlanmıştır. İkinci tur (Fine Alignment) dengeleme sonuçlarına bakıldığında birinci tur (Coarse Alignment) sonuçlarından daha iyi sonuç alındığı gözlemlenmiştir. Ayrıca bu döngünün tekrar edilmesi durumunda sonucun ikinci tur değerlerine yakın değerler çıktığı gözlemlendiği için üçüncü veya dördüncü tekrara ihtiyaç duyulmadığı görülmüştür.

Çizelge 5.5 Stage-2 YKN/BN hata değerleri.

60 Fotoğrafın Sonuç Özeti		
	X KOH (m)	Y KOH (m)
Aktif YKN’ler	± 0.78	± 0.80
Aktif BN’ler	± 0.23	± 0.21

Otomatik görüntü eşleme yöntemi sonucunda hassas dış yöneltme elemanları elde edilmiş ve Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6 Yöntem-1 hassas dış yöneltme elemanları.

FotoğrafNo	X(m)	Y(m)	Z(m)	Omega(°)	Phi(°)	Kappa(°)
2718_47	320811.09	4409618.86	5317.51	-0.746	-0.118	-3.221
2718_48	322667.22	4409503.28	5325.57	-0.418	-0.763	-5.174
2718_49	324472.53	4409348.50	5334.65	-0.729	0.355	-5.331
2718_50	326296.59	4409185.82	5334.26	-0.456	-0.252	-5.742
2718_51	328107.81	4409030.31	5331.55	-0.281	-0.218	-4.082
2718_52	329905.26	4408916.18	5337.83	-1.252	-0.539	-2.205
2718_53	331698.75	4408856.51	5331.80	-0.813	-0.568	-2.127
2718_54	333488.04	4408803.43	5338.51	-1.469	-0.154	-2.350
2718_55	335289.81	4408758.65	5339.83	-0.873	-0.237	-2.277
2718_56	337099.69	4408696.09	5329.58	-0.590	0.004	-3.929
2718_124	335860.79	4405227.80	5326.77	-0.606	0.146	168.872
2718_125	333927.21	4405527.57	5338.27	0.529	-0.499	170.829
2718_126	331986.24	4405766.21	5327.15	-0.239	-0.336	173.009
2718_127	330033.71	4405930.08	5318.42	0.323	-0.263	174.344
2718_128	328081.50	4406005.07	5317.40	0.001	-0.111	177.131
2718_129	326136.66	4406014.60	5321.31	0.171	0.154	177.957
2718_130	324184.88	4406021.19	5316.63	0.351	-0.046	177.735
2718_131	322224.44	4406005.32	5327.66	-0.262	0.177	178.064
2718_132	320295.23	4405949.11	5342.90	0.334	-0.239	-178.897
2724_93	337171.82	4412126.63	5344.61	1.496	0.160	-5.758
2724_94	335420.25	4412157.75	5341.08	1.346	-0.521	174.709
2724_95	333675.23	4412151.73	5346.86	1.514	0.316	176.288
2724_96	331993.56	4412103.48	5348.56	0.982	0.776	177.438
2724_97	330266.65	4412033.19	5338.95	0.977	-0.052	177.545
2724_98	328523.38	4411952.42	5339.65	0.744	-0.434	177.753
2724_99	326770.11	4411880.49	5351.06	0.518	-0.164	176.491
2724_100	325009.05	4411899.15	5354.39	0.667	0.238	173.051
2724_101	323241.45	4412004.52	5351.61	0.735	0.554	172.481
2724_102	321535.88	4412115.85	5351.35	0.555	-0.272	171.943
2724_103	319801.99	4412217.37	5355.47	0.498	0.100	173.276
2724_194	320506.40	4401979.95	5223.68	-0.138	-1.240	-1.150
2724_195	322184.98	4401945.54	5227.73	-0.528	-1.349	-1.290
2724_196	323861.32	4401913.47	5230.00	-0.267	-1.345	-1.477
2724_197	325513.79	4401858.33	5225.98	-0.245	-1.408	-2.376
2724_198	327164.53	4401773.39	5240.96	-0.324	-1.097	-3.000
2724_199	328844.37	4401707.47	5241.32	-0.384	-1.075	-3.084
2724_200	330522.01	4401657.34	5227.87	0.491	-0.145	-2.751
2724_201	332190.34	4401596.34	5223.53	-0.964	-0.814	-2.009
2724_202	333874.04	4401543.12	5240.09	-0.316	-0.702	-1.830
2724_203	335517.79	4401503.32	5255.00	-0.350	-0.770	-2.646
2724_204	337193.75	4401474.13	5252.57	-0.614	-0.974	-0.549
2736_62	320677.04	4398918.75	5337.01	0.371	0.157	-0.399

Çizelge 5.6 (Devamı) Yöntem-1 hassas dış yöneltme elemanları.

2736_63	322607.62	4398925.59	5336.40	0.446	0.196	-0.861
2736_64	324499.40	4398943.03	5339.07	1.207	0.192	-0.568
2736_65	326426.71	4398894.40	5333.65	0.277	0.531	-4.098
2736_66	328318.88	4398789.00	5338.64	0.682	0.491	-7.932
2736_67	330228.74	4398611.36	5335.90	0.001	0.229	-9.340
2736_68	332104.66	4398396.39	5357.26	0.918	0.095	-10.348
2736_69	333940.21	4398124.41	5340.81	-0.131	0.267	-7.954
2736_70	335838.76	4397889.72	5348.55	1.108	-0.809	-6.637
2748_336	320714.87	4395134.45	5424.79	-0.547	-0.438	-3.401
2748_337	322527.92	4395057.76	5410.05	-0.596	-0.117	-3.970
2748_338	324384.52	4394957.92	5405.35	0.058	-0.326	-4.862
2748_339	326190.53	4394841.31	5402.80	-0.369	0.160	-4.522
2748_340	327997.33	4394745.51	5399.87	-0.364	-0.038	-4.066
2748_341	329794.37	4394664.87	5400.54	-0.424	0.123	-4.495
2748_342	331621.54	4394588.19	5404.16	-0.891	-0.219	-4.018
2748_343	333398.14	4394544.10	5401.56	0.202	-0.188	-4.902
2748_344	335232.88	4394484.02	5387.44	-0.492	-0.410	-4.407
2748_345	337019.06	4394445.67	5386.47	-0.570	-0.424	-3.127

5.3.2 Yöntem-2

Bu uygulamada Yöntem-1 de kullanılan yazılımın yeteneği olan otomatik görüntü eşleme yöntemi yerine yine aynı yazılımda bulunan “OrthoEngine” eklentisi üzerinden manuel YKN tesisi yapılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Bir önceki yöntemde metaveri parametreleri otomatik olarak projeye dahil edilebilirken bu aşamada her bir bilginin kullanıcı tarafından girilerek bloğa ait projenin oluşturulması gerekmektedir.

Import from:

Basic Camera Parameters

Name:

Mode: ☒ FL & PPO ☐ FL, PPA & PPS

Focal length (c): mm

Principal-point offset (PPO): Xp: mm Yp: mm

Distortion Correction

Method: ☒ Radial lens and decentring ☐ Grid file

Radial-Lens Coefficients:

R0: R1 (K0): R2: R3 (K1):

R4: R5 (K2): R6: R7 (K3):

Decentering Coefficients:

P1: P2: P3: P4:

Fiducial Marks

Position: ☒ Edge ☐ Corner ☐ Edge and corner

Top middle X: mm Y: mm

Right middle X: mm Y: mm

Bottom middle X: mm Y: mm

Left middle X: mm Y: mm

Other Parameters

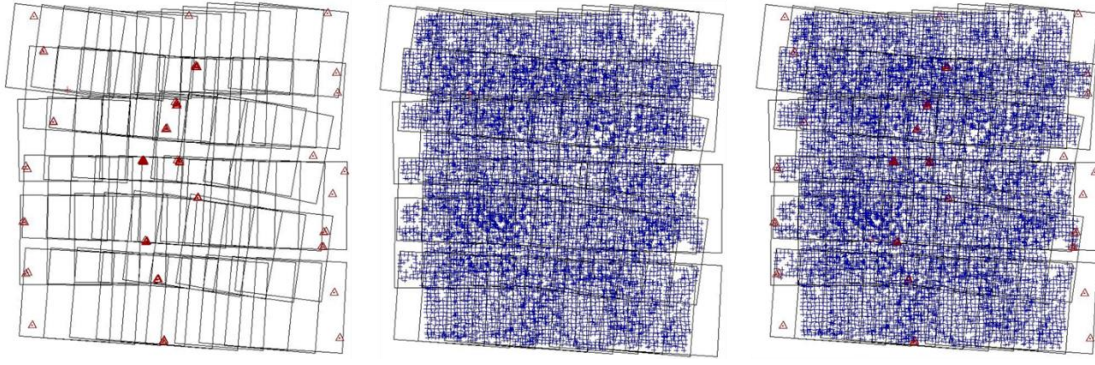
Image scale 1:

Resim 5.14 Kamera parametreleri.

Bu kapsamda projeye ait olan kamera odak uzaklığı, PPx/PPy değerleri, köşe markaları arasındaki milimetre biriminde uzunluk bilgisi ve ölçek değerlerinin kullanıcı tarafından girilmesi gerekmektedir. Bir önceki yöntemde de anlatıldığı üzere kameraya ait bilgiler kalibrasyon raporu ile uçuş protokolünden temin edilmiş ve köşe markaları arasındaki uzunluk ayrıca hesaplanarak Resim 5.14’de gösterildiği üzere projeye eklenmiştir.

Kamera bilgileri tanımlandıktan sonra bir önceki yöntemde olduğu gibi Resim 5.9’da da gösterildiği üzere her bir fotoğrafın kenar köşe noktalarının yerleri tespit edilmiş ve fotoğrafların orta noktalarının fotoğraf üzerindeki konumunun belirlenmesi sağlanmış ve tarama yönü dikkate alınarak uçuş hattına göre fotoğrafların “kappa” açılarında $\pm 180^\circ$ açı düzeltmesi yapılmıştır. Koordinat sistemi UTM projeksiyonunda WGS84 datumunda dilim 36 seçilmiş ve proje dosyası oluşturulmuştur.

İşlemin devamında YKN tesisi için farklı bir tarihe ait 30 cm YÖA’na sahip ve hassas dış yöneltme elemanları ve dengeleme doğruluğu Çizelge 5.1’de gösterilen görüntülerden stereo model oluşturulmuş ve bu model üzerinden detay noktaları toplanmış ve YKN olarak Çizelge 5.2’de belirtilen noktalar kullanılmıştır. Detay noktası tespitinde bina çatıları gibi rölyef hatası olabilecek noktalardan kaçınılmış ve genellikle zemine yakın noktalar kullanılmıştır.



Resim 5.15 YKN ve BN nokta dağılımı.

Bu kapsamda Resim 5.15’de gösterilen stereo modelden elde edilen 27 adet YKN hava fotoğraflarındaki yerlerine tesis edilmiş ve ikinci aşamada otomatik olarak 9450 adet BN toplama işlemi yapılmıştır. Homojen bir şekilde BN noktası toplama işlemi yapılabilirdiği için ve Çizelge 5.7’de gösterilen dengeleme sonuçları ile bir turda dengeleme işlemi sonlandırılmıştır. Bu durumda blok iç doğruluğu RMS, X yönünde ± 1.78 m, Y yönünde ± 3.42 m iç doğruluğa sahip olarak hassas yöneltme işlemi tamamlanmıştır.

Çizelge 5.7 YKN ve BN hata değerleri.

60 Fotoğrafın Sonuç Özeti		
	X KOH (m)	Y KOH (m)
Aktif YKN’ler	± 1.78	± 3.42
Aktif BN’ler	± 0.23	± 0.23

Yapılan dengeleme işlemine göre elde edilen dış yöneltme elemanları Çizelge 5.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Yöntem-2 hassas dış yöneltme elemanları.

FotoğrafNo	X(m)	Y(m)	Z(m)	Omega(°)	Phi(°)	Kappa(°)
2718_47	320803.97	4409622.09	5317.14	-0.795	-0.141	-3.216
2718_48	322660.79	4409507.17	5325.85	-0.473	-0.779	-5.170
2718_49	324466.06	4409352.66	5335.37	-0.786	0.334	-5.324
2718_50	326290.33	4409190.51	5334.96	-0.510	-0.262	-5.723
2718_51	328104.08	4409034.30	5333.90	-0.334	-0.206	-4.062
2718_52	329900.79	4408920.36	5340.29	-1.308	-0.531	-2.192
2718_53	331692.93	4408860.53	5333.31	-0.857	-0.569	-2.119
2718_54	333483.78	4408808.05	5340.90	-1.520	-0.143	-2.321
2718_55	335284.26	4408764.82	5341.33	-0.931	-0.227	-2.258

Çizelge 5.8 (Devamı) Yöntem-2 hassas dış yöneltme elemanları.

2718_56	337094.93	4408701.91	5331.17	-0.635	0.019	-3.892
2718_124	335857.09	4405230.37	5329.88	-0.615	0.167	168.885
2718_125	333922.02	4405530.24	5342.64	0.517	-0.493	170.860
2718_126	331982.04	4405768.38	5330.95	-0.257	-0.326	173.018
2718_127	330028.52	4405932.75	5322.69	0.302	-0.268	174.335
2718_128	328077.69	4406007.93	5320.88	-0.024	-0.096	177.153
2718_129	326130.81	4406017.18	5324.99	0.147	0.130	177.958
2718_130	324179.15	4406022.46	5319.47	0.331	-0.073	177.753
2718_131	322220.71	4406005.52	5330.53	-0.285	0.170	178.101
2718_132	320290.71	4405948.48	5344.05	0.312	-0.258	-178.855
2724_93	337166.38	4412131.80	5341.91	1.434	0.183	-5.747
2724_94	335415.34	4412162.94	5338.87	1.275	-0.500	174.731
2724_95	333668.63	4412157.13	5345.10	1.434	0.316	176.310
2724_96	331987.57	4412107.81	5347.09	0.913	0.777	177.457
2724_97	330261.52	4412037.41	5337.65	0.906	-0.052	177.546
2724_98	328518.22	4411957.13	5338.82	0.669	-0.438	177.753
2724_99	326762.99	4411885.01	5350.03	0.446	-0.190	176.496
2724_100	325002.67	4411903.30	5352.53	0.598	0.221	173.054
2724_101	323235.33	4412007.68	5348.45	0.673	0.534	172.500
2724_102	321529.81	4412119.92	5346.27	0.478	-0.297	171.939
2724_103	319795.97	4412223.04	5351.44	0.417	0.087	173.271
2724_194	320501.88	4401981.29	5225.90	-0.129	-1.267	-1.159
2724_195	322180.50	4401946.17	5230.86	-0.511	-1.367	-1.292
2724_196	323855.38	4401914.83	5234.12	-0.254	-1.364	-1.494
2724_197	325508.56	4401857.64	5230.11	-0.215	-1.420	-2.375
2724_198	327159.16	4401773.54	5244.34	-0.284	-1.089	-3.016
2724_199	328840.52	4401706.96	5245.35	-0.354	-1.066	-3.075
2724_200	330518.16	4401656.57	5231.62	0.525	-0.133	-2.748
2724_201	332185.07	4401596.62	5226.88	-0.930	-0.804	-2.010
2724_202	333870.16	4401543.09	5243.24	-0.280	-0.689	-1.816
2724_203	335514.07	4401503.28	5257.63	-0.312	-0.753	-2.637
2724_204	337189.96	4401474.70	5254.74	-0.580	-0.959	-0.534
2736_62	320672.13	4398921.03	5338.72	0.382	0.142	-0.415
2736_63	322602.50	4398927.15	5339.39	0.446	0.175	-0.872
2736_64	324494.73	4398945.16	5341.83	1.209	0.187	-0.580
2736_65	326423.39	4398894.88	5336.41	0.296	0.543	-4.103
2736_66	328316.88	4398786.86	5341.80	0.723	0.507	-7.918
2736_67	330224.64	4398610.63	5337.55	0.036	0.232	-9.331
2736_68	332100.38	4398395.43	5358.57	0.959	0.097	-10.338
2736_69	333937.09	4398123.58	5341.89	-0.090	0.281	-7.943
2736_70	335834.85	4397891.63	5347.73	1.142	-0.786	-6.637
2748_336	320708.30	4395135.19	5425.30	-0.510	-0.452	-3.426
2748_337	322521.82	4395057.46	5410.86	-0.554	-0.123	-3.994
2748_338	324378.47	4394956.71	5406.91	0.109	-0.324	-4.894
2748_339	326186.89	4394840.82	5403.24	-0.345	0.164	-4.518
2748_340	327993.57	4394744.69	5401.19	-0.328	-0.021	-4.083
2748_341	329791.82	4394664.44	5400.93	-0.401	0.143	-4.494

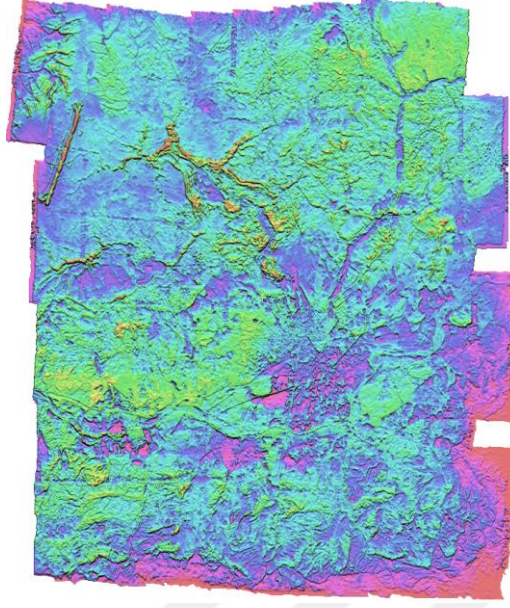
Çizelge 5.8 (Devamı) Yöntem-2 hassas dış yöneltme elemanları.

2748_342	331618.97	4394587.55	5402.66	-0.858	-0.198	-4.024
2748_343	333396.43	4394542.32	5400.31	0.242	-0.162	-4.897
2748_344	335232.02	4394482.44	5385.30	-0.454	-0.379	-4.399
2748_345	337020.85	4394444.31	5383.84	-0.534	-0.377	-3.102

The screenshot displays the 'Stereo pairs' window of a software application. At the top, there is a table with columns: 'Select', 'Left Image', 'Right Image', 'Epipolar Pair', 'Epipolar DEM', and 'DEM Report'. The table lists several stereo pairs, with the first one (2748_341, 2748_342) selected. Below the table are buttons for 'Select All', 'Select None', and 'Restore Defaults'. The main area is divided into two sections: 'DEM Extraction Options' and 'Geocoded DEM'. The 'DEM Extraction Options' section includes a dropdown for 'Extraction method' (set to 'SGM (Semi-global matching)'), a dropdown for 'Output DEM vertical datum' (set to 'Mean sea level'), a 'Pixel sampling interval' of 1, a 'Resolution' of 0.53 m, and a 'Smoothing filter' set to 'High'. There are checkboxes for 'Delete epipolar pairs after use' and 'Epipolar tracking'. The 'Geocoded DEM' section has a checked box for 'Create geocoded DEM', an unchecked box for 'Delete epipolar DEMs after use', and a radio button for 'percent' under 'Epipolar DEM clipping'. It also has a text field for 'Output DEM file name' with a 'Browse' button. Below this, there are fields for 'Resolution' (0.4), 'DEM bounds' (All images), and coordinates for 'Upper left' and 'Lower right'. There is an 'Output option' dropdown set to 'Merge', a checked box for 'Clean up building edges with filter size 13', and another checked box for 'Create image mosaic' with a 'Browse' button. At the bottom, there is an 'Extraction Start Time' section with a radio button for 'Start now' and a time field set to 12:00, with options for 'a.m.' and 'p.m.'

Resim 5.16 SYM üretim parametreleri.

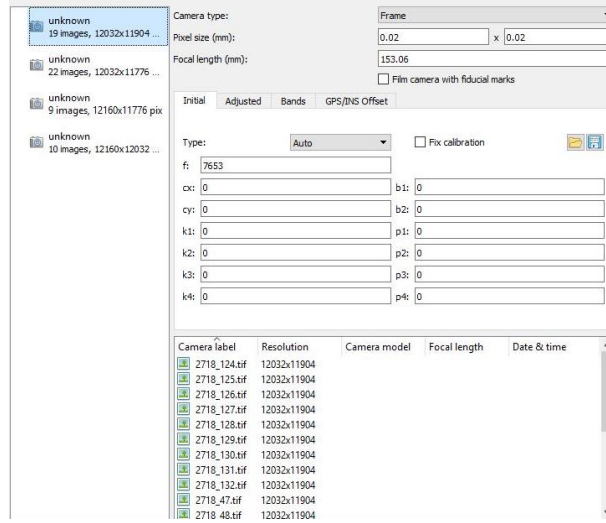
Hassas dış yöneltme elemanları elde edilen hava fotoğraflarından görüntü çiftleri arasındaki epipolar bağıntısı oluşturulmuş ve Resim 5.16’da gösterildiği üzere deniz seviyesi yüksekliğinde 1 piksel YÖA’na sahip olacak şekilde SYM (Resim 5.17) üretimi gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.17 SYM verisi.

5.3.3 Yöntem-3

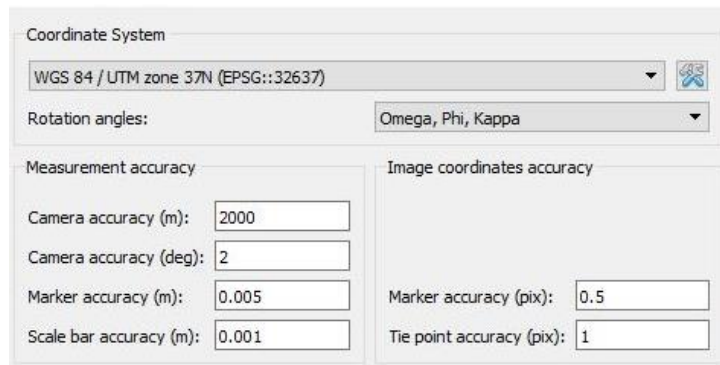
Bu yöntemde Agisoft yazılımı kullanılmış ve analog hava fotoğrafları sayısal hava fotoğrafı mantığına göre yöneltme işlemi yapılmıştır. Bu kapsamda fotoğrafa ait kenar köşe bilgilerinden yararlanılmaksızın Resim 5.18’de gösterildiği üzere fotoğrafın tarama alanının tamamını içerecek şekilde ana çerçeve boyutlarına göre boyut bilgisi girilmiş ve sadece odak uzaklığı bilgisi kullanılarak ortorektifikasyon işlemi yapılmıştır.



Resim 5.18 Kamera parametreleri.

Yöneltme işleminin yapılabilmesi için öncelikle proje dosyası oluşturulmuş ve “.tif” formatlı görüntüler projeye “import” edilmiştir. Projeye eklenen fotoğraflara ait orta nokta koordinatları da projeye eklendikten sonra her bir kolona ait fotoğraflar piksel boyutlarına göre Resim 5.18’de belirtildiği gibi kendi içerisinde gruplandırılmıştır.

Gruplandırma işlemi tamamlandıktan sonra her bir kolona ait kamera parametre bilgileri yani odak uzaklığı ve tarama boyu yine Resim 5.18’de gösterildiği şekilde tanımlanmıştır. Kamera kalibrasyon bilgileri eksik varsayımı üzerine diğer parametreler “0” olarak girilmiştir.

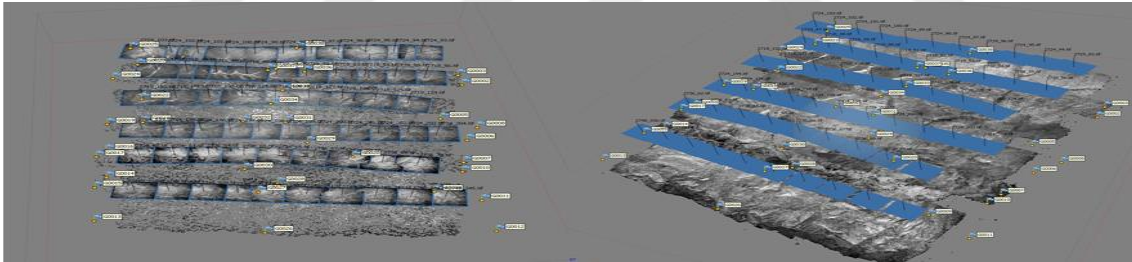


Resim 5.19 Koordinat sistemi ve ölçü hassasiyeti.

Kamera parametreleri girildikten sonra Resim 5.19’da koordinat sistemi UTM projeksiyonunda WGS84 datumunda olacak şekilde seçilmiş ve kamera hassasiyeti fotoğrafların orta nokta koordinatları hassas olmayan ($\pm 200\text{m}$) dizgi yöntemine göre belirlendiği için kaba hassasiyete sahip olduğundan 2000 m olarak seçilmiştir. BN toplama işleminde hatalı noktaları elimine edebilmek maksadıyla “Tie point accuracy” maksimum 1 piksel olacak şekilde girilmiştir.

Parametreleri girilen projede ilk olarak BN noktası toplatılmış ve hassas olmayan orta nokta koordinatına göre 81294 adet BN noktası 1 piksel altı hassasiyet ile elde edilmiştir. Orta nokta koordinatlarına göre toplanan BN’ları ile blok yöneltilmiş ve proje uçuş hattına göre kaba yöneltilmiştir.

İkinci aşamada stereo görüntülerden toplanan 27 adet YKN noktaları projeye eklenmiş ve Resim 5.20’de gösterildiği üzere fotoğraflar üzerinde olması gereken konuma getirilerek işaretlemeleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 5.20 YKN ve BN nokta dağılımı.

YKN’lerin işaretleme işlemi bittikten sonra proje, sadece odak uzaklığı ve fotoğraf boyut bilgisine göre 1 tur dengeleme işlemine sokulmuş ve model hesaplaması yapılmıştır. Hesaplama sonucu Çizelge 5.9’da gösterildiği üzere RMS X/Y yönünde ± 3.54 m olarak hesaplanmış ve ikinci tur dengeleme işleminde de yakın sonuç verdiği için tamamlanmıştır.

Çizelge 5.9 YKN hata değerleri.

60 Fotoğrafın Sonuç Özeti	
	X/Y KOH (m)
Aktif YKN’ler	± 3.54

Dengeleme işlemi tamamlanan projeye ait hassas dış yöneltme elemanları elde edilmiş ve Çizelge 5.10’da gösterilmiştir.

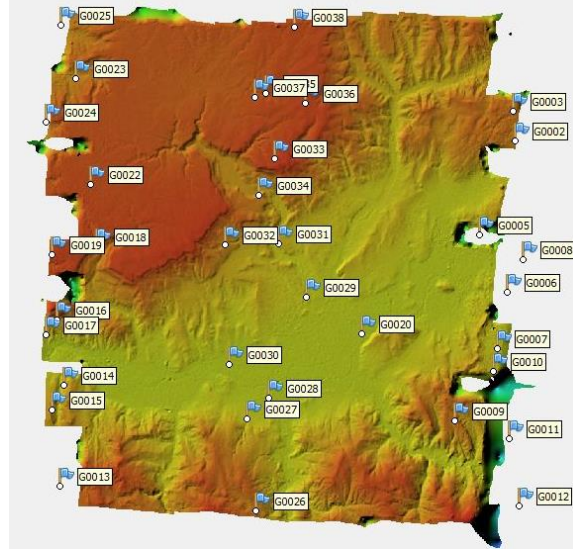
Çizelge 5.10 Yöntem-3 hassas dış yöneltme elemanları.

FotoğrafNo	X(m)	Y(m)	Z(m)	Omega(°)	Phi(°)	Kappa(°)
2718_47	320812.32	4409600.67	5317.02	-0.713	-0.044	-3.709
2718_48	322674.91	4409484.03	5322.55	-0.404	-0.698	-5.746
2718_49	324484.94	4409331.21	5328.53	-0.720	0.393	-5.837
2718_50	326319.39	4409167.26	5328.01	-0.464	-0.223	-6.256
2718_51	328127.99	4409007.60	5326.17	-0.302	-0.204	-4.631
2718_52	329910.80	4408894.15	5333.38	-1.279	-0.564	-2.707
2718_53	331699.80	4408830.00	5327.30	-0.823	-0.609	-2.624
2718_54	333476.10	4408775.69	5336.55	-1.481	-0.185	-2.829
2718_55	335284.06	4408736.02	5337.71	-0.887	-0.283	-2.724
2718_56	337100.36	4408667.21	5329.61	-0.593	-0.061	-4.431
2718_124	335817.67	4405262.81	5323.37	-0.597	0.109	168.363
2718_125	333900.05	4405562.06	5335.07	0.522	-0.536	170.351
2718_126	331962.31	4405798.92	5321.41	-0.246	-0.367	172.510
2718_127	330014.71	4405961.54	5312.24	0.303	-0.295	173.826
2718_128	328065.48	4406032.74	5309.55	0.002	-0.106	176.620
2718_129	326116.89	4406038.52	5314.49	0.190	0.163	177.418
2718_130	324166.83	4406038.94	5310.97	0.379	-0.007	177.192
2718_131	322210.10	4406018.62	5323.01	-0.229	0.232	177.533
2718_132	320268.37	4405960.84	5341.40	0.361	-0.175	-179.408
2724_93	337134.80	4412106.43	5345.78	1.579	0.063	-5.756
2724_94	335375.13	4412208.19	5342.29	1.363	-0.599	174.702
2724_95	333625.34	4412201.51	5345.81	1.528	0.235	176.249
2724_96	331948.64	4412147.94	5345.11	0.999	0.731	177.372
2724_97	330223.80	4412075.34	5333.74	0.991	-0.068	177.439
2724_98	328485.61	4411993.25	5335.03	0.752	-0.424	177.607
2724_99	326742.25	4411918.80	5346.99	0.539	-0.129	176.303
2724_100	324979.67	4411936.60	5351.62	0.705	0.290	172.882
2724_101	323214.93	4412037.65	5351.10	0.785	0.629	172.365
2724_102	321508.57	4412148.41	5352.85	0.613	-0.174	171.857
2724_103	319776.89	4412247.86	5360.45	0.556	0.220	173.223
2724_194	320543.27	4401962.49	5221.56	-0.135	-1.206	-1.364
2724_195	322220.35	4401929.36	5225.23	-0.529	-1.340	-1.485
2724_196	323889.36	4401901.09	5226.96	-0.266	-1.354	-1.652
2724_197	325542.04	4401849.89	5223.46	-0.242	-1.434	-2.550
2724_198	327180.25	4401763.98	5238.43	-0.306	-1.108	-3.215
2724_199	328874.46	4401697.99	5239.85	-0.354	-1.062	-3.335

Çizelge 5.10 (Devamı) Yöntem-3 hassas dış yöneltme elemanları.

2724_200	330561.37	4401651.67	5223.96	0.515	-0.136	-2.970
2724_201	332217.85	4401591.54	5220.39	-0.932	-0.813	-2.195
2724_202	333903.75	4401533.51	5236.79	-0.270	-0.714	-2.054
2724_203	335548.63	4401488.33	5252.17	-0.304	-0.791	-2.921
2724_204	337213.65	4401460.94	5250.75	-0.573	-1.019	-0.835
2736_62	320722.31	4398898.63	5334.56	0.348	0.179	-0.526
2736_63	322655.75	4398902.62	5334.08	0.423	0.194	-1.027
2736_64	324548.16	4398923.31	5335.05	1.188	0.198	-0.764
2736_65	326468.59	4398875.87	5329.97	0.268	0.535	-4.234
2736_66	328366.68	4398766.07	5335.39	0.684	0.504	-8.009
2736_67	330269.61	4398591.68	5331.83	-0.009	0.242	-9.394
2736_68	332144.97	4398374.79	5352.04	0.916	0.099	-10.401
2736_69	333984.03	4398103.56	5336.38	-0.134	0.261	-8.008
2736_70	335877.92	4397869.92	5344.67	1.094	-0.831	-6.730
2748_336	320720.34	4395151.48	5422.42	-0.547	-0.427	-3.569
2748_337	322539.68	4395078.63	5408.11	-0.608	-0.105	-4.124
2748_338	324390.71	4394980.80	5404.38	0.062	-0.325	-4.997
2748_339	326190.66	4394865.04	5400.13	-0.404	0.164	-4.653
2748_340	328011.90	4394761.13	5397.95	-0.394	-0.022	-4.249
2748_341	329802.99	4394675.26	5398.07	-0.444	0.125	-4.677
2748_342	331631.06	4394592.77	5401.98	-0.910	-0.232	-4.211
2748_343	333400.08	4394544.40	5399.95	0.187	-0.226	-5.102
2748_344	335230.42	4394481.32	5387.95	-0.505	-0.484	-4.608
2748_345	337025.14	4394441.98	5390.16	-0.587	-0.488	-3.304

Ayrıca hassas dış yöneltme elemanları elde edilen hava fotoğraflarından nokta bulutu oluşturulmuş ve Resim 5.21’de gösterildiği üzere 1 piksel YÖA’na sahip SYM verisi üretilmiştir.

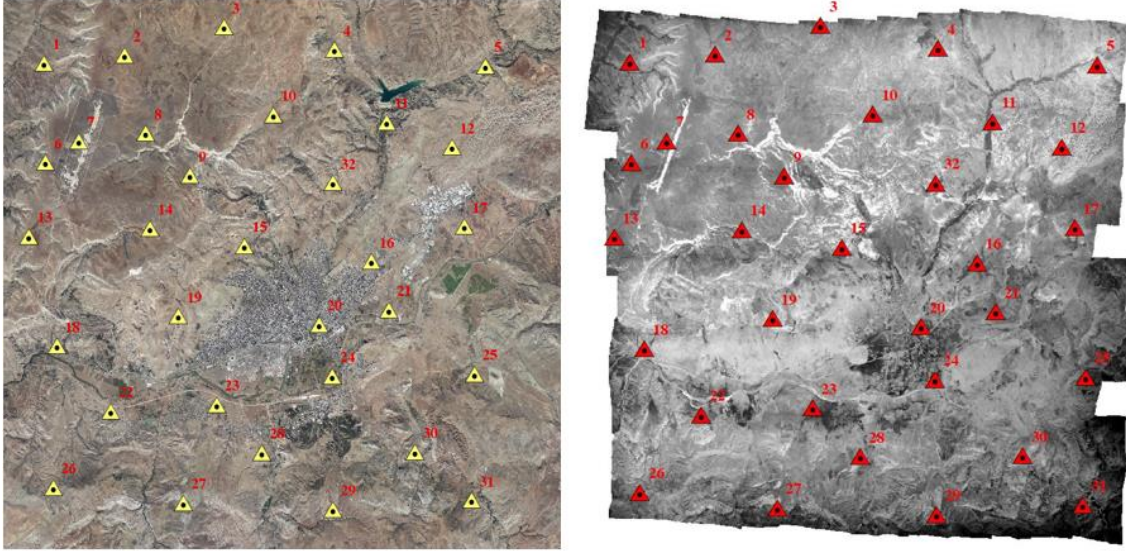


Resim 5.21 SYM verisi.

Bu kapsamda 3 farklı yöntem ile analog hava fotoğraflarından 40 cm konumsal çözünürlüğünde ortofotolar üretilmiş ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

6. BULGULAR

Üretimleri tamamlanan ortofotolar Resim 6.1’de gösterilen referans ortogörüntü üzerinden elde edilen homojen olarak dağılmış KN’ler ile yatay doğruluk analizi yapılmıştır.



Resim 6.1 Kontrol noktaları.

Detay noktalarının seçiminde yıllara göre değişim göstermemiş ve iki görüntü arasında da belirgin olarak seçilebilen 32 adet detay noktası Resim 6.2’de belirtildiği gibi tespit edilmiştir.



Resim 6.2 Kontrolde kullanılan detay noktaları.

Bu doğrultuda referans ortogörüntü üzerinden ve 3 yöntemde de üretilen ortofotolardan detay noktaları tespit edilmiş ve X/Y koordinatları elde edilmiştir. Elde edilen X ve Y yönündeki koordinatlardan referans ortogörüntüye göre karesel ortalama hata (KOH) değerleri hesaplatılmıştır.

Kontrol Noktaları			PCI HAP			PCI Manuel			Agisoft		
Id	X (m)	Y (m)	Id	X (m)	Y (m)	Id	X (m)	Y (m)	Id	X (m)	Y (m)
1	318670.040	4412949.222	1	318672.791	4412946.259	1	318669.643	4412946.444	1	318666.865	4412956.366
2	322340.218	4413291.248	2	322342.758	4413287.015	2	322336.831	4413289.131	2	322342.599	4413292.789
3	326858.946	4414581.487	3	326859.369	4414588.895	3	326855.903	4414586.117	3	326859.739	4414587.412
4	331911.539	4413559.577	4	331917.254	4413556.825	4	331910.692	4413554.602	4	331913.444	4413572.277
5	338773.891	4412810.927	5	338777.913	4412805.291	5	338768.784	4412806.111	5	338777.410	4412820.915
6	318723.837	4408432.527	6	318729.552	4408427.870	6	318722.779	4408427.658	6	318722.171	4408430.066
7	320239.157	4409402.982	7	320242.862	4409397.479	7	320237.676	4409398.749	7	320238.681	4409400.839
8	323307.754	4409756.405	8	323310.294	4409753.018	8	323309.235	4409753.018	8	323305.849	4409755.611
9	325307.127	4407836.159	9	325306.704	4407833.619	9	325303.159	4407835.100	9	325302.629	4407836.952
10	329121.290	4410607.245	10	329125.523	4410602.165	10	329119.702	4410601.292	10	329120.813	4410603.435
11	334267.533	4410270.191	11	334270.496	4410266.592	11	334262.876	4410268.286	11	334266.408	4410271.712
12	337245.664	4409134.643	12	337250.321	4409127.446	12	337243.812	4409130.145	12	337247.251	4409131.627
13	317985.848	4405079.998	13	317988.811	4405075.130	13	317984.657	4405072.061	13	317985.319	4405073.913
14	323489.651	4405440.394	14	323491.556	4405438.066	14	323488.593	4405436.690	14	323488.698	4405442.219
15	327790.999	4404643.195	15	327794.597	4404636.845	15	327790.866	4404636.580	15	327789.649	4404643.750
16	333591.370	4403943.893	16	333594.333	4403936.696	16	333590.100	4403937.331	16	333588.989	4403943.417
17	337805.032	4405516.075	17	337805.244	4405510.149	17	337804.053	4405514.276	17	337801.540	4405514.488
18	319268.969	4400098.264	18	319272.356	4400092.126	18	319267.911	4400096.809	18	319264.844	4400109.112
19	324802.712	4401456.871	19	324799.960	4401455.601	19	324795.965	4401456.474	19	324794.774	4401458.194
20	331192.824	4401081.635	20	331195.787	4401077.613	20	331192.427	4401078.460	20	331189.384	4401077.402
21	334383.175	4401743.730	21	334391.642	4401736.745	21	334385.927	4401740.555	21	334384.763	4401746.243
22	321720.123	4397131.478	22	321725.627	4397124.281	22	321719.859	4397131.213	22	321728.590	4397110.841
23	326527.167	4397445.250	23	326531.400	4397437.630	23	326526.373	4397438.371	23	326522.404	4397428.581
24	331783.991	4398720.880	24	331794.998	4398713.049	24	331791.796	4398714.398	24	331781.672	4398724.849
25	338273.868	4398825.741	25	338277.889	4398820.449	25	338272.280	4398825.873	25	338270.764	4398839.764
26	319099.846	4393664.920	26	319109.503	4393665.846	26	319103.021	4393668.227	26	319100.928	4393665.002
27	325002.290	4392966.829	27	325008.640	4392961.272	27	325001.364	4392962.595	27	324994.829	4392989.689
28	328578.312	4395259.872	28	328581.064	4395256.908	28	328576.857	4395259.078	28	328588.102	4395255.109
29	331840.608	4392667.273	29	331846.164	4392664.495	29	331842.196	4392665.818	29	331839.708	4392669.398
30	335568.961	4395289.696	30	335572.559	4395285.251	30	335569.358	4395286.256	30	335563.801	4395282.684
31	338137.461	4393092.649	31	338137.593	4393091.459	31	338134.683	4393095.295	31	338136.909	4393111.170
32	331821.683	4407512.390	32	331826.525	4407509.612	32	331821.365	4407511.967	32	331821.021	4407513.581

Resim 6.3 Detay noktası koordinatları.

3 yöntem ile üretilen ortofotolardan Resim 6.3’de tespit edilen 32 adet detay noktasının koordinat değerleri ile referans ortogörüntüden elde edilen koordinatlar arasındaki farkların kareler toplamının nokta sayısına oranının karekökü alınarak KOH değerleri hesaplatılmış ve Çizelge 6.1’de gösterilen değerler ortaya çıkmıştır.

Çizelge 6.1 KOH değerleri.

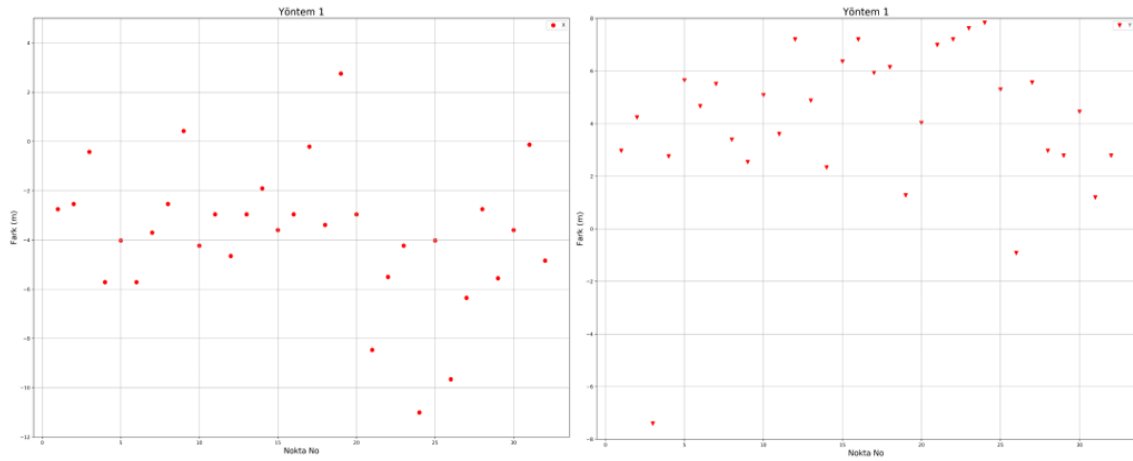
Uygulama	KOH (m)
Yöntem-1	±6.9
Yöntem-2	±4.9
Yöntem-3	±9.5

Bu durumda Yöntem-1'in referans ortogörüntüye göre farkından elde edilen yatay ekseninde KOH ± 6.9 m, Yöntem-2'de ± 4.9 m ve Yöntem-3'de ± 9.5 m olarak hesaplanmıştır. Yöntemlerin referans ortogörüntü noktalarına göre maksimum ve minimum farkları Çizelge 6.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2 Maksimum ve minimum mutlak farklar.

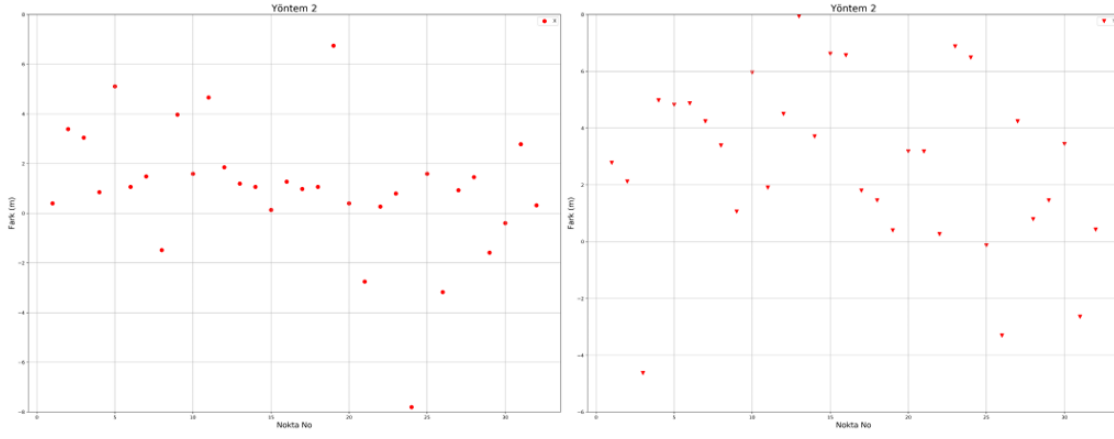
	ΔX maks.(m)	ΔX min.(m)	ΔY maks.(m)	ΔY min.(m)
Yöntem-1	11	0.1	7.8	0.9
Yöntem-2	7.8	0.1	7.9	0.1
Yöntem-3	9.8	0.5	22.9	0.1

Bu durum incelendiğinde Yöntem-1'e ait nokta dağılımı Resim 6.4'de belirtilmiş ve ortofoto da maksimum mutlak hatanın X ekseninde ve 11 m olduğu gözlemlenmiştir.



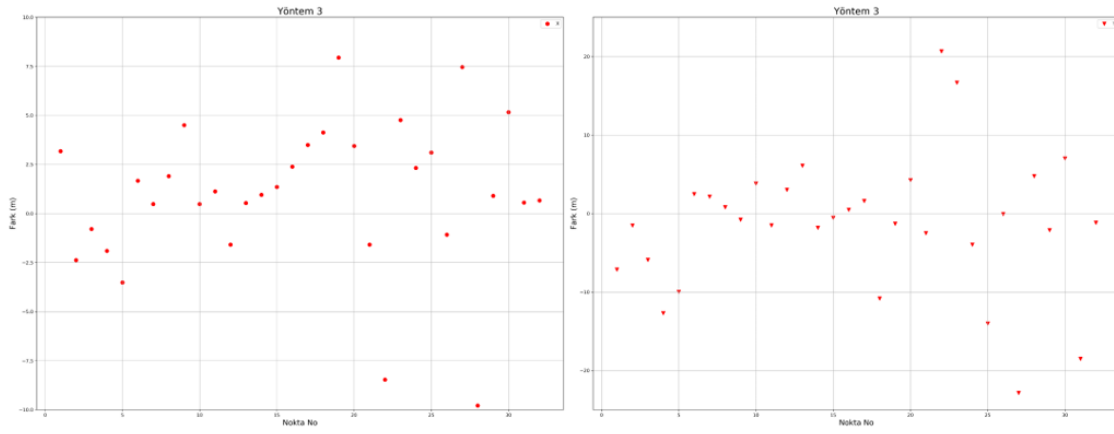
Resim 6.4 Yöntem-1 hata dağılım grafiği.

Yöntem-2 incelendiğinde nokta dağılımı Resim 6.5'de belirtilmiş ve ortofoto da maksimum mutlak hatanın Y ekseninde ve 7.9 m olduğu gözlemlenmiştir.



Resim 6.5 Yöntem-2 hata dağılım grafiği.

Yöntem-3 incelendiğinde nokta dağılımı Resim 6.6'da belirtilmiş ve ortofoto da maksimum mutlak hatanın Y ekseninde ve 22.9 m olduğu gözlemlenmiştir.



Resim 6.6 Yöntem-3 hata dağılım grafiği.

7. SONUÇLAR

Yapılan çalışma neticesinde 1973 yılına ait analog hava kamerası ile çekilmiş hava fotoğraflarından 3 farklı yöntem ile ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş ve ortofotoları üretilmiştir. Üretilen ortofotolar yine aynı bölgeye ait güncel ortogörüntüler ile karşılaştırılmış ve her bir yöntemin KOH değerleri hesaplatılmıştır.

Bulgular incelendiğinde en iyi sonucu ± 4.9 m ile manuel üretim olarak adlandırılan Yöntem-2 sonrasında sırasıyla Yöntem-1 ve Yöntem-3 vermiştir. Bu doğrultuda Yöntem-1 ve Yöntem-2 hata değerleri daha doğrusal yapıda olup Yöntem-3'e ait sonuçlara bakıldığında hataların yüksek olduğu gözlemlenmiştir. 3 farklı yöntem ile üretim sonucunda farklı KOH değerleri ortaya çıkmış ve bu değerler incelendiğinde iç yöneltme elemanları kullanılarak (Yöntem-1,Yöntem-2) yapılan üretimlerden elde edilen verilerin daha tutarlı olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca ilk iki üretimde (Yöntem-1,Yöntem-2) kendi içerisinde incelendiğinde otomatik görüntü eşleme yöntemi şehir merkezinin olduğu yerler gibi değişimin fazla olduğu bölgelerde beklenildiği üzere fayda sağlayamamış ve yerleşim yerlerinin olduğu bölgelerde yeteri kadar YKN elde edilememiştir. Fakat manuel üretim olan Yöntem-2 daha iyi sonuç vermiş olmasına rağmen; KOH değerleri birbirine yakın çıkan Yöntem-1 ve Yöntem-2'nin avantajları düşünüldüğünde, Yöntem-1' in zaman ve maliyet açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür. Fakat Yöntem-3 üretimi tercih edilmesi durumunda iç yöneltme yapmadan görüntülerin sayısal hava fotoğrafı gibi varsayımı ile elde edilen dış yöneltme elemanlarından elde edilen ortofotolarda bölgesel hataların olabildiği görülmüştür. Bu doğrultuda özellikle ilk iki yöntemde de (Yöntem-1,Yöntem-2) çıkan farkların yapılan uçuşun özellikle 1/25.000 pafta ölçekli plan olduğu ve görüntüler ile referans veri arasındaki zaman farkı (46 yıl) göz önünde bulundurulduğunda yeterli seviyede olduğu değerlendirilmektedir.

Sonuç olarak iç yöneltme elemanları kullanılarak yapılan rektifikasyon işlemlerinin konumsal doğruluğu arttırdığı ve daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca analog hava kameralarıyla çekilen tarihi hava fotoğrafları; güncel uydu görüntüleri ya da güncel

hava fotoğrafları yardımıyla değişim analizlerinde, sınır anlaşmazlıklarının çözümünde vb. konularda kullanıldığında, tarihi verinin doğruluğuna bağlı olarak kullanıcılara sağladığı katkılar göz önünde bulunduğunda büyük öneme sahip olduğu görölmüştür.



8. KAYNAKLAR

- Bilgi S, 2007, Fotogrametri ve Uzaktan Algılamada Veri Elde Etme Yöntemlerinin Gelişimi ve Kısa Tarihçeleri, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi.
- Blonquist F K, 2008, Development Of A Mathematical Model For 3D Reconstruction Of Target Objects By Photogrammetry, Utah State University, Civil and Environmental Engineering, Master Of Science ,4p Utah.
- Gürbüz H, 2006, Genel Fotogrametri 1 Kitabı, 4s, Ankara.
- Gürbüz H, 2006, Genel Fotogrametri 1 Kitabı, 8s, Ankara.
- Gürbüz H, 2006, Genel Fotogrametri 1 Kitabı, 11s, Ankara.
- Karlı F, Fotogrametri, İstanbul Üniversitesi Açık ve Uzaktan Eğitim Fakültesi Ders Notu.
- Kiracı C, 2018, Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS Yöntemi ile Fotogrametrik Uygulamalar ve Doğruluk Araştırması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 15s, İstanbul.
- Kraus, K, 2000, Photogrammetry Fundamentals And Standard Processes, 396p, Köln,
- Kraus K, 2007, Fotogrametri Cilt 1 Kitabı, 5s, Ankara.
- Linder, W, 2009, Digital Photogrammetry A Practical Course, 226p, Berlin, Heidelberg.
- Nocerino E, Menna F, Remondino F, 2012, Multi-Temporal Analysis Of Landscapes And Urban Areas, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne.
- Pinto A.T, Gonçalves, J. A, Beja P, Pradinho Honrado J, 2019, From Archived Historical Aerial Imagery To Informative Orthophotos: A Framework For Retrieving The Past In Long-Term Socioecological Research, Remote Sensing, 11, 1388.
- Ruzgiene B, Bagdziunaite R, Ruginyte V, 2012, Scanning Aerial Photos Using A Non-Professional Scanner, Department of Geodesy and Cadastre, Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius.
- Schindler K, Mathematical Foundations of Photogrammetry ,Zürich.

- Selçuk O, 2008, Dijital ve Analog Hava Kameralarının Geometrik Potansiyellerinin Fotogrametrik Açıdan İrdelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 11s, Afyon.
- Selçuk O, Baybura T ve Karşlı F, 2010, Sayısal ve Analog Hava Kameralarının Geometrik Potansiyellerinin Fotogrametrik Açıdan İrdelenmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi.
- Stephan N, Natalie L and Marianne D, 2014, Building Change Detection from Historical Aerial Photographs, Remote Sensing, 6, 8310-8336.
- Stephanie A, Tomscha, Ira J, Sutherland, Delphine Renard, Sarah E, Gergel, Jeanine M, Rhemtulla, Elena M, Bennett, Lori D, Daniels, Ian M. S, Eddy, and Emily E, Clark, 2016, A Guide to Historical Data Sets for Reconstructing Ecosystem Service Change over Time, Oxford University Press.
- Tokmanoğlu, 1982, Fotogrametri, 2s, İstanbul.
- Uysal M, 2009, Geometrik Koşullar Yardımıyla Tarihi Yapıların Yeniden Oluşturulması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.
- Uysal E, 2016, Uzay Fotogrametrisi, Geomatik Dergisi, Konya.
- Yastıklı N, 2009, Fotogrametrinin Temelleri , Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, Ders Notu, İstanbul.
- Yaşayan A, Uysal M, Varlık A, Avdan U, 2011, Anadolu Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi, Fotogrametri Yayını, 1s, Eskişehir.

İnternet Kaynakları

- 1-<https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/satellite-imagery-and-air-photos/tutorial-fundamentals-remote-sensing/satellites-and-sensors/cameras-and-aerial-photography/9351>, 07.06.2022
- 2- <https://www.harita.gov.tr/fotograflarla-tarihimiz>, 07.06.2022
- 3- <https://www.geodyn.com/M2.html>, 05.06.2022