



İNSANSIZ HAVA ARACI FOTOGRAMETRİSİNDE HASSAS KONUMLANDIRMA

Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Furkan DAĞ

ORCID 0000-0002-9147-1531

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ

Ağustos 2024

İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi **Furkan DAĞ** tarafından hazırlanan **İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisinde Hassas Konumlandırma** başlıklı bu çalışma tarafımızca okunmuş olup, yapılan savunma sınavı sonucunda kapsam ve nitelik açısından başarılı bulunarak jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

ONAYLAYANLAR:

Tez Danışmanı: **Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ**
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Güven KOÇAK
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi

Doç. Dr. Nusret DEMİR
Akdeniz Üniversitesi

Savunma Tarihi: 20.08.2024

Yazarlık Beyanı

Ben, **Furkan DAĞ**, başlığı **Tezin Türkçe Başlığı** olan bu tezimin ve tezin içinde sunulan bilgilerin şahsıma ait olduğunu beyan ederim. Ayrıca:

- Bu çalışmanın bütünü veya esası bu üniversitede Yüksek Lisans / Doktora derecesi elde etmek üzere çalıştığım süre içinde gerçekleştirilmiştir.
- Daha önce bu tezin herhangi bir kısmı başka bir derece veya yeterlik almak üzere bu üniversiteye veya başka bir kuruma sunulduysa bu açık biçimde ifade edilmiştir.
- Başkalarının yayımlanmış çalışmalarına başvurduğum durumlarda bu çalışmalara açık biçimde atıfta buldum.
- Başkalarının çalışmalarından alıntıladığımda kaynağı her zaman belirttim. Tezin bu alıntılar dışında kalan kısmı tümüyle benim kendi çalışmamdır.
- Kayda değer yardım aldığım bütün kaynaklara teşekkür ettim.
- Tezde başkalarıyla birlikte gerçekleştirilen çalışmalar varsa onların katkısını ve kendi yaptıklarımı tam olarak açıkladım.

Tarih: 20.08.2024

İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisinde Hassas Konumlandırma

ÖZ

İnsansız hava araçlarının ortaya çıkmasıyla beraber, daha önceden yapılan hava fotogrametrisinde kullanılan uçurtma, uçak, helikopter vb. ile yapılan araçlara göre verimliliğine yönelik çalışmalar yapılmıştır. Sonucunda ise insansız hava araçlarıyla yapılan fotogrametrinin diğerlerine göre daha ekonomik, daha pratik, daha az zamanda ve daha az kişiyle yapılabildiği görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı hava fotogrametrisinde en çok kullanılan araç olmuştur. GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojisinin sivil kullanıma açılmasıyla birlikte insansız hava aracı fotogrametrisi daha iyi sonuçlar vermektedir. Ağ-RTK yöntemi ortaya çıkmadan önce insansız hava aracı fotogrametrisi, Klasik-RTK ve PPK yöntemiyle yapılmıştır. Kurulduğu zamandan bugüne kadar sıkça kullanılan bu üç yöntemde insansız hava araçları üzerinde de kullanılmıştır; ama doğrulukları bu araç üzerinde doğruluğu tam olarak bilinmemektedir. Yapılan ölçümler her ne kadar pratik ve ekonomik olsa da hata değerleri fazla olursa bu ölçümlerin mühendislik açısından bir değeri kalmamaktadır. Bu sebeple CORS, RTK ve PPK yöntemlerinin doğruluğunun incelenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada CORS, RTK ve PPK yöntemlerinin doğruluklarının karşılaştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Muğla Fethiye bölgesinde 8 076 482 m²'lik alanda 13 tane Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılmıştır. CORS ve RTK yöntemlerinde DJI Phantom 4 RTK İnsansız Hava Aracı kullanılmış olup PPK yönteminde ise DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Araçları kullanılmıştır. Gerçekleşen uçuşlarda her üç yöntemde aynı bölgede ve aynı günde gerçekleşmiş, aynı sayıda YKN kullanılmıştır. Bu tezde, yapılan ölçümler sonucunda hangi yöntemin doğruluğunun daha iyi olduğu belirlenmiş, geri kalan önemli olan kriterlerde ise her üç yöntemde birbirine göre avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: İHA, GNSS, CORS, RTK, PPK

Precise Positioning in Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry

Abstract

With the emergence of unmanned aerial vehicles, studies have been carried out on their usability compared to the kites, planes, helicopters and other tools previously used in aerial photogrammetry. As a result, it has been seen that photogrammetry with unmanned aerial vehicles can be done more economically, more practically, in less time and with fewer people than others. For these reasons, it has become the most used tool in aerial photogrammetry. With the introduction of GNSS (Global Navigation Satellite System) technology into civilian use, unmanned aerial vehicle photogrammetry provides better results. Before the emergence of the Network-RTK method, unmanned aerial vehicle photogrammetry was done with the Classic-RTK and PPK method. These three methods, which have been frequently used since their establishment, have also been used on unmanned aerial vehicles; but their accuracy on this tool is not fully known. Although the measurements made are practical and economical, if the error values are high, these measurements have no value in terms of engineering. For this reason, the accuracy of CORS, RTK and PPK methods needs to be examined.

In this study, the accuracies of CORS, RTK and PPK methods were compared. For this purpose, 13 Ground Control Points (GCPs) were used in an area of 8,076,482 m² in the Fethiye region of Muğla. DJI Phantom 4 RTK Unmanned Aerial Vehicle was used in CORS and RTK methods, and DJI Phantom 4 Pro Unmanned Aerial Vehicles were used in the PPK method. In the flights performed, all three methods were in the same region and on the same day, and the same number of GCPs were used. In this thesis, as a result of the measurements made, it was determined which method had better accuracy, and the advantages and disadvantages of all three methods were presented in the remaining important criteria.

Keywords: UAV, GNSS, CORS, RTK, PPK

Teşekkür

Bu tezi yazmam için bana verdiği desteklerden ötürü öncelikle danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan KARAKIŞ hocama, bana bu verileri sağlayan Harita Mühendisi Tufan TAŞKINVARDAR, değerli okul ve mesai arkadaşlarıma, son olarak canım ailem ve sevgilime teşekkürlerimi iletiyorum.



İçindekiler

İNSANSIZ HAVA ARACI FOTOGRAMETRİSİNDE HASSAS KONUMLANDIRMASI	i
Yazarlık Beyanı	ii
Özet	iii
Abstract	iv
Teşekkür	v
İçindekiler	vi
Şekiller Listesi	ix
Tablolar Listesi	xi
Kısaltmalar Listesi	xii
Semboller Listesi.....	xiii
1-Giriş.....	2
2-Literatür Araştırması	2
3-Tanımlar	5
3.1 Fotogrametrinin Tanımı.....	5
3.2 Fotogrametrinin Tarihçesi	5
3.2.1 Fotoğraf Öncesi Dönem	6
3.2.2 Grafik (Plançete) Fotogrametri	7
3.2.3 Analog Fotogrametri	7
3.2.4 Analitik Fotogrametri	8
3.2.5 Sayısal (Dijital) Fotogrametri	8
3.3 Fotogrametri Kullanım Alanları	8
3.4 Fotogrametri Çeşitleri.....	8
3.4.1 Kamera Konumuna Göre Sınıflandırma.....	9
3.4.2 Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre Sınıflandırma	10

3.4.3	Uygulama Alanına Göre Sınıflandırma.....	10
3.4.4	Obje Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma.....	11
3.5	GNSS.....	12
3.5.1	GNSS Tarihçesi.....	13
3.5.2	GNSS Çeşitleri.....	15
3.5.3	RNSS ve Çeşitleri	17
3.6	GNSS Ölçüm Çeşitleri	18
3.6.1	Mutlak Konum Belirleme	19
3.6.2	Görerek Konum Belirleme	21
3.7	Kinematik Ölçüler	25
3.7.1	Klasik RTK Yöntemi.....	25
3.7.2	Ağ RTK Yöntemi (CORS)	27
3.7.3	Ölçüm Sonrası Kinematik (PPK) Değerlendirme Yöntemi	28
3.8	Yer Kontrol Noktası.....	29
3.8.1	İlgili Mevzuatlarda YKN Sayısı ve Dağılımı	32
3.8.2	YKN Sayısı ve Dağılımının Sonuçlara Etkisi.....	33
3.9	İHA Fotogrametrisi	34
3.9.1	İnsansız Hava Aracı Nedir?	34
3.9.2	İnsansız Hava Aracının Tarihçesi	34
4	Uygulama	41
4.1	Çalışma Alanı ve Uçuş Planlaması	41
4.2	Uygulamada Kullanılan İnsansız Hava Araçları ve Özellikleri	41
4.3	Uygulamadaki Yer Kontrol Nokta Sayıları ve Dağılımları.....	42
4.4	Uygulamada Kullanılan İnsansız Hava Araçları	43
4.5	Uygulamada Kullanılan Programlar	46
4.6	Yöntem	46

4.6.1 Fotoğrafların Yüklenmesi	46
4.6.2 İç ve Dış Yönelme Parametrelerin Hesaplanması	47
4.6.3 Fotogrametrik Nirengi (Yer Kontrol Noktalarının Eklenmesi ve Fotoğraf Üzerinde İşaretlenmesi).....	58
4.6.4 Yoğun Nokta Bulutu Oluşturulması	72
4.6.5 Sayısal Yüzey Modeli Oluşturulması	72
4.6.6 Ortofoto Oluşturulması	73
5-Sonuç ve Öneriler	75
Kaynaklar.....	78
Özgeçmiş.....	82

Şekiller Listesi

Şekil 3.1: Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar.....	6
Şekil 3.2: GNSS Sistemi.....	13
Şekil 3.3: GNSS Konum Belirleme Yöntemleri.....	19
Şekil 3.4: Mutlak Konum Belirleme Yöntemi.....	20
Şekil 3.5: Görerek Konum Belirleme Yöntemi.....	21
Şekil 3.6: RTK yöntemi.....	27
Şekil 3.7: CORS yöntemi.....	28
Şekil 3.8: PPK Yöntemi.....	29
Şekil 3.9: Yer Kontrol Noktası Şekli ve Konumu.....	31
Şekil 3.11: Güvercinlerle kullanılan sistemlerin bir örneği.....	34
Şekil 3.12: Uçurtma ile kullanılan sisteme ait bir çizim.....	35
Şekil 3.13: İkinci Dünya Savaşı Sırasında Geliştirilen B17 İnsansız Hava Aracı.....	36
Şekil 3.14: Bağlı bir balonun doldurulması.....	37
Şekil 3.15: Telsiz kontrollü Hasselblad El 500 kamerası, gimbalde asılı.....	37
Şekil 3.16: 1979'da üretilen sabit kanatlı İHA.....	38
Şekil 3.17: 1980'de üretilen döner kanatlı İHA.....	39
Şekil 4.1: Çalışma Alanı.....	41
Şekil 4.2: Uçuş Planlaması.....	42

Şekil 4.3: Yer Kontrol Noktalarının Çalışma Alanında Dağılımı.....	43
Şekil 4.4: DJI Phantom 4 RTK İnsansız Hava Aracı	44
Şekil 4.5: DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı	45
Şekil 4.6: İHA Verilerinin Yüklenmesi.....	46
Şekil 4.7: Koordinat Sistemi Dönüştürme	47
Şekil 4.8: CORS Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri	48
Şekil 4.9: RTK Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri.....	49
Şekil 4.10: PPK Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri	50
Şekil 4.11: CORS Yönteminin Distorsiyon Çizgileri	51
Şekil 4.12: CORS Yönteminin Artık Değer Grafiği	51
Şekil 4.13: CORS Yönteminin Profil Grafiği.....	52
Şekil 4.14: CORS Yönteminin Korelasyon Değerleri	53
Şekil 4.15: RTK Yönteminin Distorsiyon Çizgileri.....	53
Şekil 4.16: RTK Yönteminin Artık Değer Grafiği	54
Şekil 4.17: RTK Yönteminin Profil Grafiği	54
Şekil 4.18: RTK Yönteminin Korelasyon Değerleri.....	55
Şekil 4.19: PPK Yönteminin Distorsiyon Çizgileri	55

Şekil 4.20: PPK Yönteminin Artık Değer Grafiği	56
Şekil 4.21: PPK Yönteminin Profil Grafiği.....	57
Şekil 4.22: PPK Yönteminin Korelasyon Değerleri	58
Şekil 4.23: İHA Görüntülerinin Nokta Bulutu.....	58
Şekil 4.24: Yer Kontrol Noktasını Fotoğraf Üzerinde İşaretlenmesi.....	59
Şekil 4.25: CORS Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları.....	62
Şekil 4.26: CORS Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri	63
Şekil 4.27: CORS Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri	64
Şekil 4.28: RTK Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları	65
Şekil 4.29: RTK Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri	66
Şekil 4.30: RTK Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri.....	67
Şekil 4.31: PPK Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları.....	68
Şekil 4.32: PPK Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri	69
Şekil 4.33: PPK Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri	70
Şekil 4.34: Yoğun Nokta Bulutu.....	72
Şekil 4.35: Sayısal Yükseklik Modeli	73

Şekil 4.36: Ortofoto Görüntü74



Tablolar Listesi

Tablo 4.1: DJI Phantom 4 RTK İnsansız Hava Aracı Özellikleri.....	44
Tablo 4.2: DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı Özellikleri	45
Tablo 4.3: CORS Hata Değerleri	60
Tablo 4.4: RTK Hata Değerleri	60
Tablo 4.5: PPK Hata Değerleri	60
Tablo 4.6: CORS,RTK ve PPK Hata Değerleri.....	60
Tablo 4.7: CORS Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri	60
Tablo 4.8: RTK Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri.....	60
Tablo 4.9: PPK Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri	60

Kısaltmalar Listesi

AR	Arttırılmış Gerçeklik
BÖHHBÜY	Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretme Yönetmeliği
CORS	Sürekli Gözlem Yapan Gözlem İstasyonu
DGPS	Ayrımsal Küresel Konumlama Sistemi
GLONASS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GNSS	Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GPS	Küresel Konumlama Sistemi
ISRO	Hindistan Uzay Araştırma Kuruluşu
İHA	İnsansız Hava Aracı
MAPEG	Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü
PPK	Ölçüm Sonrası Kinematik
PPP	Gelişmiş Konumlandırma Servisi
RTK	Gerçek Zamanlı Kinematik
SPS	Standart Konumlama Servisi
TKGM	Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
VR	Sanal Gerçeklik
YKN	Yer Kontrol Noktası

Semboller Listesi

%	Yüzde
ppm	Milyonda bir milimetre
g	Gram
m	Metre
μm	Nanometre
cm	Santimetre
mm	Milimetre

Bölüm 1

Giriş

İnsansız hava araçları, son yıllarda fotogrametri alanında önemli bir avantaj sunmaktadır. Fotogrametri, fotoğrafların dijital verilere dönüştürülmesi ve haritaların temin edilmesi gibi alanlarda kullanılan bir teknolojidir. İnsansız hava araçları, yüksek verimli kameralarla bu alanda başışlanarak büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu teknolojinin en önemli silahlardan biri, insan müdahalesine gerek kalmadan hassas ve hızlı veri toplama imkânı sunmasıdır. İnsansız hava araçları, belirli bir alanda programda değişebilen uçuş rotalarıyla istenilen zaman aralıklarında ve bu veriler hızlı bir şekilde işleyerek ayrıntılı haritalar halinde bulunabilir. Ayrıca insansız hava araçları daha yüksek irtifalara çıkabildikleri için geniş alanlar daha verimli veri toplama imkânı sunar. Bu da özellikle arazi üzerindeki ayrıntıların daha doğru bir şekilde analiz edilmesini mümkün kılar. İnsansız hava araçları ayrıcalığı, maliyet açısından da kazançtır. Geleneksel uçaklarla yapılan fotogrametri işlemlerine göre daha düşük destek olan bu teknoloji, daha geniş kitlelere ayırma ve daha fazla bölme sağlar. Tüm bu avantajlara rağmen, insansız hava araçlarıyla fotogrametri alanında bazı zorluklarla karşılaşılabilir. Teknolojinin hızla değişmesi ve sürekli olarak güncellenmesi gerekliliği gibi değişkenlerin göz önünde bulundurulması gerekir. Ancak insansız hava araçlarının fotogrametri potansiyeli oldukça büyük ve gelecekte daha da önemli bir yer edineceği kesindir.

İHA ile yapılan ölçümlerinde CORS, RTK ve PPK yöntemlerinin her üçünün de kendine özgü özellikleri vardır. Bu yöntemler arasındaki farkları anlamak, fotogrametride doğru ve güvenilir sonuçlara ulaşmak için çok önemlidir. Bu çalışmada İHA fotogrametride CORS, RTK ve PPK yöntemleri arasındaki farklar araştırılmış ve her iki yöntemin de avantaj ve dezavantajları sunulmuştur.

Bölüm 2

Literatür Araştırması

İHA sistemlerinin fotogrametrik ürünlerin üretilmesi amacı ile kullanılmasına yönelik ilgili literatürde geçmiş yıllarda gerçekleştirilmiş birçok bilimsel çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar genel olarak aşağıda özetlenmiştir;

Nagendran ve arkadaşları tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada, farklı yüksekliklerde (50, 60, 70, 80 ve 100m) gerçekleştirilen uçuşlarda YKN (Yer Kontrol Noktaları) kullanımının DSM (Dijital Yüzey Modeli) ve ortomozaik doğruluğuna etkisi incelenmiştir. YKN'nin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlarda X, Y ve Z bileşenlerindeki toplam hata karşılaştırıldığında, YKN kullanılmayan durumlarda ortalama hatanın tüm uçuş yüksekliklerinde daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, YKN kullanılmadığında üretilen ürünün doğruluğunun orijinal konumundan 10 ila 40 metre veya daha fazla sapabileceği belirtilmiş ve güvenilir bir fotogrametrik ürün elde etmek için 8-10 adet YKN'nin yeterli olduğu vurgulanmıştır. (Nagendran S., Tung W. vd., 2018)

Atak'ın 2018 yılındaki çalışmasında, ticari İHA fotogrametri yazılımları tarafından üretilen ortomozaiklerle açık kaynak kodlu Open Drone Map (ODM) yazılımı ile üretilen ortomozaiklerin doğruluğunu ve kullanım kolaylıklarını karşılaştırmıştır. Bu karşılaştırma için Pix4D Mapper, Photoscan Pro ve OpenDroneMap (ODM) yazılımları kullanılarak YKN'li ve YKN'siz 6 adet ortomozaik üretilmiş ve bu ortomozaiklerin doğruluk analizi yapılmıştır. Çalışma sonucunda, ticari yazılımlardan elde edilen farkların ihmal edilebilir düzeyde olduğu, açık kaynak kodlu yazılımın ise daha düşük doğruluk sağladığı belirlenmiştir. (Atak H., 2018)

Çetin'in 2019 yılında yapılan çalışmasında, İHA ile elde edilen görüntüler Pix4D Mapper ve Agisoft Photoscan yazılımlarında işlenerek ortomozaik ve sayısal yükseklik modeli (SYM) üretilmiştir. Aynı görüntüler, klasik fotogrametrik yöntemler kullanılarak da elde edilmiş ve aynı yazılımlarda işlenerek yükseklik verileri karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, klasik hava fotogrametrisi kullanılarak

elde edilen konum doğruluğuna, İHA ile elde edilen görüntülerle daha düşük maliyetle ulaşılabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, farklı İHA platformlarından elde edilen görüntülerin Agisoft Photoscan ve Pix4D Mapper yazılımlarında işlenmesiyle elde edilen sonuçların benzer doğrulukta olduğu tespit edilmiştir. (Çetin O., 2019)

Saygılı'nın 2019 yılında yapılan "İnsansız Hava Aracı ile Fotogrametrik Olarak Üretilen Verilerin Konum Doğruluklarının Araştırılması" adlı tez çalışmasında, Zonguldak ili Bülent Ecevit Üniversitesi kampüsü içerisindeki binaların detay ölçümlerinde İHA fotogrametrisinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Bu kapsamda, çalışma alanında %60 boyuna ve %40 enine bindirme oranına sahip 192 metre yükseklikten, ayrıca %80 boyuna ve %60 enine bindirme oranına sahip 160 metre yükseklikten iki farklı uçuş gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, total station kullanılarak elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, ilk uçuşta X, Y ve Z bileşenlerine ait konum doğrulukları sırasıyla ± 5.61 cm, ± 7.55 cm, ± 15.11 cm ve ortalama konum doğruluğu $m_{xyz} = \pm 17.80$ cm olarak tespit edilmiştir. İkinci uçuşta ise konum doğrulukları aynı sırayla ± 6.53 cm, ± 4.31 cm, ± 14.62 cm ve ortalama konum doğruluğu $m_{xyz} = \pm 16.59$ cm olarak bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde, 160 metre yükseklikte gerçekleştirilen uçuşun, 192 metre irtifadan yapılan uçuşa göre daha küçük hata oranlarına sahip olduğu görülmektedir. (Saygılı B., 2019)

Çallı'nın 2021 yılında yaptığı bütünleşik RTK özelliği olan ve olmayan İHA'lar kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada, elde edilen görüntüler Pix4D Mapper ve Agisoft PhotoScan yazılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Ortomozaiklerin doğruluk analizleri yapıldığında, RTK özellikli İHA'ların yatay ve düşey hassasiyetinin, RTK özelliği bulunmayan İHA'lara göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada kullanılan ticari yazılımlar arasında yapılan karşılaştırmada, Pix4D Mapper yazılımı ile değerlendirilen verilerin daha yüksek doğruluğa sahip olduğu belirlenmiştir (Çallı R., 2021).

Oğuz'un 2023 yılındaki çalışmasında ise kıyı bölgelerinde bulunan Aydın ve Muğla bölgeleri olmak üzere iki ayrı çalışma bölgesi seçilmiş olup bu bölgelerde Statik,

Klasik-RTK ve Ağ-RTK ölçme yöntemleri ile her iki bölgedeki çalışma alanlarında yer alan 12 adet noktada ölçümler yapılmıştır. 12 adet noktada statik ölçme yapılmış ve bu ölçü değerleri kesin ölçü değerleri olarak kabul edilerek bu ölçü değerlerine göre Klasik-RTK ölçme yöntemi yapılmıştır. Statik ölçme değerleri ile Klasik-RTK ve Ağ-RTK ölçme yöntemleri ile elde edilen ölçü değerlerinin sırasıyla farkları alınmıştır. Bu ölçü farkları çeşitli yönlerden incelenerek karşılaştırılmıştır. Ölçü farkları incelendiğinde Klasik-RTK için 9 adet ölçü noktasının yatayda ortalama farkı 0.0489 m, düşey yönde ortalama farkı 0.0382 m; Ağ-RTK için 12 adet ölçü noktasının yatayda ortalama farkı 0.1678m, düşey yönde ortalama farkı 0.0382 m olduğu ve bu sonuçlara göre Klasik-RTK ölçme yöntemi ile elde edilen ölçü değerlerinin statik ölçme değerlerine daha yakın olduğu görülmüştür. (Oğuz Ş., 2023)

Bölüm 3

Tanımlar

3.1 Fotogrametrinin Tanımı

Fotogrametri'nin kelime anlamı eski Yunan sözcükleri olan “photos (ışık)”, “grama (çizim)” ve “metron (ölçme)” kelimelerinin yan yana gelmesi ile ortaya çıkmıştır. Fotogrametri, uzaktan yapılan ölçme, değerlendirme ve yorumlama işlem adımları ile cisimlerin ve yüzeylerin özellikleri ve detayları hakkında sağlıklı bilgi edinmeyi sağlayan bir bilim dalıdır (Schenk T., 2005).

Fotogrametri, fotografik görüntülerin ve kayıtlı radyant elektromanyetik enerjinin ve diğer olayların desenlerini kaydetme, ölçme ve yorumlama süreçleri yoluyla fiziksel nesnelere ve çevre hakkında güvenilir bilgi elde etme sanatı, bilimi ve teknolojisidir (McGlone, J. C., Mikhail, E. M. Vd, 2004).

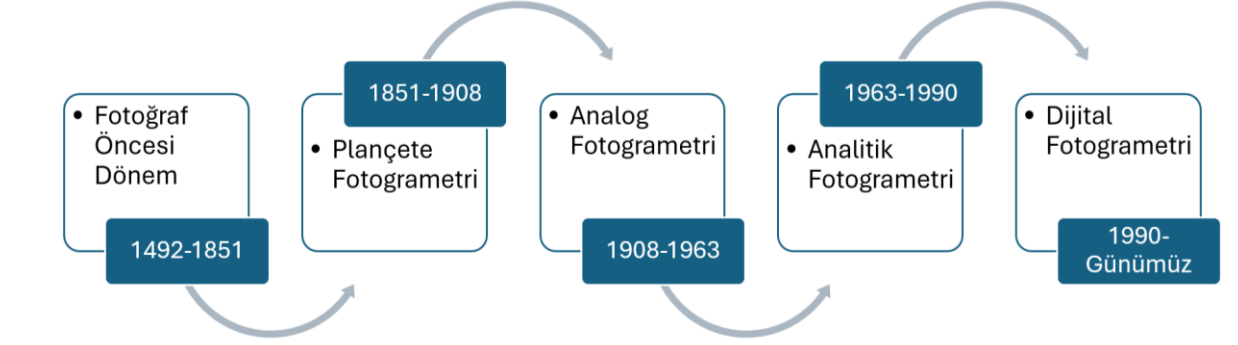
Genel olarak bir tanım yapılmak istenirse fotogrametri, iki boyutlu fotoğraf veya fotoğraflardan üç boyutlu bilgileri çıkarmak için kullanılan, perspektif geometrisi, optik ve fotografik temellerden yararlanan bir bilim dalıdır.

Fotogrametrinin amacı ise çekilen fotoğraflardan nesnelere ve ortam hakkında kesin üç boyutlu bilgiler elde etmektir.

3.2 Fotogrametrinin Tarihçesi

Fotogrametri biliminin tarihçesini kapsamlı bir şekilde anlamak için “Fotoğraf Öncesi Dönem”, “Plançete Fotogrametri”, “Analog Fotogrametri”, “Analitik Fotogrametri”

ve ‘‘Sayısal (Dijital) Fotogrametri’’ olarak Şekil 3.1. de gösterilmek üzere beş ana konuya ayrılmıştır.



Şekil 3.1: Teknolojik gelişmeler sonucunda meydana gelen fotogrametrik aşamalar

3.2.1 Fotoğraf Öncesi Dönem

Fotoğrafın olmadığı bu dönemde sadece optik ve matematiksel teoriler mevcuttur. Bu dönemin önemli gelişmelerinden ilki, 1492 yılında Leonardo Da Vinci'nin geliştirdiği optik mekanik, optik projeksiyon, merceklerin cilalanması ve jeodezi alanındaki çalışmalarıdır.

1525 yılında Albrecht Dürer, perspektif kurallarını geliştirmiş ve perspektif izdüşüm sağlayan bir mekanizma oluşturmuştur. Bu sayede stereoskopik çizimler yapılabilmıştır.

1726 yılında İsviçreli fizikçi F. Kapeller, stereoskopik çizim kavramını ölçme bilgisine uyarlayan ilk kişi olmuş ve yüksek noktalardan çekilen perspektif görüntülerden 'Lac de Neuchâtel' gölünün topografik haritasını oluşturmuştur.

1759 yılında matematikçi Henry Lambert, ters mercek projeksiyonu ve geri ışınlarla kestirme kavramlarını içeren 'Serbest Perspektif' adlı kitabı yayınlamıştır. Aynı yıl, kimyager Schultze, gümüş nitratin güneş ışığına maruz kaldığında karardığını keşfetmiştir. Diğer kimyagerlerle birlikte, kalıcı görüntü elde etme üzerine çalışmalar yapmıştır.

1829 yılında Guido Screiber, topografyanın havadan görüntülenebileceği fikriyle teorik çalışmalar yapmış ve formüller geliştirmiştir. Çalışmalarını 'Hava Topografyasında Formüller ve İşlem, Kamera Noktasının Belirlenmesi' başlığıyla

yayınlamıştır.

3.2.2 Grafik (Plançete) Fotogrametri

Fotogrametrik uygulamalar ilk defa plançete fotogrametrisi ile başlamıştır. Bu metodun temeli ise, iki noktadan, daha da iyisi üç noktadan çizimi yapılacak arazinin resme aktarılmasıdır. Plançete fotogrametrisi özellikle o günlerde teknik konularda ve mimaride kullanılmıştır.

18. yüzyılın ortalarından sonuna kadar devam eden bu dönemde, yersel ve balon fotogrametrisinde kayda değer başarılarla sahip öncü ve deneysel bir aşama olarak görülmektedir (Schenk T., 2005).

Fotogrametri terimi ise, 1867 tarihli "Die Photometrographie" adlı makalesini yayınlayan Prusyalı mimar Albrecht Meydenbauer tarafından üretildi.

Fransız subay Aime Laussedat, önce uçurtma kullanarak fotoğraf çekmeyi denemiştir. 1851 yılında, ilk fotogrametrik cihazları ve yöntemleri geliştirmiştir. 1859-1864 yılları arasında, Paris'in çeşitli bölgelerinin haritalarını çatılardan çektiği fotoğraflar ile yapmış ve bu haritaları mevcut haritalarla karşılaştırmıştır. Aime Laussedat, literatürde 'Fotogrametrinin Babası' olarak anılmaktadır.

3.2.3 Analog Fotogrametri

1908 yılında Eduard von Orel tarafından inşa edilen ilk grafik çizici (stereoplotter), yersel fotogrametriyi dağlık alanlarda pratik hale getirmesinden dolayı analog fotogrametri olarak nitelendirilen bu dönemde önemli bir gelişme olarak kabul edilmektedir (Collier P., 2002). Optik ve matematik alanında yaşanan gelişmelerle birlikte havadan çekilen fotoğraf örnekleri de ortaya çıkmaya başlamış ve bu yıllarda uçurtma, balon, zeplin vb. kullanılarak hava fotoğrafları çekilmiştir (Çallı R., 2021).

Ancak, 1. Dünya Savaşı sırasında pervaneli uçaklar ve kameraların faaliyete geçmesiyle birlikte hava fotoğrafları düzenli olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hava fotogrametrisi alanında en kayda değer gelişmeler ise iki dünya savaşı arasında gerçekleşmiş ve havadan araştırma tekniklerinin temelleri atılarak günümüze kadar gelmiştir (Schenk T., 2005).

3.2.4 Analitik Fotogrametri

Modern analitik fotogrametri dönemi, bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmeler neticesinde başlamıştır. Hava triyangülasyonuna ek olarak, üçüncü neslin bir başka önemli buluşu da geliştirilen analitik çizicidir. 1980'li yıllara doğru, daha küçük boyutlarda ve sayısal bilgisayarlara bağlı olarak çalışabilen çizicilerden çok sayıda üretilmiş ve 20. yüzyılın sonlarında bu çiziciler sık kullanılan bir harita üretim yöntemi haline gelmiştir (Saygılı B., 2019).

3.2.5 Sayısal (Dijital) Fotogrametri

Dijital fotogrametri çağı, 80'li yılların sonlarında bilgisayar, depolama cihazları ve kamera alanında meydana gelen teknolojik gelişmeler sonucunda başlamıştır (Saygılı B., 2019). Dijital hale getirilmiş veya dijital olarak algılanmış stereo görüntülere ait tüm değerlendirme işlemlerinin tamamen grafik işlemcili bilgisayarlar ile yapıldığı fotogrametri tekniği olan dijital fotogrametri de diğer fotogrametrik yöntemlere göre daha kısa zamanda ve yüksek doğrulukta sonuçlar alınabilmektedir (Çallı R., 2021).

3.3 Fotogrametri Kullanım Alanları

Fotogrametri, haritacılık, inşaat gibi mühendislik projeleri, bilimsel araştırmalar, deformasyon ölçümleri, kültürel mirasın korunması gibi mimari projelerde genellikle kullanılmasına rağmen video, oyunlar ve eğlence gibi alanlarda da kullanılmaktadır.

Şu andan itibaren ise, sanal gerçeklik (VR) ve arttırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri ile entegrasyon, robotik, yapay zekâ, nesnelerin interneti gibi gelişmekte olan teknolojilerle birleşimi ile mühendislik sektörünün yanı sıra eğlence, oyun, eğitim, turizm, sanat gibi alanlarla da kullanılmakta ve gelecekte kullanımı daha da artması planlanmaktadır.

3.4 Fotogrametri Çeşitleri

Fotogrametri, kamera konumuna göre, değerlendirmede kullanılan resim sayısına göre, değerlendirme yöntemine göre, uygulama alanlarına göre ve obje büyüklüğüne göre çeşitli sınıflara ayrılır.

3.4.1 Kamera Konumuna Göre Sınıflandırma

3.4.1.1 Yersel Fotogrametri

Yakın mesafedeki nesnelerin veya sahnelerin doğru ölçümlerini ve üç boyutlu bilgilerini elde etmek amacıyla, yer tabanlı kameralarla görüntülerin yakalanması ve analiz edilmesini kapsayan bir fotogrametri yöntemidir.

3.4.1.2 Hava Fotogrametrisi

Hava fotogrametrisi, uçaklar, insansız hava araçları veya balonlar gibi hava taşıtları kullanılarak yüksekte çekilen fotoğrafların, yer yüzeyindeki nesnelerin ve yapıların ölçüm ve haritalama amaçları için analiz edilmesini içeren bir fotogrametri yöntemidir.

3.4.1.3 Uydu Fotogrametrisi

Uydu fotogrametrisi, uydulardan elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerin, yeryüzündeki nesnelerin ve alanların ölçüm, analiz ve haritalama amacıyla kullanıldığı bir fotogrametri yöntemidir. Bu yöntem, uydular aracılığıyla geniş alanların detaylı görüntülerini toplar ve bu verilerden üç boyutlu modeller ve topografik haritalar oluşturur, böylece yeryüzü üzerindeki özelliklerin ve değişimlerin hassas bir biçimde incelenmesine olanak sağlar.

3.4.1.4 Yakın Resim Fotogrametrisi

Yakın mesafe fotogrametrisi, yer yüzeyine oldukça yakın mesafelerden, genellikle elle tutulan veya sabitlenmiş kameralarla çekilen fotoğrafların kullanıldığı bir fotogrametri

teknikidir. Bu yöntem, küçük ölçekli nesnelerin ve detayların yüksek doğrulukla ölçülmesi ve üç boyutlu modellerinin oluşturulması amacıyla görüntülerin toplandığı ve analiz edildiği bir yaklaşımdır. Hedef nesne ile kameranın uzaklığı 100 m'yi geçmediği durumlarda olan fotogrametri çeşididir. Genellikle arkeolojik alanlar, bina restorasyonları veya detaylı yapısal analizler gibi özel uygulamalarda kullanılır.

3.4.2 Değerlendirmede Kullanılan Resim Sayısına Göre Sınıflandırma

3.4.2.1 Tek Resim Fotogrametrisi

Monoküler fotogrametri, yalnızca bir görüntü kullanarak nesnelerin veya sahnelerin üç boyutlu bilgilerini ve ölçümlerini elde etmeye yönelik bir tekniktir. Tek bir fotoğrafla yapılan bu analiz yöntemi, derinlik bilgisi ve boyutları belirlemek için çeşitli algoritmalar ve hesaplamalar kullanır.

3.4.2.2 Çift Resim Fotogrametrisi

Stereo fotogrametri, ya da diğer adıyla çift görüntü fotogrametrisi, üç boyutlu bilgi ve ölçümleri elde etmek için aynı nesnenin veya sahnenin iki örtüşen görüntüsünü kullanan bir tekniktir. Bu yöntem, iki farklı açıdan alınan görüntülerin karşılaştırılması yoluyla, insan gözünün derinlik algısını taklit eden stereo görüş prensibine dayanır.

3.4.3 Uygulama Alanına Göre Sınıflandırma

3.4.3.1 Fotoğraf-Yorumlama:

Fotoğraf yorumlama, havadan veya uydudan alınan görüntülerdeki özellikleri, nesneleri ve desenleri analiz ederek anlamak ve yorumlamak için yapılan bir bilgi çıkarma sürecidir.

3.4.3.2 Topografik Fotogrametri:

Hava veya uydu görüntülerinden dünya yüzeyinin hassas ve detaylı topografik haritalarının ve modellerinin oluşturulmasına yönelik bir fotogrametri alanıdır.

3.4.3.3 Topografik Olmayan Fotogrametri:

Haritacılık dışında kullanılan, daha çok tıp, diş hekimliği, sinema, sanal gerçeklik gibi alanlarda kullanılan fotogrametri alanıdır.

3.4.3.4 Endüstriyel Fotogrametri:

Endüstriyel ortamlarda fotogrametri, nesnelerin, bileşenlerin ve çevrelerin ölçülmesi, analizi, kalite kontrolü ve belgelenmesi amacıyla uygulanan özel bir tekniktir.

3.4.3.5 Mimari Fotogrametrisi:

Mimari fotogrametri, mimari yapıların, binaların ve iç mekanların görüntülerini elde etmek amacıyla kullanılan bir fotogrametri türüdür. Bu yöntem, özellikle tasarım, restorasyon ve belgelenme gibi çeşitli mimari uygulamalar için doğru ölçümler ve üç boyutlu (3B) veriler sağlamayı hedefler. Yapının veya mekânın detaylı analizini ve modellemesini yaparak, mimari projelerde yüksek hassasiyet ve doğruluk sağlar.

3.4.4 Obje Büyüklüğüne Göre Sınıflandırma

3.4.5.1 Mikro Fotogrametri:

Küçük ölçekli nesnelerin veya sahnelerin yüksek detay seviyesine sahip görüntülerini elde etmeye ve analiz etmeye yönelik özel bir fotogrametri dalıdır. Bu yöntem, arkeoloji, kültürel mirasın korunması, ürün tasarımı, adli tıp ve kalite kontrol gibi çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle küçük detayların hassas bir şekilde belgelenmesi ve üç boyutlu modelleme yapılması gereken durumlarda etkili bir çözümdür.

3.4.5.2 Makro Fotogrametri:

Makro fotogrametri, büyük ölçekli nesnelerin veya geniş alanların yüksek ayrıntı ve doğrulukla görüntülenmesini ve analiz edilmesini amaçlayan bir fotogrametri alanıdır. Bu yöntem, büyük yapıların, geniş inşaat projelerinin ve büyük ölçekli kültürel miras alanlarının belgelenmesi için kullanılır. Makro fotogrametri, mimarlık, mühendislik ve kültürel miras koruma gibi alanlarda, geniş kapsamlı verilerin detaylı bir şekilde elde edilmesini ve üç boyutlu modellerin oluşturulmasını sağlar.

3.5 GNSS

Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (GNSS), dünya üzerinde bulunan herhangi bir kullanıcının uydu sistemleri yardımı ile herhangi bir yer ve zamanda her türlü hava koşullarında global koordinat sisteminde hassas doğrulukta anlık ve sürekli konum, hız ve zaman bilgilerinin belirlenmesine imkân veren bir navigasyon sistemidir.

GNSS sistemleri genellikle üç bileşenden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi uydularda olan uzay bölümü, ikincisi alıcıların bulunduğu kullanıcı bölümü ve üçüncüsü ise tüm bu sistemi yöneten kontrol bölümüdür. GNSS sisteminde alıcı ne kadar uydu görebilirse konum doğruluğu o kadar fazla doğru olur. Çalışması ise bilinmeyen bir noktanın gördüğü en az 4 tane uydudan geriden kestirme yöntemi ile bulunmasıdır. 3 tane uydu kullanarak da konumu bulunabilir; ancak bilinmeyenlerden birisi olan saat hatasını ortadan kaldırmak için en az bir tane daha uyduya ihtiyaç duyulmaktadır. GNSS teknolojisinin basit hali Şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.2: GNSS Sistemi

GNSS'nin kullanım alanları ise askeri olarak arama kurtarma, hedef bulma, füze güdümü gibi konular olmakta iken sivil kullanım alanları ise jeodezik ölçümler, fotogrametrik ölçümler, deformasyon ölçümleri, araç takip sistemleri gibi konular olmaktadır.

3.5.1 GNSS Tarihçesi

Küresel Navigasyon Uydu Sistemlerinin (GNSS) başlangıç tarihi yaklaşık 1900'lü yılların orta zamanlarında başlar. Bugünkü aktif olarak kullanılan GNSS sisteminin temel taşlarını içerir. Bu önemli gelişmeler toplam yedi maddede aşağıda gösterilmiştir.

3.5.1.1 1950'li Yıllar

1950'lerde, uyduları navigasyon amacıyla kullanma fikri ortaya atılmıştır. Bu fikir daha sonraki yıllarda gerçekleşse de bu dönemin en büyük gelişmesi 1957 yılında Sovyetler Birliği tarafından "Sputnik" isminde ilk yapay uydunun fırlatılmasıdır. Sputnik'in radyo sinyallerinin frekans değişimleri, Doppler etkisi kullanılarak izlenmiş

ve bu sayede yer konumu belirleme fikri doğmuştur.

3.5.1.2 1960'lı Yıllar

1960'ların başında, Amerika Birleşik Devletler Donanması tarafından geliştirilen TRANSIT Sistemi, ilk işlevsel GNSS sistemi olarak kabul edilmektedir. TRANSIT sistemi Doppler kaymasının analizi yapılarak alıcıların konum bilgilerinin hesaplanmasını sağlamaktadır, donanma gemileri ve denizaltılar için doğru konum bilgisi sağlamak amacıyla alçak Dünya yörüngesindeki (LEO) uydulardan oluşan bir ağ kullanmıştır. O dönemde çok büyük gelişmeler olmasına rağmen, sistemin kapsama alanı ve doğruluğu konusunda bazı sınırlamalar olmuştur.

3.5.1.3 1970 ve 1980'li Yıllar

1973 yılında Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) projesi başlatılmıştır. Sistem, öncelikle dünya çapındaki askeri kullanıcılara kesin konumlandırma, navigasyon ve zamanlama bilgileri sağlamak amacıyla tasarlanmıştır. İlk GPS uyduları yani Blok 1 uyduları 1978'de fırlatılmıştır. Bu uydular sistemin test edilip doğrulanması amacıyla fırlatılmıştır. 1980'lerin sonunda sistem, ilk işlevsel aşamaya geçilmesine kadar Blok 2 uyduları fırlatılmıştır.

1982 yılında ise Sovyetler Birliği tarafından GLONASS adı verilen kendi uydusunu fırlatması ile kendi navigasyon sistemi oluşturulmuş ve GPS dışında yeni bir GNSS çeşidi ortaya çıkmıştır. GLONASS sistemi aynı GPS sistemi gibi askeri amaçla kurulmuş olup dünya genelinde kapsamayı amaçlayan bir sistemdir.

3.5.1.4 1990'lı Yıllar

GPS ve GLONASS sistemlerinin doğruluğunu ve güvenilirliğini artırmak amacıyla çeşitli uydular ile destekleme işlemleri yapılmıştır. Bu sistemler arasında, 1995 yılında çok sayıda taşıyıcı roketlerin eklenmesi oluşmuş olup, GPS için ise Amerika Birleşik Devletleri'nin 1983 yılında dönemin başkanının GPS sisteminde sivil kullanımın

serbest bir şekilde olabilmesi için yönerge yayınlaması ve 1989 yılında ilk uydunun fırlatılmasıyla başlayıp 1994 yılında 24.uydunun fırlatılması olayı sonucu olup her iki sisteminde geliştirilmeleri sağlanmıştır.

3.5.1.5 2000 ve 2010'lu Yıllar

2000'lerin başında hem GPS hem de GLONASS sistemleri, doğruluk, sinyal güvenilirliğini ve erişilebilirliği iyileştirmek için modernizasyon çabalarından geçti. Diğer ülkeler ve bölgeler de kendi GNSS sistemlerini geliştirmeye başlamışlardır. Avrupa Birliği'nin Galileo sistemi ve Çin'in BeiDou sistemi bu dönemin en büyük gelişmelerinden olmuştur.

3.1.1.6 2010'lardan İtibaren

Şu anda dünya, birden çok uydu sisteminin (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou... vb.) birçok GNSS sistemlerinin entegrasyonundan faydalanmaktadır. Sistemlerin bu entegrasyonu, kullanıcılara konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetlerinde daha fazla doğruluk, güvenilirlik ve erişim imkânı sunmaktadır. Bu dönemin şu ana kadar en büyük gelişmelerinden ise Galileo sisteminin 2010'lu yıllarda, BeiDou sisteminin ise 2020 yılında küresel kapsama ulaşmasıdır.

3.5.2 GNSS Çeşitleri

Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri (GNSS), çeşitli ülkelerde yerden yükseklik, uydu sayısı, frekans çeşidi ... vb. özelliklerine göre çeşitli sistemleri vardır.

3.5.2.1 GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi):

Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından geliştirilen ve işletilen Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi), en eski ve en yaygın GNSS sistemlerindedir. Bu sistem, dünya yörüngesinde dönen birçok

uydudan oluşan bir ağ kullanarak küresel konum, yön bulma ve zaman bilgilerini sunmaktadır. GPS teknolojisini içeren uydular, Dünya'nın yüzeyinden yaklaşık 20.200 kilometre (12.550 mil) yükseklikte bulunmaktadır. Güncel durumda 31 tane aktif uydu bulunmaktadır. GPS uydularının kendi aralarında iletişimi için aynı radyo frekansı ve farklı kodları kullanmaktadır. GPS teknolojisi, her türlü hava koşulunda, dünyanın her yerinde ve 24 saat boyunca kullanıcılarına ücretsiz olarak hizmet gösterecek şekilde tasarlanmıştır.

3.5.2.2 GLONASS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi):

Sovyetler Birliği tarafından geliştirilen ve şu anda Rus Hava-Uzay Savunma Kuvvetleri tarafından işletilen GLONASS, GPS teknolojisinden sonra en yaygın kullanılan teknolojidir. Bu sistemi oluşturan Sovyetler Birliği'nin asıl amacı yüksek hızlı araçların navigasyonunu oluşturmaktır. 1990'lı yıllarda Sovyetler Birliği'nin çökmesi sonucunda bütçe sorunları ile bir süre askıya alınmıştır; ancak 2001 yılında hükümet bu sistemi tekrar aktif hale getirmiş ve 2007 yılında ise bu sistemi halka sunmaya başlamıştır. Açılımı Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) olan GLONASS, kullanıcılara konumlandırma ve zamanlama bilgileri sunmaktadır. Yer sistemlerinin çoğunluğu kuzey yarım kürede olmasından dolayı kuzey yarım küredeki ölçümler, güney yarım küredeki ölçümlere göre daha doğru sonuçlar vermektedir. GPS sisteminden farklı olarak GLONASS uydularının kendi aralarında iletişimde ise aynı kod; ancak farklı radyo sinyallerini kullanmaktadır. Güncel durumda 27 tane aktif uydusu bulunmaktadır.

3.5.2.3 Galileo:

Galileo, Avrupa'nın yüksek hassasiyetli konumlandırma, navigasyon ve zamanlama hizmetlerini sunan GNSS sistemidir. 1999 yılında Almanya, Fransa, İtalya ve Birleşik Krallık ülkelerinin bu fikri ortaya koymasıyla başlamıştır. Bu projenin ilk aşaması ise 2003 yılında Avrupa Birliği ve Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından anlaşmalarıyla tamamlanmıştır. Bu sistem GPS, GLONASS ve BeiDoi gibi sistemler gibi askeri kullanımın aksine sivil kullanım için tasarlanmıştır. Galileo, küresel navigasyon kapasitelerini geliştirmeyi ve GPS ile GLONASS sistemleriyle uyumlu olarak

çalışmayı hedeflemektedir. En son güncellemeye göre, Galileo 22 aktif uydu içermektedir.

3.5.2.4 BeiDou:

Çin tarafından geliştirilen BeiDou, dünya çapında kullanıcılara yüksek doğrulukta navigasyon hizmetleri sunan bir küresel uydu navigasyon sistemidir. Bu sistemin tasarısı 1980'li yıllarda olmasına rağmen ilk üç uydunun fırlatılması 2000 yılında olmuştur. 2012 yılında Çin ve bölgesini kapsayacak bir navigasyon sistemi oluşturulmuştur. 2020 yılında ise küresel BeiDou navigasyon sistemi oluşturulmuştur. Resmi adı BeiDou Navigasyon Uydu Sistemi (BDS) olan bu sistem, başlangıçta 'COMPASS' olarak da bilinmektedir. BeiDou, geniş bir kapsama alanı sunarak global konumlandırma, navigasyon ve zamanlama bilgilerini kullanıcılarına sağlamaktadır. En son güncellemeye göre 46 tane aktif uydusu bulunmaktadır. Bu sistemin diğerlerine göre farkı GPS, GLONASS gibi uydulara göre daha yüksek bir yörüngede bulunmasıdır.

3.5.3 RNSS ve Çeşitleri

Her ne kadar kurulan uydu konumlama sistem teknolojileri global olmasına rağmen bazıları ise bölgesel amaçla kurulmuştur ve sadece belli bir alanda çalışmaktadır. RNSS (Regional Satellite Navigation System) yani Bölgesel Uydu Konumlama Sistemi olarak da adlandırılan bu teknolojinin çeşitleri aşağıda gösterilmiştir.

3.5.3.1 NavIC (Hint Takımyıldızı ile Navigasyon):

Hindistan Uzay Araştırma Kuruluşu (ISRO) tarafından geliştirilen NavIC, Hindistan Yarımadası ve çevresindeki bölgelere hizmet veren bir bölgesel uydu navigasyon ağıdır. İlk aşaması 2013 yılında yeni bir uydu navigasyon merkezi açması ve ilk uydunun fırlatılmasıyla başlamış olup 2023 yılında şu an son uydunun atılması olmuştur. Kurulmasının sebebi diğer ülkelerin GNSS sistemini savaş zamanında Hindistan ülkesine verilmesinin kesin olmamasından dolayı oluşturulmuştur. NavIC, Hindistan'daki kullanıcılar için hassas konumlandırma ve zamanlama çözümleri

sunmayı hedeflemektedir. Bu sitemin kapsadığı alan GPS ve GLONASS'ın aksine Asya bölgesi ve Hint okyanusun neredeyse tamamını kapsamaktadır. En son güncellemeye göre 6 tane aktif uydu bulunmaktadır.

3.5.3.2 QZSS (Yarı-Zenith Uydu Sistemi):

Japonya tarafından geliştirilen QZSS (Quasi-Zenith Satellite System), özellikle kentsel alanlarda ve yüksek yapılı çevrelerde doğruluğu arttırmak amacıyla kurulan bir sistemdir. GPS ve GLONASS sisteminin aksine dünyanın tamamı yerine sadece Japonya ve Asya-Okyanusya bölgesini kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu fikir 2002 yılında kurulmasına rağmen 2007 yılında askıya alınmış ve ilk uydu 2010 yılında fırlatılmıştır. En son güncellemeye göre 4 tane aktif uydusu bulunmaktadır

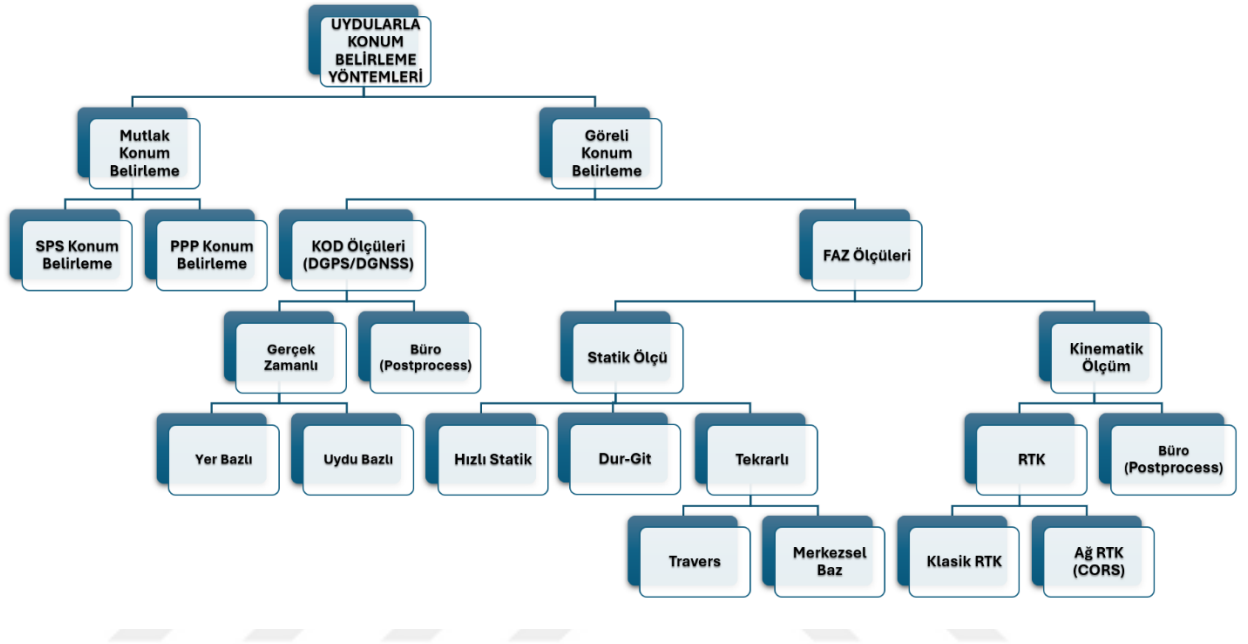
3.6 GNSS Ölçüm Çeşitleri

Uydularla konum belirlemede birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler kullanılarak elde edilen çözümler farklı veri yapılarına, alıcı modellerine, veri toplama sıklığına, matematiksel modellemelere vb. dayanmakta olup her bir çözüm yönteminin amacı ve hedef kitlesi farklı olabilmektedir (Collier P., 2002).

1978 yılında ilk GPS uydusu yörüngeye yerleştirildiğinde yaklaşık 150m doğruluğunda konum elde edilebilmekteydi. Zamanla yöntemler geliştirildi ve günümüzde cm hassasiyetinde standart bir uygulama haline gelmiştir. Hızla devam eden çalışmalar sonucunda yeni GPS sinyalleri (L2c, L5) ve farklı ülkelere ait yeni uydu sistemleri ve bunların sinyalleri kullanılmaya başlanılmıştır (Kahveci M., Karagöz H. vd., 2011).

GPS, alıcı ve uydu arasındaki mesafenin bulunması ile en az 4 tane uydunun uzaydan geriden kestirme yöntemi ile koordinat hesaplanmaktadır. Yani alıcılar, tüm yönlerden gelen sinyalleri toplar ve bunlardan mesafe hesabı gerçekleştirilir. X, Y, Z olmak üzere 3 adet bilinmeyen koordinat bileşenlerine ek olarak zaman bilinmeyeni de hesaplanmaktadır. Buradan anlaşıldığı üzere 4 bilinmeyen vardır. Bu yüzden ki üç boyutlu koordinat hesaplanabilmesi için en 4 uydudan veri alınması gerekmektedir.

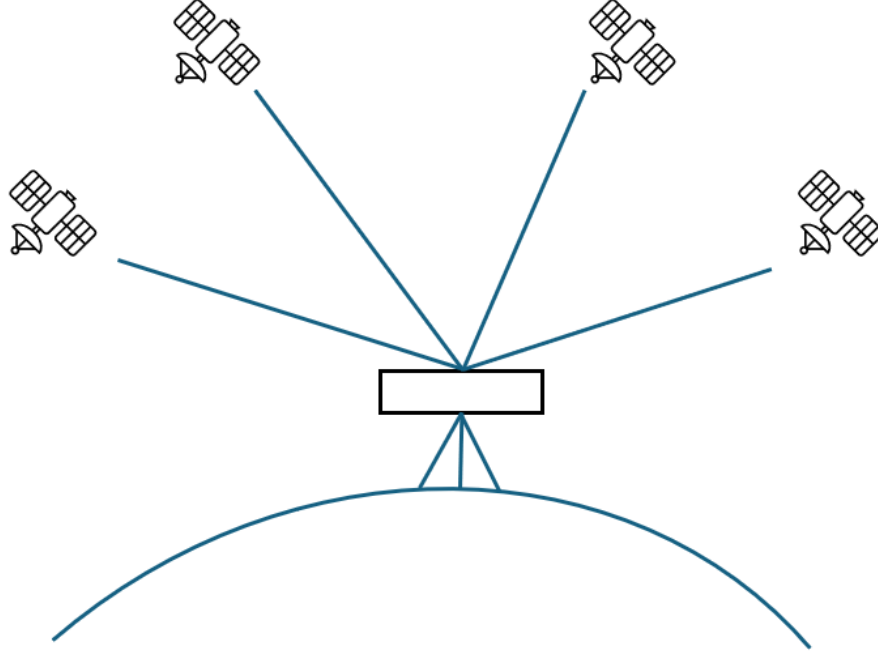
GPS ile konum belirleme yöntemleri hesaplamada kullanılan gözlem verisine (kod ya da faz), doğru bir çözüm elde edebilmek için gerekli epok sayısına ve alıcı sayısına bağlı olarak aşağıda belirtilen şekildedir. GNSS konum belirleme yöntemleri Şekil 3.3 de gösterilmiştir.



Şekil 3.3: GNSS Konum Belirleme Yöntemleri

3.6.1 Mutlak Konum Belirleme

Bir tane alıcı ile en az 4 tane uydudan kod gözlemleri yapılarak alıcının bulunduğu noktanın koordinatının belirlenmesi işlemidir. Bu yöntem sinyalin uydu çıkışından alıcıya ulaşmaya kadar geçen zaman ve ışık hızının çarpılarak hesaplanan uydu alıcı uzaklıklarının bulunması ve uyduların koordinatlarının geriden kestirme yöntemi kullanarak alıcının koordinatının belirlenmesi işlemidir. Bu sistem genelde el GPS'leri, araç takip sistemlerine ait navigasyon amaçlı GPS'ler için kullanılmaktadır. Şekil 3.4'te mutlak konum belirleme yöntemi görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4: Mutlak Konum Belirleme Yöntemi

3.6.1.1 Standart Positioning Service (SPS) Konum Belirleme

Standart Konumlandırma Servisi (SPS), Mutlak Konum Belirleme Sisteminin sivil kullanıcılar için sunulan temel konumlandırma hizmetidir. SPS, kullanıcıların dünya üzerindeki konumlarını, hızlarını ve zaman bilgilerini belirlemektedir; ancak askeri uygulamalar için sağlanan hassasiyet ve doğruluk düzeyine ulaşamamaktadır. Bu sistem yaklaşık 10-15 metre doğruluk sağlayabilmektedir.

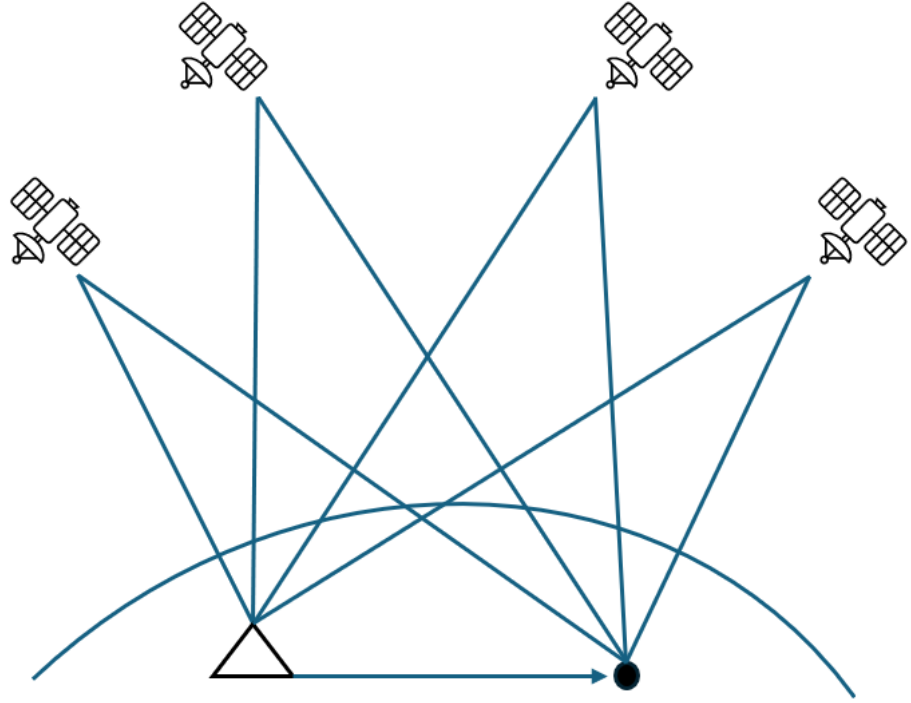
3.6.1.2 PPP konum belirleme

Gelişmiş Konumlandırma Servisi (PPP), GNSS verilerinin işlenmesi ve analiz edilmesi yoluyla son derece hassas konum bilgileri sağlamayı amaçlayan bir tekniktir. PPP, genellikle yüksek doğruluk gerektiren bilimsel araştırmalar, jeodezi ve diğer hassas konumlandırma uygulamalarında kullanılmaktadır. Çok yüksek doğruluk, küresel kapsama alanı sunması ve bölgesel referans istasyonuna ihtiyaç duymaması gibi avantajları olmasına rağmen bu işlem için kapsamlı yazılımların ihtiyaç

duyulması ve verilerin işlenmesi zaman alıcı olması gibi konularda dezavantajlıdır.

3.6.2 Görerek Konum Belirleme

Koordinatı bilinen bir veya birden fazla noktanın referans alınarak koordinatları bilinmeyen noktanın hesaplanması yöntemidir. Bu yöntemde iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir. Görelî konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirleme yöntemine daha yüksek olmaktadır. Bu yöntem 6 farklı şekilde gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.5'te görerek konum belirleme yöntemi görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Görerek Konum Belirleme Yöntemi

3.6.2.1 KOD Ölçüleri (DGPS/DGNSS)

Bilinen bir noktadaki konumlama hatalarının belirlenip, başka bir bölgede olan diğer alıcılarının koordinatlarının düzeltilerek doğruluğunun artırılmasıyla oluşan bir tekniktir. Bu sistemde konumu belirli referans noktası üzerinde ölçüm yapılmakta ve bu ölçülerin olması gereken değerler bu ölçüler ile karşılaştırılmaktadır.

KOD Ölçüleri de kendi aralarında “gerçek zamanlı” ve “büro” olarak iki kısma ayrılır

- Gerçek zamanlı KOD ölçüsü yani Differential Global Positioning System (DGPS) tekniği, GPS tekniği ile elde edilen konum verisinin doğruluğunu artırmak, GPS’in hata kaynaklarının bir kısmını gidermek ve bir kısmının etkisini azaltmak için uygulanan bir yöntemdir. Uydu hataları iyonosferik ve troposferik gecikmeler, multipath, alıcı saat hatası, yörünge hataları, uydu sinyal doğruluğunun ABD Savunma Bakanlığı’na azaltılması olarak bilinen ve 1 Mayıs 2000 tarihinde uygulamadan kaldırılan Selective Availability (SA), hata kaynaklarından bazılarıdır. DGPS tekniğinde referans ve gezen alıcı arasındaki korelasyonlu hataların giderilmesi ya da en aza indirilmesi söz konusudur. DGPS’in temelinde, belli bir alan içerisindeki nokta konum hatalarının birbirine benzer olduğu düşüncesi yatar. Yüksek performanslı alıcılarda, koordinatları bilinen noktalarda yapılan GPS ölçüleri kullanılarak hatalar belirlenir ve konumu aranan noktalara düzeltme olarak getirilir (Güney C., Avcı Ö. vd., 2002).
- Büro (post-process) KOD ölçüsü tekniğinde bazı DGPS uygulamaları prezisyonlu konuma anında gereksinim duymayabilir. Sabit alıcılar tarafından her bir uydu için hesaplanan düzeltme değerleri ve gezici alıcılar tarafından hesaplanan kendi konumları veya doğrudan GPS ölçü değerleri kaydedilir. Bu veriler, sonradan, referans istasyonda, gezici istasyonun ölçüm yaptığı süre içerisinde kaydedilen düzeltme verileri ile birleştirilerek, düzeltilmiş veriye ulaşılır. Post-Process DGPS’in en büyük özelliği gözlem sonrası kullanılacak bir yazılıma gereksinim duyulmasıdır (Güney C., Avcı Ö. vd., 2002).

KOD ölçümleri ile anında konum belirleme ve amacı için yeterli doğruluk

sağlamasına rağmen mühendislik hizmetleri için daha duyarlı yöntemler gerekmektedir. Bu yöntemler ise FAZ ölçümleridir.

3.6.2.2 FAZ Ölçüleri

FAZ ölçümleri GNSS sinyallerinin taşıyıcı dalgaların faz farkını kullanarak alıcı ile uydu arasındaki mesafeyi belirleme amacıyla yapılmış bir yöntemdir. Bu yöntemin uygulanmasında faz belirsizliğinin çözülmesi gerekmektedir.

FAZ ölçüleri kendi aralarında “statik ölçü” ve “kinematik ölçü” olarak ikiye ayrılır. Bu tezin konusu olan ölçüler kinematik ölçüler kısmında yer olacağı için bu kısım Bölüm 3.7’de anlatılacaktır. FAZ Ölçülerin Statik Ölçüler kısmı maddeler halinde aşağıda gösterilmiştir.

- Statik ölçüm yöntemi, özellikle yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda ve uzun mesafeli nirengi ölçümlerinde (20 km’den fazla) kullanılır. Bu yöntemde, iki adet GNSS alıcısı, koordinatları önceden belirlenmiş sabit noktalara yerleştirilir. Üçüncü alıcı ise koordinatları hesaplanacak olan nokta üzerinde eş zamanlı olarak kurulmakta ve bu noktadan 1-24 saat boyunca veri toplanmaktadır. Bu işlem, üç farklı kenar ölçümünü içerir ve bu veriler kullanılarak bir üçgen çözümü yapılır. Sonuç olarak, bilinmeyen noktanın koordinatları, milimetre düzeyinde hassasiyetle belirlenir. Statik ölçü yöntemleri ise aşağıda maddeler halinde anlatılmıştır.
- Hızlı statik ölçüm yöntemi, statik yöntemle göre daha kısa süreli veri toplayabilen bir yöntemdir. Bu nedenle statik yöntemle göre daha hesaplıdır. Bu yöntem, ölçüm süresini 7-20 dakika arasında tutarak 10 km’den kısa mesafelerde 3-8 cm hassasiyetle koordinat hesaplaması yapabilmektedir. Bu yöntemde, alıcı olan herhangi bir GNSS cihazı referans sabit noktasında sürekli bir şekilde ölçüm yaparken diğer GNSS cihazları koordinatı bilinmeyen noktalara kurularak aynı zamanda ölçümleri yapılır. Ölçüm süreleri noktalar arası uzaklık ve GNSS cihazlarının o anda aldığı uyduların geometrisine bağlıdır.

- Dur-Git ölçüm yöntemi, koordinatı bilinen bir noktadan koordinatı bilinmeyen noktalara doğru yapılan bir ölçüm yöntemidir. İlk önce koordinatı bilinen bir nokta hızlı statik yöntemi gibi birkaç dakikalık ölçümü yapılır; çünkü bu noktanın faz belirsizliğinin çözülmesi gerekmektedir. Daha sonra koordinatı bilinmeyen noktalar sırasıyla 10-20sn'lik ölçümler ile bir sonraki noktaya geçilir. Noktaların konumlarının birbirine yakın olması daha hassas bir sonuç vermektedir.
- Tekrarlı Ölçme Yöntemi, uydu geometrisinin değişiminden yararlanarak, ölçüm noktalarının belirli bir zaman diliminde birkaç dakikalık aralıklarla en az iki kez ölçümü yapılan bir tekniktir. Bu ölçümler genellikle 1 ila 4 saat arasında sürmektedir. Yöntem, özellikle uydu geometrisinin zayıf olduğu veya tek frekanslı alıcıların kullanıldığı durumlarda yüksek doğruluk sağlayabilir. Yani kısıtlı imkanlar dahilinde kullanılacak doğruluğu en iyi olan yöntemlerdendir. Tekrarlı Ölçme Yönteminin, merkezsel baz veya travers yöntemi olarak iki farklı yöntemi vardır. Her iki yöntem de ölçüm tekrarlarında aynı alıcının aynı noktada kalmasını sağlayarak, alıcıların farklılıklarından kaynaklanabilecek hataları en küçük değer haline getirmeye çalışır. Bu yöntem, 5–10 mm + 1 ppm doğruluğunda sonuç vermektedir.
- Merkezsel baz ölçme yönteminde, çalışma prensibi Dur-Git ölçüm yöntemi ile neredeyse aynıdır. Dur-Git yönteminin farklarından ilki, koordinatı bilinmeyen tüm noktalar ölçüldükten sonra 1-4 saat sonrası aynı noktalara tekrar uğranmalıdır. Diğer bir fark ise Merkezsel Baz ölçme yönteminde her noktada 10 dakika boyunca ölçüm yapıldığı için başlangıç faz belirsizliği hesaplanmış olmaktadır. Ek olarak bu belirsizliğin çözümlenmesine gerek yoktur.
- Travers ölçüm yönteminde ise diğer yöntemlerden farklı olarak sabit bir referans istasyonu bulunmamakta her iki alıcı GNSS cihazları da hareketli olmaktadır. Bir tane alıcı durup ölçüm yaparken diğer alıcı yer değiştirerek ölçüm tamamlanmaktadır. Yani ölçümler atlamalı bir şekilde yapılmaktadır. Her baz 10 dakika olarak ölçülmektedir. Ölçümün tekrarı yapıldığı zaman aynı

alıcı aynı noktada bulunmalıdır; çünkü ölçüm sonrası elde edilen hataların en aza indirgenmesi için alıcıların homojen bir şekilde olması gerekir.

3.7 Kinematik Ölçüler

Bu yöntemde, birinci alıcı bilinen koordinatlara sahip bir referans noktasında sabit olarak yerleştirilir ve burada statik ölçüm yapılır. İkinci alıcı ise ölçüm yapılacak noktaya kurulur ve yaklaşık 3-5 dakika boyunca burada kalır. Bu süre zarfında, belirsizlik parametreleri belirlenir. Belirsizlik parametreleri tespit edildikten sonra, ikinci alıcı sinyal kaybı olmadan hareket etmeye başlar ve diğer noktaları ölçmek için 5-10 saniye boyunca her noktada kalır. Eğer dört uydu sinyalinin kaybolması durumuyla karşılaşılırsa, belirsizlik parametrelerinin yeniden hesaplanması gerekir. Bu yöntem, koordinatları bilinen bir noktadan maksimum 5 km uzaklıktaki poligon ve detay ölçümleri için uygundur. Ancak, elde edilen verilerin doğruluğu için alıcıdan alınan bilgilerin uygun bir bilgisayar programı ile işlenmesi gerekmektedir.

Kinematik ölçümler de kendi aralarında “Klasik RTK”, “Ağ-RTK (CORS)” ve “Büro (Postprocess)” olarak üçe ayrılır.

3.7.1 Klasik RTK Yöntemi

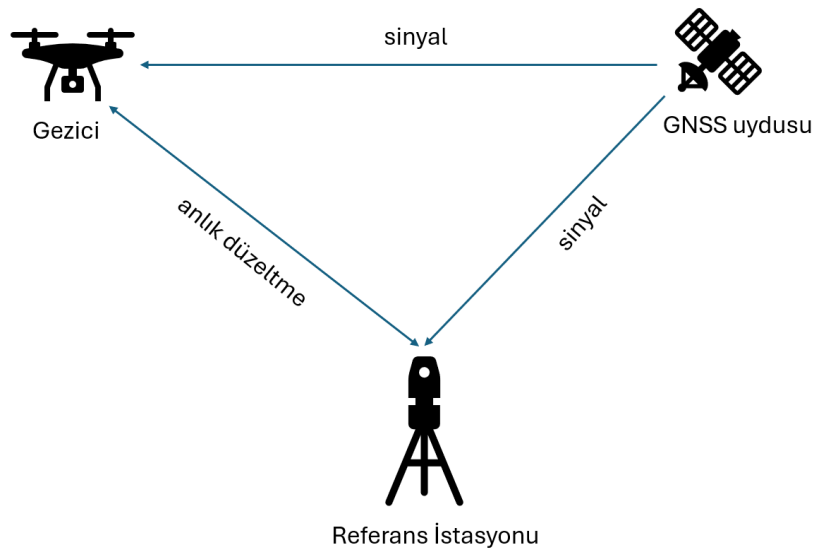
RTK ile konum belirleme, gezen alıcılar tarafından uydulardan (GPS/GLONASS) kaydedilen faz gözlemlerine ve aynı anda referans bir istasyondan gerçek zamanlı olarak gezen alıcıya gönderilen ham ölçü ya da düzeltme bilgilerine (konum, pseudorange, atmosfer vb.) dayalı olarak gerçekleştirilen, hesaplamaların ise gezen alıcıda yapıldığı bir konum belirleme tekniğidir (Kahveci M., Karagöz H. vd., 2011).

Klasik RTK yöntemi için gezici ile sabit bir istasyonun olması gerekir. Çalışma prensibi ise gezici ile konumu hassas olarak bilinen sabit bir istasyondan anlık düzeltme verileri gelir. Gezicinin ölçüm sırasında elde ettiği koordinatlar, anlık düzeltme verileri ile birleşmesi ile ortaya çıkan koordinatlar sonuç ürünüdür. Bu işlemin olması için gezici için radyo alıcısı, sabit istasyon için de radyo vericisinin bulunması gerekir. Gönderilen düzeltme verilerinin düzgün bir şekilde ulaştırılıp

okunabilmesi için bu mesajlar belli bir formatta olmalıdır. Her firma kendi ürettiği gezici için kendine özel bir format kullanmıştır. Aynı olmayan formattaki veriler kullanılamamaktadır.

Doğal olarak, referans ve gezici alıcıları ne kadar çok sayıda uydu izlerse, tamsayı sabitleme işlemleri de o kadar hızlanır ve konumlama doğrulukları o kadar artar. GPS sinyallerine ek olarak, GLONASS sinyalleri kullanan sistemlerden de bu doğrultuda yararlanılabilir. Ancak, çift frekanslı GPS sistemlerinin birkaç kilometreden uzun bazlarda tek frekanslı GPS/GLONASS ikili sistemlerine göre üstünlüğü vardır. GPS/GLONASS ikili sistemleri de açık havza madenleri, şehir kanyonları, nehir vadileri ve orman sınırlarının tespiti gibi, sınırlı gökyüzü açıklığı olan bölgelerde daha avantajlıdır (Arslanoğlu M., Mekik Ç., vd.,2004).

Klasik RTK uygulamasında bir referans istasyonunda hesaplanan düzeltme bilgileri kullanıcıya gönderilir. Sistemik hatalardan (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) kaçınmak için referans istasyonu ile kullanıcı arasındaki 15–20 km.'yi geçmemesi gerekmektedir. RTK GPS tekniği ile cm mertebesinde elde edilen doğruluk, pek çok haritacılık uygulamaları için yeterli olmaktadır (Pektaş F., 2010). Şekil 3.6. da gerçek zamanlı kinematik yöntemi görsel olarak gösterilmektedir.



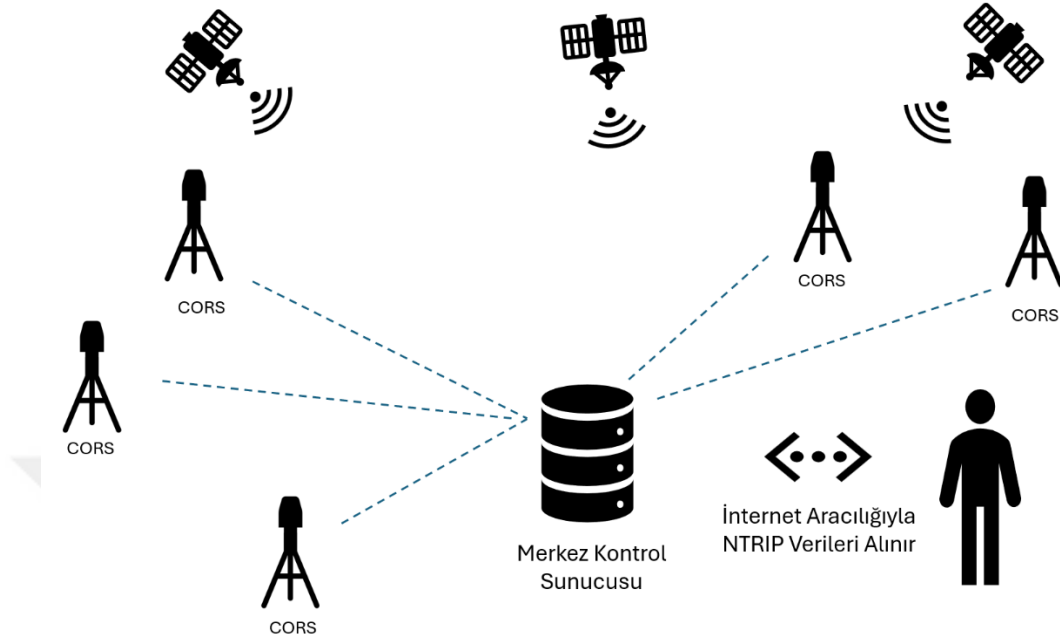
Şekil 3.6: RTK yöntemi

3.7.2 Ağ RTK Yöntemi (CORS)

Ağ RTK ya da bilinen adı ile CORS olan bu sistemin kurulması Ulusal Jeodezi Araştırma Kurumu'nun deniz araçlarının konumlandırılması amacıyla 1992 yılında kurulmaya başlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 1996 yılında yaklaşık olarak 50 sabit istasyona hizmet vermiş 2020 yılında ise 2000'den fazla sabit istasyonu hizmet vermiştir. Türkiye de ise TUSAGA-AKTİF projesi adı altında Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğü'nün ortak çalışmaları sonucunda yapılmıştır. Şu an itibari ile Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti dahil 168 tane CORS GNSS istasyonu bulunmaktadır. Bu sistemin çalışma prensibi ise gezici olan GNSS cihazlarının almış olduğu koordinatlar, cihazın içerisinde bulunan GSM altyapısı ile internet üzerinden CORS istasyonlarına bağlanır. Sabit istasyona gelen ham veriler, sabit istasyonun kendi içerisinde düzeltme verileri ile birleştirir ve geziciye tekrar geri yollar. Geziciye gelen koordinat verileri ise öncekine göre daha hassas hale getirilmiş olur.

CORS sisteminde, çalışma bölgesini kaplayan koordinatları bilinen referans istasyonlarına yerleştirilen GNSS alıcıları uydulardan aldıkları verileri kontrol merkezine ADSL, leasline veya GPRS/EDGE üzerinden iletmekte, kontrol merkezinde atmosfer modellenerek RTK/DGNSS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp, RTCM formatında GPRS/EDGE üzerinden konumlama için gezici GNSS alıcılarına gönderilmektedir. CORS sistemlerinde klasik RTK sisteminde kullanılan GNSS alıcılarının bir kontrol merkezi tarafından yönetilmesi ile RTK ölçme sisteminin verimliliği artmaktadır. Klasik RTK ölçme yönteminde gezici ile alıcı arasındaki mesafenin 15 – 20 km'yi geçmemesi önerilmektedir. CORS sistemlerinde, CORS sisteminin kurulu olduğu bölge içerisinde böyle bir sınırlama bulunmamaktadır (Gülal E., 2001).

Ülkemizde ulusal ölçekte faal olarak çalışan Türkiye ve referans istasyonu bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sistemi, diğeri yerel ölçekte faal olarak çalışan İstanbul ve çevresinde referans istasyonu bulunan İSKİ-UKBS adında iki farklı CORS ağı yer almaktadır. Şekil 3.7. de CORS yöntemi görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.7: CORS yöntemi

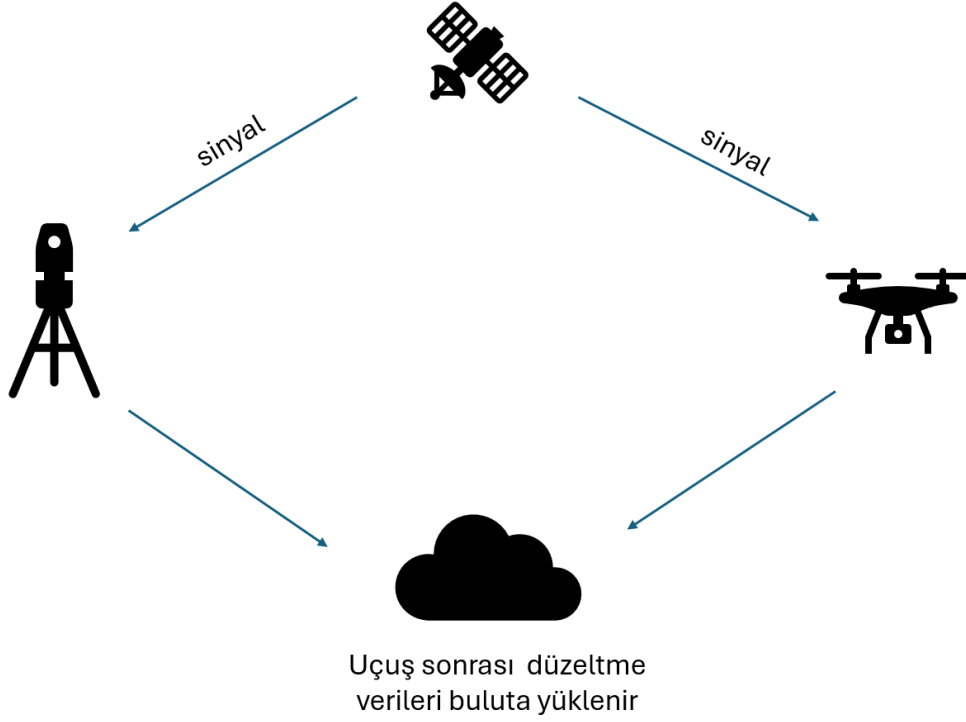
3.7.3 Ölçüm Sonrası Kinematik (PPK) Değerlendirme Yöntemi

Türkçe adı ile İşlem Sonrası Kinematik olarak adlandırılan bu yöntem, CORS ve RTK yöntemleri gibi kendi içerisinde çözülmesi olan bir yöntemdir; ancak değerlendirme işlemi diğer iki yöntemin aksine ölçüm sonrasında yapılır.

PPK yöntemi, çalışma sistemi açısından RTK yöntemi ile çoğu işlem adımları aynı olsa da bazı bölümleri tamamen farklıdır. Aynı RTK yöntemi gibi bir sabit ve bir gezici cihaz ile ölçümler yapılır; ancak bu ölçüm sırasında RTK yöntemi gibi statik GNSS cihazı ile gezici arasında herhangi bir iletişim kurulmamaktadır. Ölçümler anlık düzeltme verileri ile görülememekte bunun yerine bu gözlem verileri gezici olan GNSS cihazının PPK modülü içerisine saklanmaktadır. Verilerin işlenmesi kısmı ise ölçüm sonrası yani büro kısmında yapılmaktadır.

PPK yöntemi, RTK yöntemine alternatif bir yöntem olduğu için bazı avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Gezici ve sabit cihazların arasında iletişimin bulunmasına gerek

olmaması, uçuş öncesinde kurulum ve hazırlık aşamalarının kolay olması gibi durumlarda avantajlı iken verilerin hesaplanma işlemi uçuş sonrası yapılması gibi durumda ise RTK yöntemine göre dezavantajlıdır. Şekil 3.8. de PPK yöntemi görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.8: PPK Yöntemi

3.8 Yer Kontrol Noktası

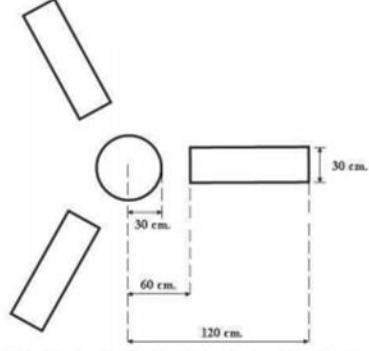
Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nin 6. maddesinde “n) *Yer kontrol noktası (YKN): Yeryüzünde tesis edilen, koordinatları ve/veya yüksekliği jeodezik yöntemlerle belirlenen noktaların genel adını, ifade eder.*” denilir. Başka bir deyişle yer kontrol noktası, mekânsal konumlandırma ve verilerin doğru konumlandırma sağlanması için ölçme, fotogrametri, uzaktan algılama gibi çeşitli alanlarda kullanılan büyük işaretli ve kolayca gözükebilen referans noktalarıdır.

Yer Kontrol Noktaları (YKN'ler), belirli bir alanda stratejik olarak yerleştirilen, belirgin

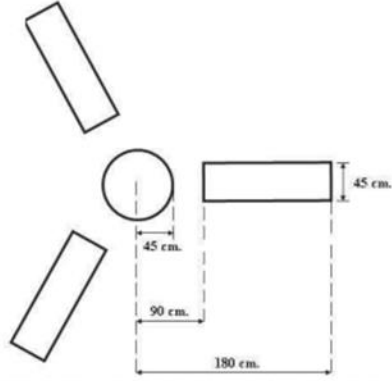
işaretler ve kolayca tanımlanabilir özellikler taşıyan hedeflerdir. Bu noktalar, harita üzerindeki her bir noktanın gerçek dünya koordinatlarına (enlem ve boylam) tam olarak karşılık gelmesini sağlamada önemli bir rol oynar. YKN'ler doğru şekilde kullanıldığında, harita üretiminde elde edilen doğruluk büyük ölçüde artar. Bu, hassasiyetin kritik olduğu haritalama projelerinde özellikle önemlidir. YKN'lerin, harita üzerindeki noktaların doğru ve kesin bir şekilde konumlandırılmasına yardımcı olarak, genel harita doğruluğunu artırması, veri doğruluğu ve güvenilirliği açısından önemli avantajlar sağlar. Bu sayede, çeşitli uygulamalar için yüksek doğrulukta ve güvenilir harita verileri elde edilmesi mümkün olur. Şekil 3.9. ve Şekil 3.10. da yer kontrol noktasının şekli ve konumu görsel olarak gösterilmektedir.



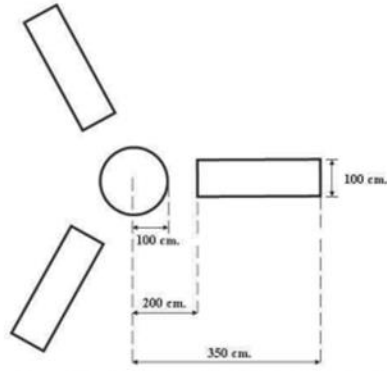
**YER KONTROL NOKTALARI (NİRENGİ) HAVA İŞARETLERİNİN
ŞEKİL VE KONUMLARI**



1 : 1 000 ölçekli harita üretimi için tesis edilecek nirenge şekli



1 : 5 000 ölçekli harita üretimi için tesis edilecek nirenge şekli



1 : 25 000 ölçekli harita üretimi için tesis edilecek nirenge şekli

Şekil 3.9: Yer Kontrol Noktası Şekli ve Konumu (BÖHHBÜY, 2018)



Şekil 3.10: Yer Kontrol Noktası

3.8.1 İlgili Mevzuatlarda YKN Sayısı ve Dağılımı

BÖHHBÜY’de, “*Bu noktalara ek olarak bloğun kenarlarında ve içerisinde idarece belirlenen yerlerde ve sayıda YKN oluşturulur. Klasik fotogrametrik nirengi yöntemi kullanılacak ise blok çevresinde fotoğraf çekim bazının iki katı, blok içinde de bazın dört katı aralıkları geçmeyecek şekilde en az birer adet YKN oluşturulur. Bu noktaların koordinatları ve yükseklikleri C3 derece ağ noktaları niteliğindedir.*” şeklinde belirlenmiştir.

KGM karayolları yersel ve fotogrametrik harita mühendislik hizmetleri işlerine ait teknik şartnamesinde, “*Kinematik GPS yönteminin uygulanmaması durumunda, bu noktalara ek olarak, blok çevresinde fotoğraf çekim bazının iki katını, blok içinde de bazın dört katını geçmeyecek şekilde yeni kontrol noktaları oluşturulur. Bu noktaların koordinatları ve yükseklikleri, C3 derece noktalar olarak bu Yönetmeliğin 22, 23 ve 24’üncü maddelerindeki esaslara göre belirlenir.*” şeklinde belirlenmiştir.

TKGM insansız hava aracı (İHA) sistemleri ile kadastral detay ölçmeleri, harita üretimi ve kontrol esaslarında, “*Proje sahasındaki TUTGA, C1, C2, C3 noktalarının dışında proje sahasında maksimum 400 metre aralıklarla ve idarenin uygun gördüğü*

dağılım ve sıklıkta yeteri kadar Yer Kontrol Noktası (YKN) tesis edilecektir.” şeklinde belirlenmiştir.

MAPEG insansız hava aracı (İHA) sistemleri ile detay ölçmeleri, harita üretimi ve kontrol esaslarında, “*RTK/PPK özelliği bulunmayan cihazlar için proje sahasında, haritası yapılacak alanı kapsayacak şekilde en az 4 adet, sahanın içerisinde en az 3 adet olacak ve söz konusu noktalar arası mesafe de en fazla 250 m olacak şekilde, ayrıca topoğrafyanın ani değişim gösterdiği (50 m veya daha fazla kot farkı olan) bölgelerde de olmak üzere homojen dağılımda YKN tesis edilecektir.”* şeklinde belirlenmiştir.

3.8.2 YKN Sayısı ve Dağılımının Sonuçlara Etkisi

Daha önce yapılan çalışmalarda YKN tasarımının konum doğruluğuna etkileri araştırılmıştır. Çalışma alanına tesis edilen YKN sayısının önemli olmasının yanı sıra YKN dağılımının da konum doğruluğuna etkisi oldukça önemlidir. Teoride çalışma alanına üç adet YKN tesis edilmesi gerekse de mevzuatlarda belirlenen hassasiyet için bunun yeterli olmadığı görülmüştür. YKN sayısının artması hassasiyet üzerinde pozitif etki eder. Homojen olmayan kötü bir dağılım ile homojen bir dağılım karşılaştırıldığında ise iki kat daha iyi konum doğruluğuna ulaşılmıştır. Böylelikle uygun YKN dağılımı ile doğruluğun artması beklenir. YKN’lerin dağılımı sahanın geometrik yapısını yansıtmalıdır. YKN’ler arası mesafenin ise 400 m’den fazla olduğu durumlarda konum doğruluğunun düştüğü görülmüştür. Eğim değişimlerinin ani olduğu çalışma alanlarında ise değişimin fazla olduğu yerlere de YKN tesis edilmedi (Sanz-Ablanedo-Chandler vd.; Kapıcıoğlu H., 2019).

Bu bulgulardan hareketle, Yüksek Kalite Noktaları (YKN'ler) sayısının, bu noktaların dağılımının, YKN'ler arasındaki mesafelerin ve yüksekliğin etkilerinin YKN tasarımı üzerinde önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır. YKN'lerin sayısı, aralarındaki mesafeler ve yükseklik farkları, YKN tasarımının başarısını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu kriterlere uygun şekilde yapılan YKN tasarımı, konum doğruluğunu belirgin bir şekilde artırır. Bu nedenle, YKN tasarımında bu faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi, harita doğruluğunu ve veri güvenilirliğini önemli ölçüde

iyileştirmektedir

3.9 İHA Fotogrametrisi

3.9.1 İnsansız Hava Aracı Nedir?

İnsansız Hava Aracı (İHA), yaygın olarak drone olarak bilinir ve içerisindeki insan pilot olmadan uçabilen bir hava aracıdır. İHA'lar, çeşitli görevleri yerine getirebilmek için uzaktan bir operatör tarafından kontrol edilebilir veya önceden belirlenmiş uçuş planları ve yapay zekâ algoritmaları kullanılarak tamamen otonom bir şekilde hareket edebilir. Bu araçlar, operatör tarafından doğrudan yönetilmesinin yanı sıra, programlanmış rotalar ve görevler doğrultusunda bağımsız olarak da çalışabilir.

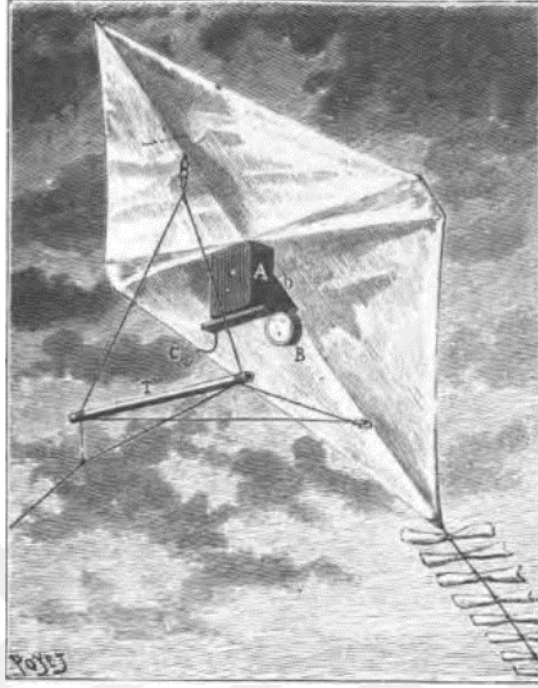
3.9.2 İnsansız Hava Aracının Tarihçesi

3.9.2.1 Erken Dönem

İlk hava fotoğrafları 1858'de Gaspard Tournachon tarafından Paris'te insanlı bir balon aracılığıyla çekilmiştir (Newhall B., 1969). Yapılan yöntemler Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 de görsel olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Güvercinlerle kullanılan sistemlerin bir örneği (Newhall B., 1969).



Şekil 3.11: Uçurtma ile kullanılan sisteme ait bir çizim (Newhall B., 1969).

3.9.2.2 İkinci Dünya Savaşı

Gerçek anlamda bir İHA olarak kabul edilmese de aktör ve mucit Reginald Denny'nin geliştirdiği Radioplane OQ-2, uzaktan kumandalı hava araçlarının ilk örneklerinden biri olarak tarihe geçmiştir. Uçaksavar topçularının eğitiminde kullanılan bu hedef dron, fotogrametriye yönelik olarak tasarlanmamış olsa da uzaktan kumandalı havacılık teknolojisinin gelişimine önemli bir katkı sağlamıştır.

Almanya'nın V-1 uçan bombası (Vergeltungswaffe 1) ve V-2 roketi (Vergeltungswaffe 2), güdümlü füzelerin öncüsü olarak kabul edilir. Modern İHA'ların tasarımına doğrudan benzemese de, bu sistemler otonom veya yarı otonom uçuş kavramını ilk kez uygulamış ve yük taşıma kapasiteleriyle gelecekteki İHA teknolojilerinin temelini atmışlardır.

Savaşın son dönemlerinde, ABD ordusu B-17 bombardıman uçaklarını uzaktan kumandalı dronlara dönüştürme girişimlerinde bulunmuştur. Bu denemeler, özellikle fotogrametri amaçlı kullanılmasa da, insansız hava araçlarının çeşitli askeri ve sivil

uygulamalar için potansiyelini göstermiştir. Bu süreçler, İHA teknolojisinin evrimine önemli katkılar sağlamış ve geniş bir kullanım yelpazesi için zemin hazırlamıştır. B-17 insansız hava araçlarının görüntüsü Şekil 3.13 de gösterilmektedir.



Şekil 3.12: İkinci Dünya Savaşı Sırasında Geliştirilen B17 İnsansız Hava Aracı (URL-1)

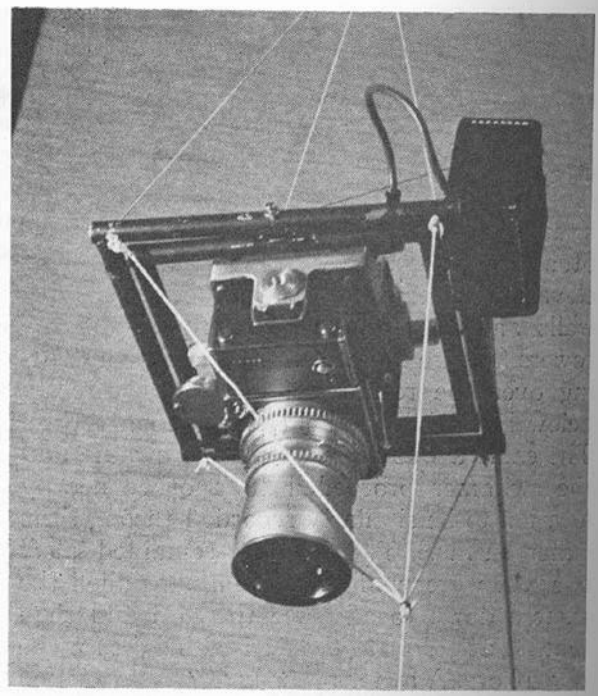
3.9.2.3 1970'li Yıllar

1970'te Whittlesey, 1967'de başladığı arkeolojik belgeler için bağlı bir balonun kullanımını bildirmiştir. Bu projeler için, örneğin Schneider Kreutznach geniş açılı lensli Lindhof 6cm x 9cm formatı ve aynı lensi kullanan ~6cm x 8cm ile Graflex XL gibi birkaç kamera kullanılmıştır. Kameralar, uçuş sırasında balonun 9m altındayken kameralar bir gimbal içine monte edildi. Bu kameralar yerden 50 m yüksekliğe kadar görüntü alınmasına izin vermiştir. Daha sonra, görüntü alımı için radyo kontrolünü sağlayan Zeiss Distagon 50mm lensli bir Hasselbald 400 FL kamera kullanılmıştır. Bu özel yapının yükü 2,7 kg idi ve balon yerden 600 m yüksekliğe kadar uçabilmiştir (Eisenbeiss H., 2009).

Balon üzerinden yapılan insansız hava araçlarının görüntüleri Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 te gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Bağlı bir balonun doldurulması (Whittlesley J., 1970)



Şekil 3.14: Telsiz kontrollü Hasselblad El 500 kamerası, gimbalde asılı (Whittlesley J., 1970)

1979'da sabit kanatlı İHA'larla fotogrametride yapılan ilk deneylerden biri Przybilla ve Wester-Ebbinghaus tarafından yapılmıştır. İlk testler, Hegi firmasına ait, yerden 150 m yükseklikte uçuş yüksekliğine ve 11 m/s hıza sahip, manuel olarak kontrol edilen sabit kanatlı İHA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Uçak 3 m uzunluğunda ve 2,6 m kanat açıklığına sahiptir. Uçak maksimum 3 kg yük taşıyabilir. Uçağı yönlendirmek için Lindhof Technika'nın Navigasyon ekipmanı kullanıldı, uçuş yüksekliği ise resim görüntüleyicide uçağın boyutundan belirlenmiştir. Karasal görüntülerle birlikte, sitenin mimarisinin yeniden inşası için bir arkeolojik alanın görüntülerini elde etmek mümkün olmuştur. Bununla birlikte, manuel olarak kontrol edilen bu uçağın uygulanması, kalkış ve iniş için gerekli olan nesnenin yakınındaki küçük bir pist ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca, uçağın hızından ve motorun titreşiminden kaynaklanan görüntü hareketi nedeniyle sonuçlar yeterli değildi. Bu nedenle, yazarlar daha az titreşime duyarlı model helikopterleri kullanmayı önermişlerdir (Przybilla ve Wester-Ebbinghaus, 1979).

1979 ve 1980 yıllarında üretilen sabit kanat ve döner kanat insansız hava araçları Şekil 3. 16 ve Şekil 3.17 de gösterilmiştir.



Şekil 3.15: 1979'da üretilen sabit kanatlı İHA (Przybilla ve Wester-Ebbinghaus, 1979).



Şekil 3.16: 1980'de üretilen döner kanatlı İHA (Wester ve Ebbinghaus, 1980)

3.9.2.4 1980-2000 Yılları

Vozikis, 1983, Delacoste Company tarafından üretilen bir BCV D4 balonuna (15.3m³ hacimli) monte edilmiş orta format bir kamera için pratik bir örnek vermiştir. Görüntüler, Viyana Teknik Üniversitesi'ndeki Fotogrametri Enstitüsü tarafından Zeiss (Oberkochen) Distagon geniş açılı lense (f=50mm) sahip bir Hasselblad 500 EL/M kamera kullanılarak çekilmiştir (Vozikis E., 1983).

1984 yılında Wanzke, üç boyutlu fotogrametrik belgelemede kullanmak için zeplin önermiştir. Bu zeplin GEFA-Flug şirketi tarafından tasarlanmış ve üretilmiştir. K.L. Busemeyer tarafından yapılmıştır. Pakistan'daki 5000 yıllık kasabanın mimari bilgilerini elde etmek için kullanılmıştır (Erdoğan A., 2016).

Miyatsuka (1996) bir arkeolojik çalışma için model helikopter kullanmıştır. Üzerinde 6Mpixels ile Kodak DCS 460 model bir video kamera bulunmaktaydı. 1998 yılında Tokmakidis bir inşaatın ve çalışan makinelerin takibi için üzerinde Hasselblad bir kamera bulunan ve elle kontrol edilen bir model helikopter kullanmıştır (Eisenbeiss, H., 2009).

3.9.2.5 2000- Günümüz Yılları

2000'li yılların başlarından itibaren, insansız hava araçları (İHA) teknolojileri büyük bir hızla ilerlemiş ve ticari olarak geniş bir kullanıcı kitlesine sunulmaya başlamıştır. Bu hızlı gelişim süreci, İHA'ların fotogrametri alanındaki popülaritesini önemli ölçüde artırmıştır. İHA'lar, düşük maliyetleri, esneklikleri ve yüksek çözünürlüklü veri toplama yetenekleri sayesinde, fotogrametri uygulamaları için mükemmel bir platform olarak kabul edilmektedir. Bu araçlar, geleneksel yöntemlere kıyasla daha hızlı veri toplama ve analiz etme imkânı sunarak, özellikle büyük ölçekli projelerde verimliliği artırmış ve çeşitli endüstrilerde kullanım alanı bulmuştur.

İHA fotogrametrisi, İHA uzaktan algılama, İHA verilerinin işlenmesi ve analizi, İHA verilerinin doğruluğuna ilişkin çok sayıda araştırma ve uygulama çalışmaları 2000'li yılların ilk yarısından itibaren dünyada, 2010'dan gelirken de Türkiye'de artarak sürmektedir. Dünya İHA fotogrametrisi literatüründe Literatürde deneyim, test, araştırma, inceleme yönelimli çok sayıda yayın bulunmaktadır. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması Görüntü (fotoğraf, video, multi/hiper-spektral algılama) alımına kolaylık sağlayan İHA, savunma, askeri, sınır güvenliği, acil durum, afet, izleme vd. uygulamaların ötesinde emlak, haritacılık, planlama, ölçme, tarım, maden, heyelan, orman vd. alanlardaki faaliyetlerde de doğrudan ya da ikincil veri kaynağı olarak yaygın kullanım alanı kazanmıştır (Torun A., 2017).

İlk dönem çalışmalarının ardından genelde çalışmalar model helikopter üzerine yoğunlaşmıştır. Günümüzde lazer tarama ve optik görüntü alma üzerine birçok çalışma model helikopterlerle devam ettirilmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden biri uçağın hızına bağlı olarak veya motorun titreşiminden kaynaklı görüntü üzerinde oluşan distorsiyonlardır (Karakış S., 2012).

İnsansız hava aracı (İHA) fotogrametrisinin günümüzde gelişen yapay zekâ, makine öğrenmesi ve derin öğrenme ile gelecekte mühendislik çalışmalarının yanı sıra hassas tarım, akıllı şehirler, afet yönetimi, lojistik ve dağıtım, güvenlik ve eğlence sektörlerinde de ilerlemeler devam edecektir.

Bölüm 4

Uygulama

4.1 Çalışma Alanı ve Uçuş Planlaması

Çalışma alanı Muğla İli Fethiye ilçesi Eldirek mahallesi içerisinde 8 076 482 m²'lik alanda gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanının görüntüleri Şekil 4.1 de gösterilmektedir.



Şekil 17: Çalışma Alanı

4.2 Uygulamada Kullanılan İnsansız Hava Araçları ve Özellikleri

Yapılan uçuşun planlaması ve kolonlar Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 18: Uçuş Planlaması

4.3 Uygulamadaki Yer Kontrol Nokta Sayıları ve Dağılımları

Bu uygulamada toplam 14 tane yer kontrol noktası tesis edilmiş olmasına rağmen 9 numaralı yer kontrol noktasının ölçümleri diğer ölçümlere göre daha kaba olduğu için ölçümleri olumsuz etkilemiş ve bu nokta devre dışı bırakılmıştır. Geri kalan yer kontrol noktaları uygulama alanındaki yerleri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir. Uygulamadaki Yer Kontrol Noktalarının sayıları ve konumu Şekil 4.3'te gösterilmiştir.



Şekil 19: Yer Kontrol Noktalarının Çalışma Alanında Dağılımı

4.4 Uygulamada Kullanılan İnsansız Hava Araçları

Uygulamada CORS ve RTK yöntemleri için DJI Phantom 4 RTK, PPK yöntemi için Çift Bant Frekanslı DJI Phantom 4 Pro kullanılmıştır. DJI Phantom 4 RTK insansız hava aracı görsel olarak Şekil 4.4'te, özellikleri ise Tablo 4.1. de gösterilmiştir. DJI Phantom 4 Pro insansız hava aracı görsel olarak Şekil 4.5'te, özellikleri ise Tablo 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 20: DJI Phantom 4 RTK İnsansız Hava Aracı (URL-2)

Tablo 4.1: DJI Phantom 4 RTK İnsansız Hava Aracı Özellikleri (URL-3)

Özellikler	Değerleri
Ağırlık	1391 g
Batarya Ömrü	~30 dakika
Kamera Çözünürlüğü	20-megapixel
Mercek Odak Uzaklığı	8.8 mm
Piksel Boyutu	2.4 μ m
Çözünürlük	5472 x 3648 piksel
RTK Dikey Konumlandırma Doğruluğu	1.5 cm + 1 ppm (RMS)
RTK Yatay Konumlandırma Doğruluğu	1 cm + 1 ppm (RMS)



Şekil 21: DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı (URL-4)

Tablo 4.2: DJI Phantom 4 Pro İnsansız Hava Aracı Özellikleri (URL-5)

Özellikler	Değerleri
Ağırlık	1350 gr-1400 gr
Batarya Ömrü	~30 dakika
Kamera Çözünürlüğü	20-megapixel
Mercek Odak Uzaklığı	8.8 mm
Piksel Boyutu	2.4 μ m
Çözünürlük	5472 x 3648 piksel
Frekanslar	2.4 GHz ve 5.8 GHz
Dikey Konumlandırma Doğruluğu	1.5 cm + 1 ppm (RMS)
Yatay Konumlandırma Doğruluğu	1 cm + 1 ppm (RMS)

4.5 Uygulamada Kullanılan Programlar

Uygulamada yapılan ölçümlerin işlenmesi, değerlendirilmesi, sonuç ürünlerin çıkarılması işlemleri “Agisoft Metashape” programında yapılmıştır.

4.6 Yöntem

Üç yöntem çeşidinde de ortak olarak aşağıdaki işlemler adım adım gerçekleşmiştir.

1-Fotoğrafların Yüklenmesi

2-İç ve Dış Yöneltilme Parametrelerin Hesaplanması

3-Fotogrametrik Nirengi (Yer Kontrol Noktalarının Eklenmesi ve Fotoğraf Üzerinde İşaretlenmesi)

4-Yoğun Nokta Bulutu Oluşturulması

5-Sayısal Yüzey Modeli Oluşturulması

6-Ortofoto Oluşturulması aşamalarından oluşur.

4.6.1 Fotoğrafların Yüklenmesi

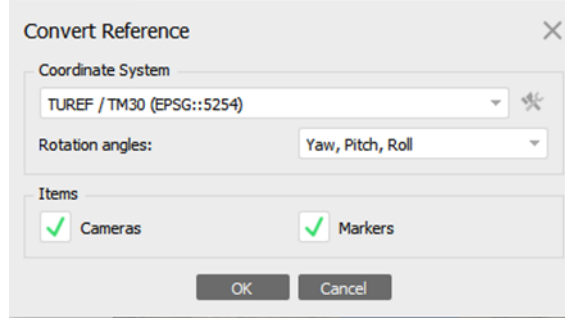
İnsansız Hava aracından çekilen görüntüler Agisoft MetaShape fotogrametri yazılımına yüklenir. Yazılıma yüklenen fotoğraflar Şekil 4.6 da gösterilmiştir.



Şekil 22: İHA Verilerinin Yüklenmesi

Yüklenen fotoğraflar coğrafi koordinat sisteminde olduğu için TUREF/TR30(ESPG:5254)

koordinat sistemine dönüştürülür. Yapılan bu işlem Şekil 4.7 de gösterilmiştir.



Şekil 23: Koordinat Sistemi Dönüştürme

4.6.2 İç ve Dış Yönelme Parametrelerin Hesaplanması

Bu adımda iç ve dış yönelme parametrelerin hesaplanması olan “Align Photos (Fotoğrafları Bağla)” işlemi yapılır. İç yönelme, sayısal fotogrametrisinde kalibrasyon raporunda kamera bilgilerinin kullanılacak olan programa tanıtılmasıdır. İşlem sırasında çekilen fotoğrafların aynı koşullarda ve aynı fotoğraf makinası ile çekilmiş olması çok önemlidir. Bu işlem sonrasında kamera kalibrasyon parametreleri hesaplanmaktadır. Kullanılan programda ise “Tools→Camera Calibration→Adjusted” komutu ile ulaşılabilmektedir. Her ne kadar üç yöntemde de kullanılan kameralar aynı olsa bile her yöntemde İHA kamerası yapıları itibarıyla hava koşullarından, titreşimden ve uçuş yüksekliğinden etkilendiğinden dolayı, her uçuş için etken faktörler değişir ve iç yönelme parametreleri ayrıca optimize edilmesi gerekmektedir. Bunun için her yöntem için kalibrasyon değerleri ayrı ayrı alınmıştır. Her üç yöntem için kullanılan kameralarda hesaplanan kamera kalibrasyon değerleri Şekil 4.8 Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 da gösterilmektedir.

Camera Calibration

FC6310R (8.8mm)
52 images, 5472x3648 pix

Camera type: Frame

Pixel size (mm): 0.00241228 x 0.00241228

Focal length (mm): 8.8

Enable rolling shutter compensation Film camera with fiducial marks

Initial Adjusted Bands GPS/INS Offset

f: 3704.57283

cx: -11.5095 b1: 0

cy: -18.8574 b2: 0

k1: -0.00404024 p1: -0.000889003

k2: -0.0370086 p2: -0.00170581

k3: 0.0845176 p3: 0

k4: -0.0516454 p4: 0

Camera label	Resolution	Camera model	Focal length	Date & time
100_0006_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 13:38:...
100_0006_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 13:38:...
100_0006_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 13:38:...
100_0006_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 13:38:...
100_0006_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 13:38:...

OK Cancel

Şekil 24: CORS Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri

Camera Calibration

FC6310R (8.8mm)
52 images, 5472x3648

Camera type: Frame

Pixel size (mm): 0.00241228 x 0.00241228

Focal length (mm): 8.8

Enable rolling shutter compensation

Film camera with fiducial marks

Initial Adjusted Bands GPS/INS Offset

f: 3705.71969

cx: -11.6629 b1: 0

cy: -17.7903 b2: 0

k1: -0.0103652 p1: -0.000908358

k2: -0.00216474 p2: -0.00167039

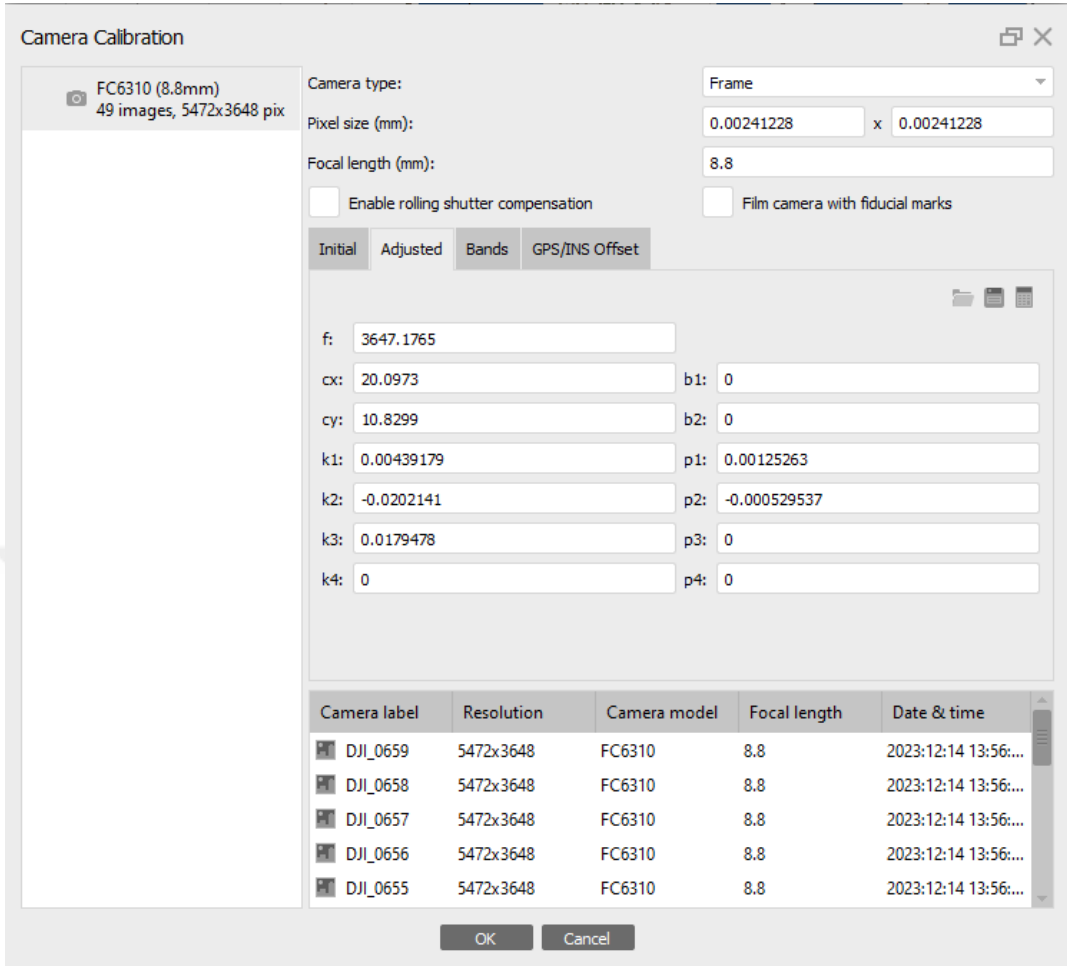
k3: 0.0107999 p3: 0

k4: 0 p4: 0

Camera label	Resolution	Camera model	Focal length	Date & time
100_0007_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 14:11:31
100_0007_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 14:11:27
100_0007_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 14:11:24
100_0007_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 14:11:21
100_0007_0...	5472x3648	FC6310R	8.8	2023:12:14 14:11:17

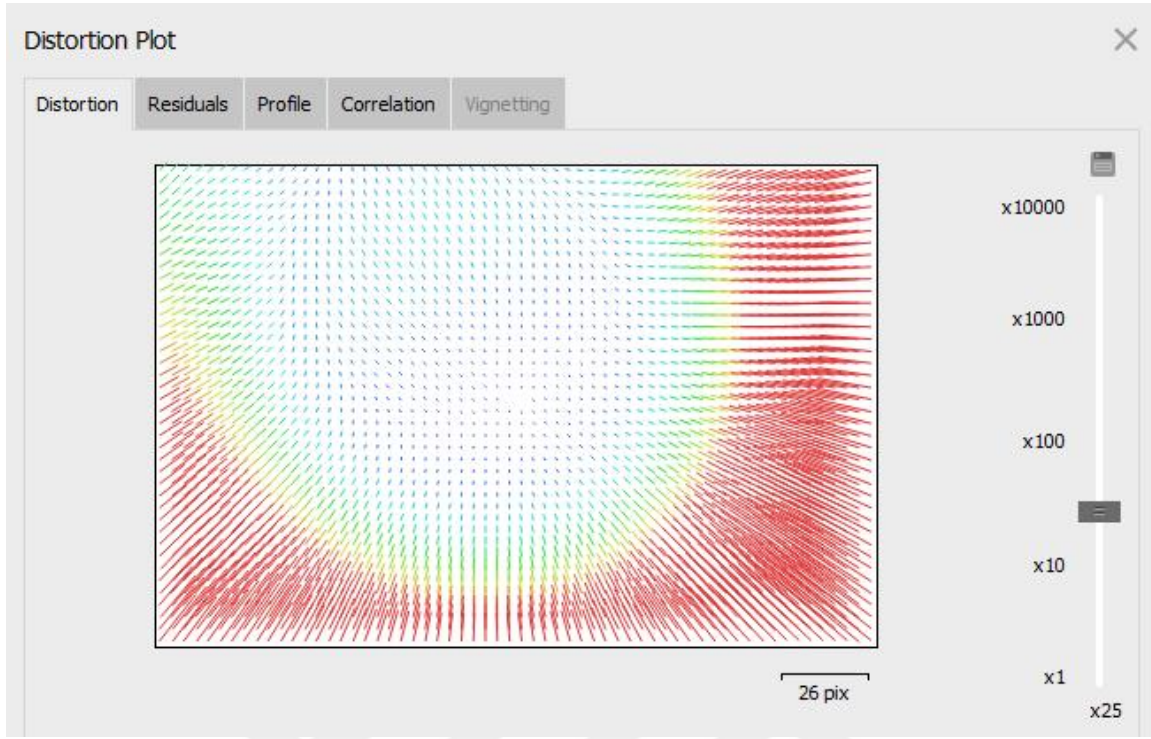
OK Cancel

Şekil 25: RTK Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri

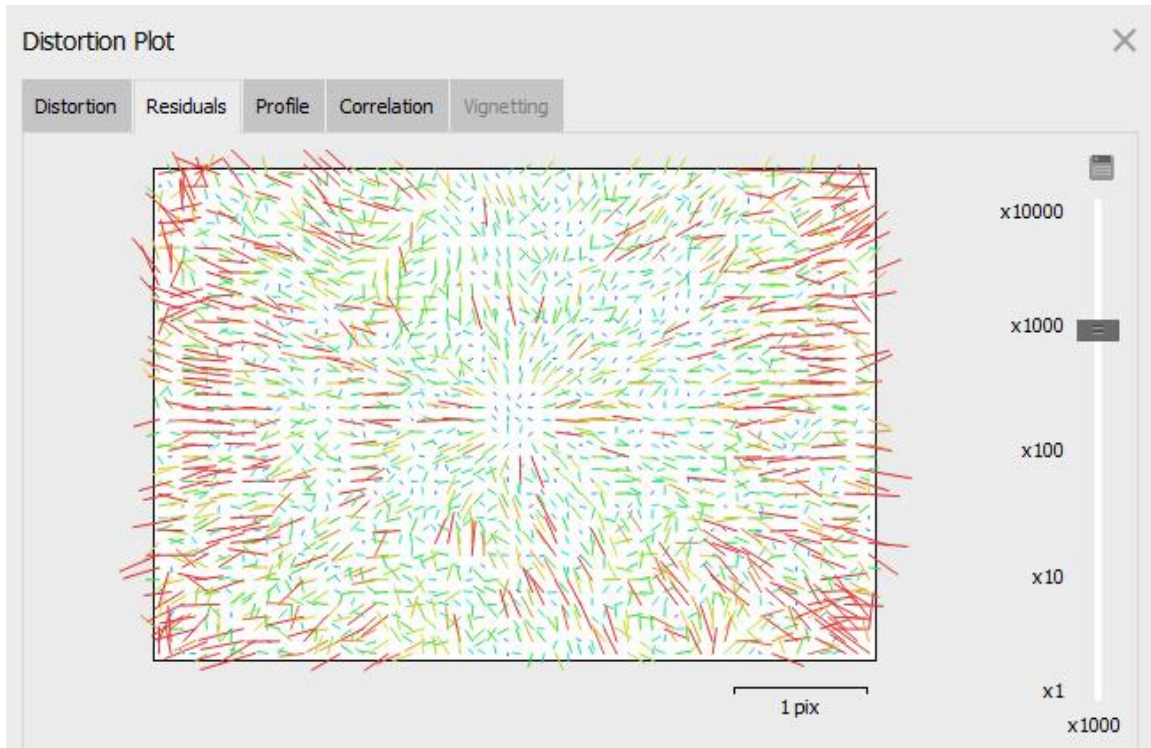


Şekil 26: PPK Yönteminin Kamera Kalibrasyon Değerleri

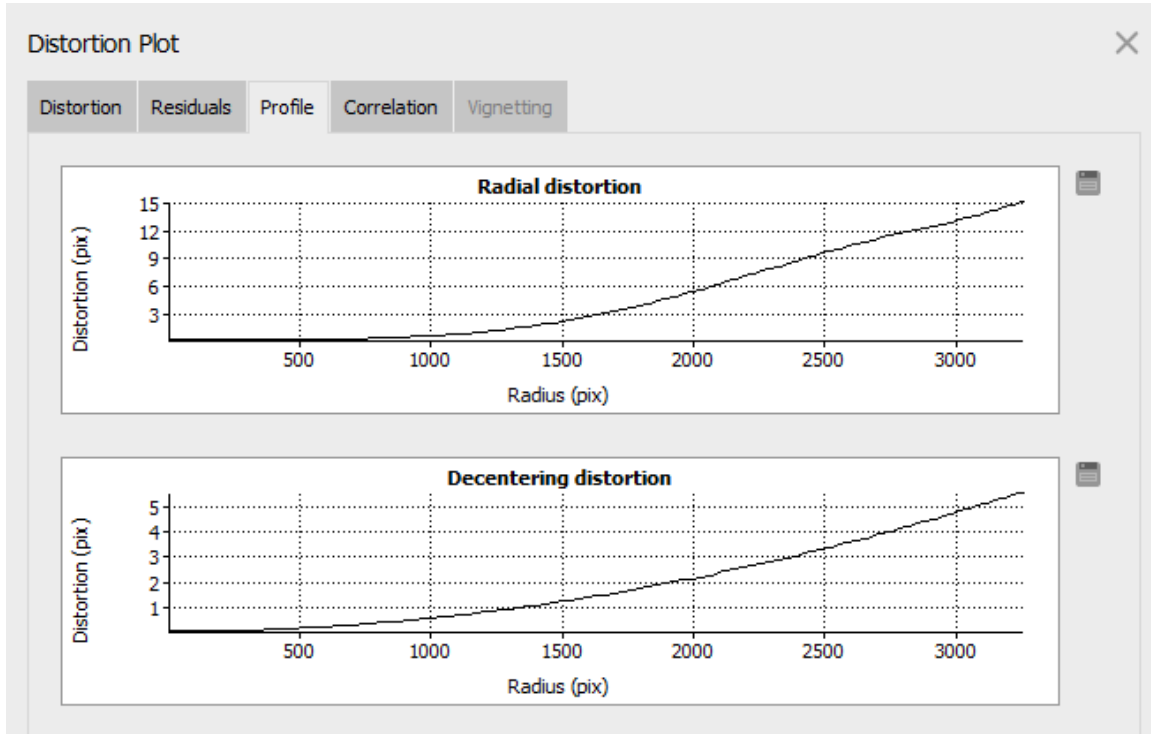
Ayrıca kamera iç yöneltme elemanlarının kalibrasyonu ile ilgili istatistiksel değerleri bu programda “Seçilen kamera→Sağ tık→Distortion Plot” komutu ile ulaşılabilmektedir. Elde edilen değerler CORS yöntemi için Şekil 4.11, Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te, RTK yöntemi için Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 de, PPK yöntemi için ise Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22 de gösterilmektedir.



Şekil 27: CORS Yönteminin Distorsiyon Çizgileri



Şekil 28: CORS Yönteminin Artık Değer Grafiği

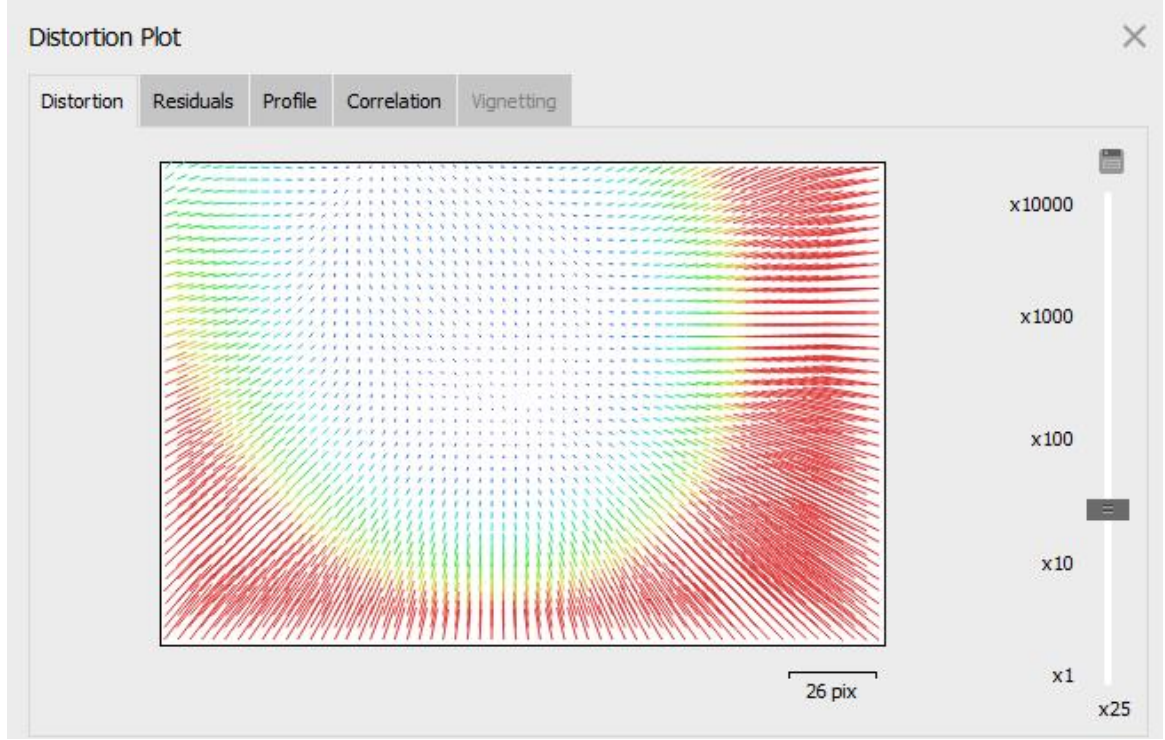


Şekil 29: CORS Yönteminin Profil Grafiği

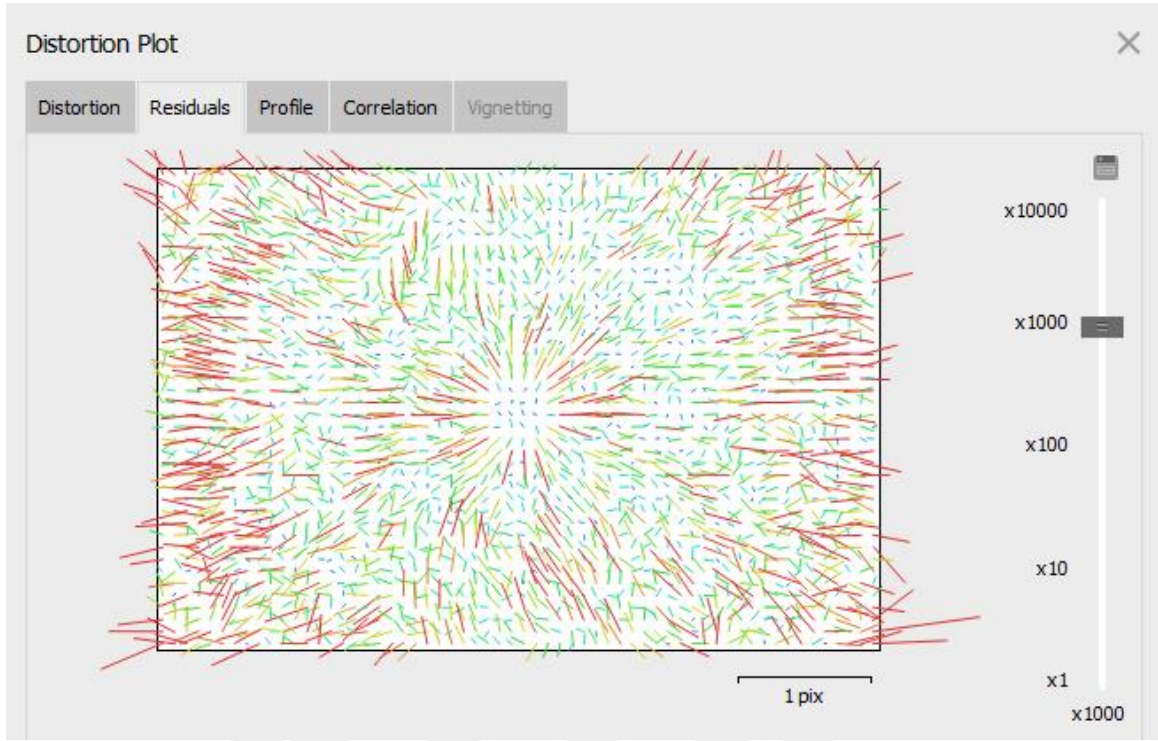
Programda profil olarak adlandırılan kavram, fotoğrafın merkezinden uzaklaştıkça karşılık gelen radyal ve merkezden uzaklaştırma bozulmaların artışını gösterir.

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3704.57	0.0784591	1.00	-0.03	-0.40	-0.15	0.15	-0.13	0.12	-0.04	0.04
Cx	-11.5095	0.0422223		1.00	0.04	0.01	-0.00	0.00	-0.00	0.62	0.07
Cy	-18.8574	0.0440635			1.00	0.00	-0.00	-0.00	0.01	0.03	0.31
K1	-0.00404024	7.2416e-05				1.00	-0.97	0.92	-0.87	-0.02	-0.00
K2	-0.0370086	0.000388436					1.00	-0.99	0.96	0.01	-0.01
K3	0.0845176	0.000805195						1.00	-0.99	-0.00	0.01
K4	-0.0516454	0.000560007							1.00	-0.00	-0.01
P1	-0.000889003	2.54885e-06								1.00	0.07
P2	-0.00170581	1.93395e-06									1.00

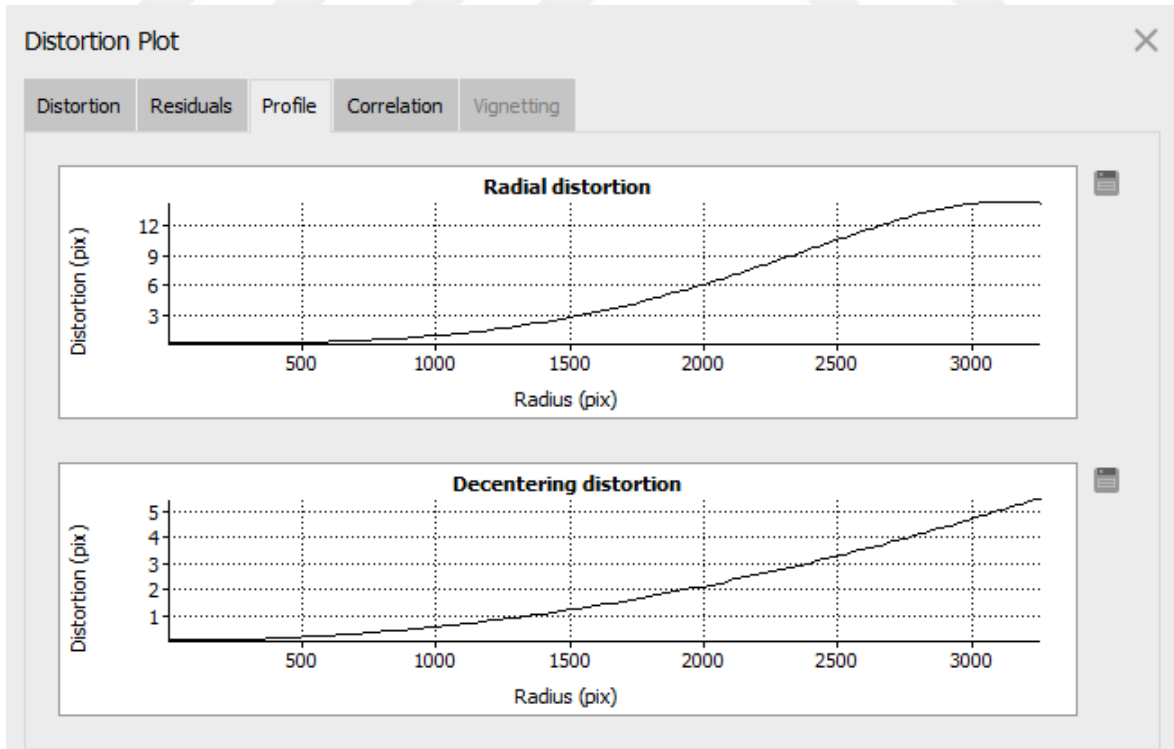
Şekil 30: CORS Yönteminin Korelasyon Değerleri



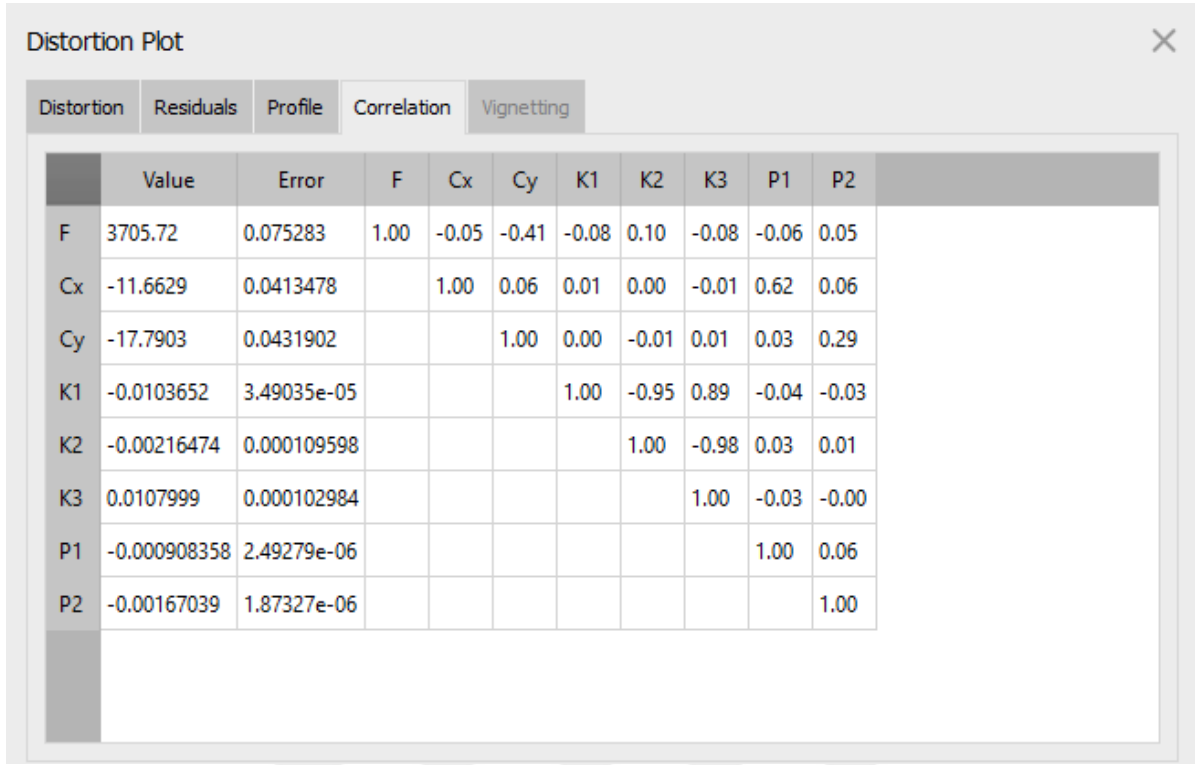
Şekil 31: RTK Yönteminin Distorsiyon Çizgileri



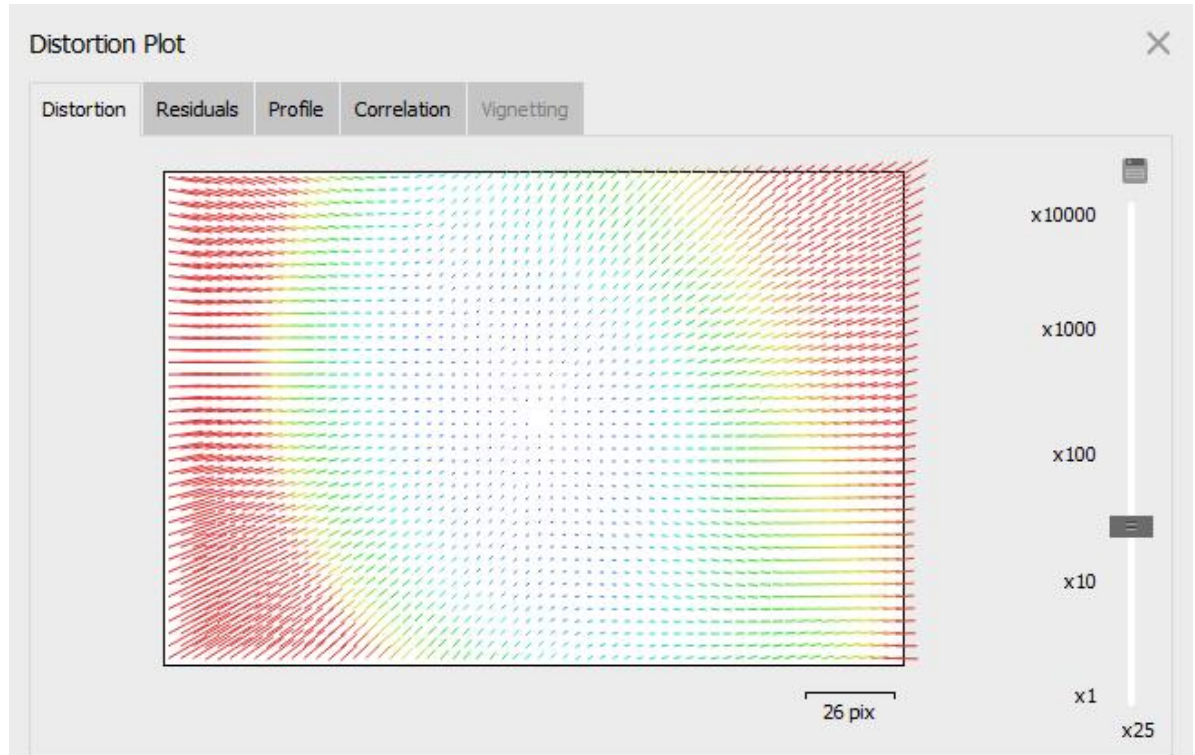
Şekil 32: RTK Yönteminin Artık Değer Grafiği



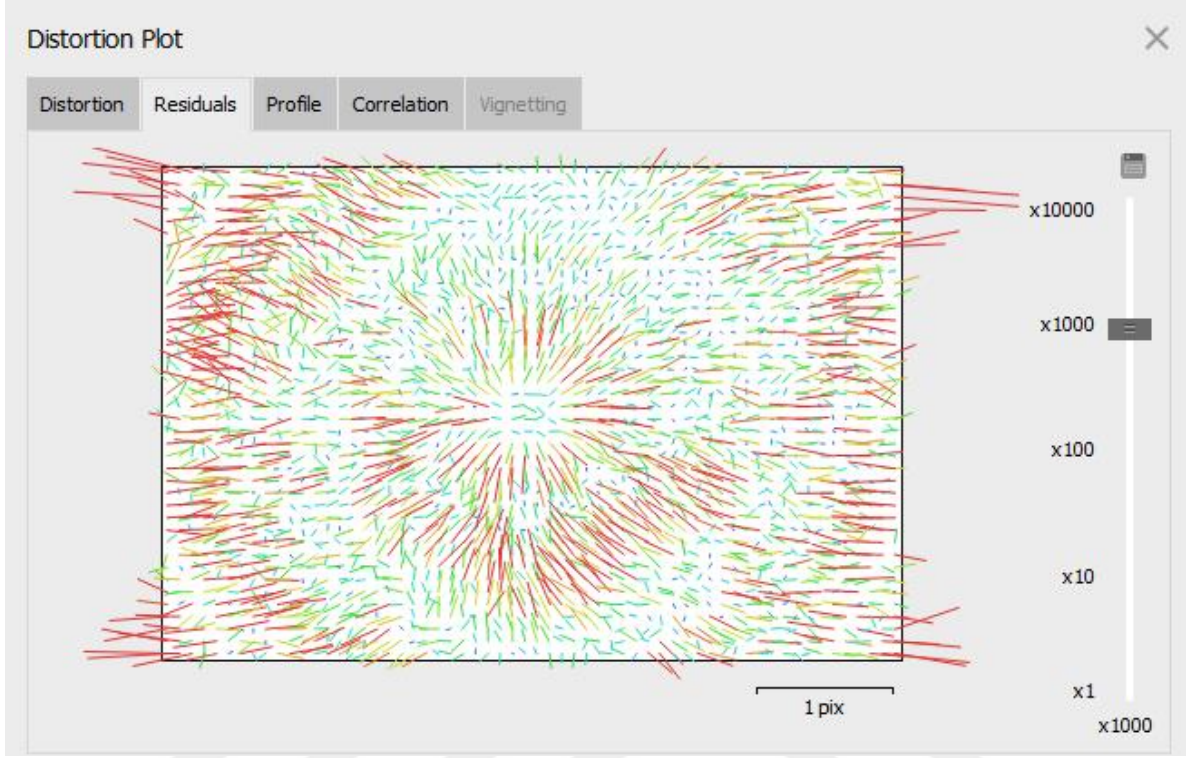
Şekil 33: RTK Yönteminin Profil Grafiği



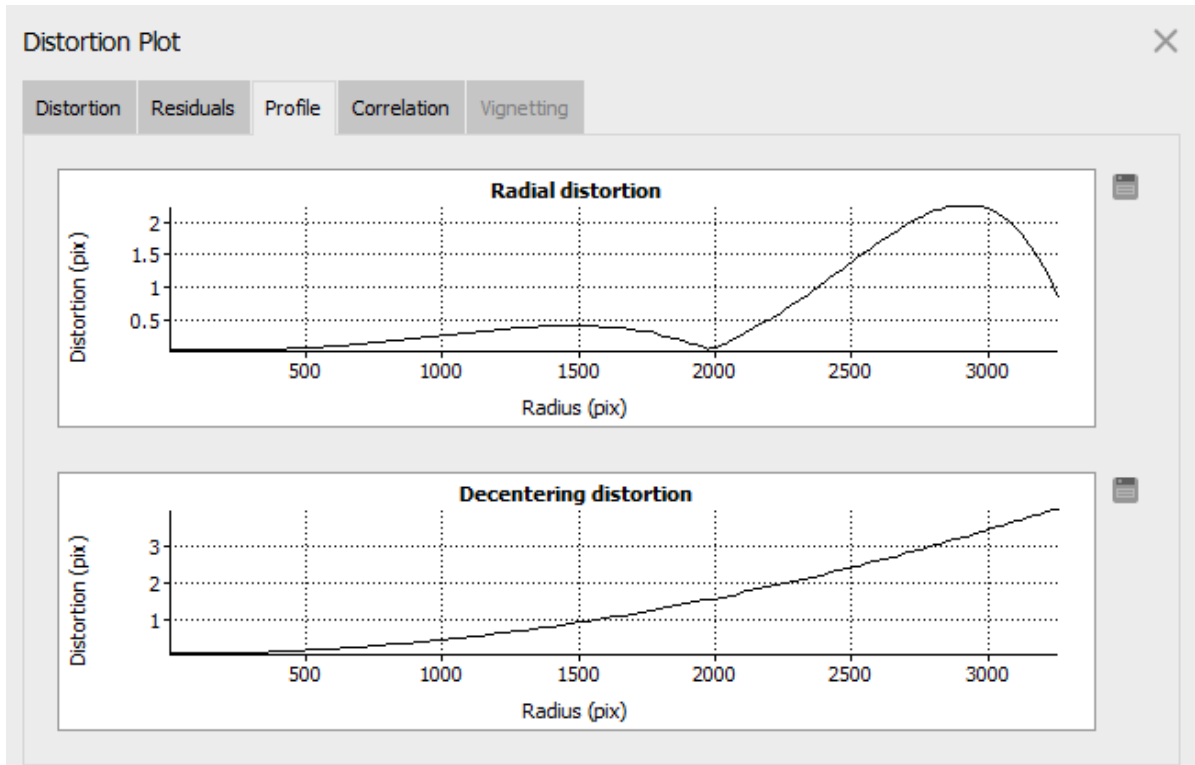
Şekil 34: RTK Yönteminin Korelasyon Değerleri



Şekil 35: PPK Yönteminin Distorsiyon Çizgileri



Şekil 36: PPK Yönteminin Artık Değer Grafiği



Şekil 37: PPK Yönteminin Profil Grafiği

Distortion Plot

Distortion Residuals Profile Correlation Vignetting

	Value	Error	F	Cx	Cy
F	3647.18	0.62328	1.00	-0.23	-0.84
Cx	20.0973	0.0660103		1.00	0.16
Cy	10.8299	0.112392			1.00

Şekil 38: PPK Yönteminin Korelasyon Değerleri

Bu işlem sonrası elde edilen noktalara “Tie Point” adı da verilir. İşlem sonrası ortaya çıkan nokta bulutu Şekil 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 39: İHA Görüntülerinin Nokta Bulutu

Bu adımda CORS yönteminde 55 788 adet nokta, RTK yönteminde 54 712 adet nokta, PPK yönteminde ise 58 269 adet nokta otomatik olarak atılmıştır. Bağlama noktaları kullanılarak seyrek nokta bulutu oluşturulur.

4.6.3 Fotogrametrik Nirengi (Yer Kontrol Noktalarının Eklenmesi ve Fotoğraf Üzerinde İşaretlenmesi)

Fotogrametrik Nirengi kısacası yer kontrol noktalarının fotogrametrik yöntemle koordinatların belirlenmesi yöntemidir. Yer kontrol noktalarının eklenmesi ve fotoğraflar üzerinde işaretlenmesi ile dış yöneltme parametrelerin daha hassas hale getirilmesi, fotogrametrik modelin koordinat sistemine oturtulması ve hata payının azaltılmasını sağlar. İşaretlenen yer kontrol noktalarından sonra noktaların hata değerleri karşımıza çıkmaktadır. Bundan sonra yapılan işlem ise Yer Kontrol Noktaları verilerini içeri aktarmak ve fotoğraflar üzerinde yerini tespit etmektir.

Yer Kontrol Noktaları ekleme işlemi ise “Reference→Import” komutları ile yapılır.

YKN verileri girildikten sonra asıl önemli olan YKN’leri fotoğraflar üzerinde yerini belirleme adımıdır.

Yer Kontrol Noktalarının fotoğraflar üzerinde işlenmesi işleminde noktalar hangi

fotoğraflarda yer alıyor ise tek tek ve dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Yapılan bu işlem Şekil 4.24'te gösterilmektedir.



Şekil 40: Yer Kontrol Noktasını Fotoğraf Üzerinde İşaretlenmesi

Ağaç altında kalan gibi yeri tam olarak belli olmayan noktalar ise işaretlenmez.

Kesin sonuç için programda “Optimize Camera Alignment” işlemi yapılır. Bu işlem için bütün yer kontrol noktalarının fotoğraflar üzerinde işaretlenmesi yapılması gerekmektedir. Yapılan bu işlem, fotogrametride Demet Dengelemesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Demet Dengelemesi kameranın iç ve dış yöneltme elemanlarını, yer kontrol noktası ve tie point kullanarak daha hassas hale getirilmesini sağlar.

Tamamlanan işlem sonrası CORS, RTK ve PPK yöntemleri ve hata miktarları Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5’ te gösterilmektedir.

Tablo 4.3: CORS Hata Değerleri

YKN Nu.	X(m)	Y(m)	Z(m)	X hata (mm)	Y hata (mm)	Z hata (mm)	Hata Miktarı (mm)
YK1	426290.807	4061176.123	142.956	-2.0	-4.2	-14.3	14.9
YK2	426264.056	4061227.231	145.474	-9.5	-4.4	-14.8	18.1
YK3	426312.143	4061291.418	146.923	-13.5	17.3	17.6	28.1
YK4	426347.994	4061246.749	146.869	1.6	-0.5	-15.4	15.5
YK5	426348.516	4061265.276	143.191	2.7	-12.9	3.4	13.6
YK6	426396.405	4061250.392	147.563	-1.2	-3.9	0.7	4.1
YK7	426403.041	4061227.966	152.435	14.4	2.1	19.4	24.3
YK8	426456.606	4061213.805	154.370	17.2	9.1	-12.3	23.0
YK10	426370.794	4061076.684	147.030	-1.6	-5.4	-1.3	5.8
YK11	426345.669	4061135.848	146.801	-4.1	8.5	-4.8	10.6
YK12	426335.798	4061172.688	146.879	-6.3	10.2	0.5	12.0
YK13	426297.128	4061100.487	141.763	5.0	4.2	15.4	16.8
YK14	426226.049	4061125.343	136.283	-2.0	18.9	14.5	23.9
Toplam Hata				8.2	9.5	12.3	17.6

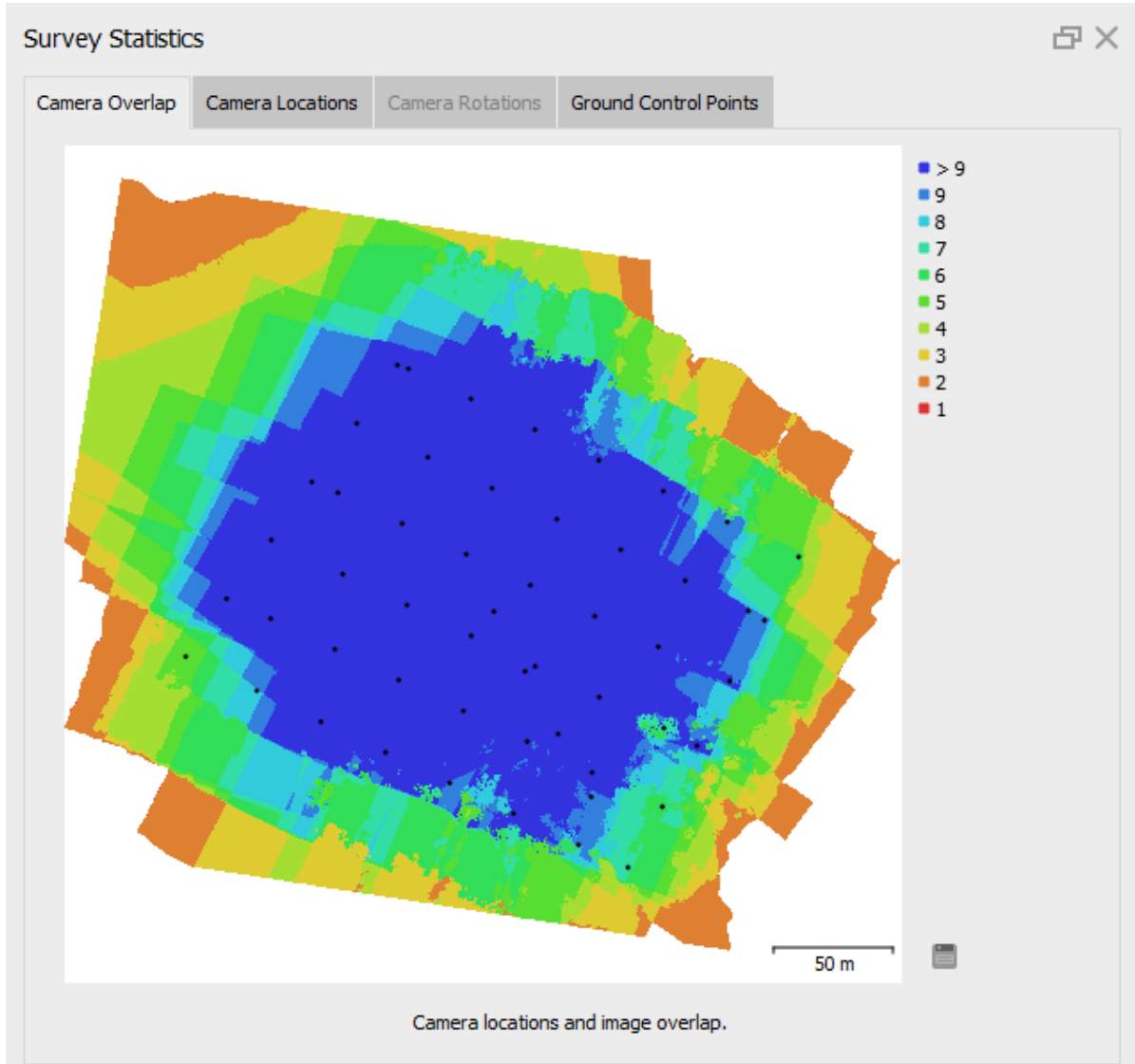
Tablo 4.4.: RTK Hata Değerleri

YKN Nu.	X(m)	Y(m)	Z(m)	X hata (mm)	Y hata (mm)	Z hata (mm)	Hata Miktarı (mm)
YK1	426290.807	4061176.123	142.956	-2.1	-3.4	-4.2	5.8
YK2	426264.056	4061227.231	145.474	-9.1	-5.2	-9.7	14.3
YK3	426312.143	4061291.418	146.923	-13.7	-16.0	18.8	28.3
YK4	426347.994	4061246.749	146.869	2.9	0.1	-12.6	12.9
YK5	426348.516	4061265.276	143.191	4.9	-6.5	-8.0	11.4
YK6	426396.405	4061250.392	147.563	-1.3	-2.2	1.7	3.1
YK7	426403.041	4061227.966	152.435	16.9	2.3	4.7	17.7
YK8	426456.606	4061213.805	154.370	9.2	-4.3	1.2	10.2
YK10	426370.794	4061076.684	147.030	6.0	-1.4	0.3	6.2
YK11	426345.669	4061135.848	146.801	-3.6	7.4	-16.0	18.0
YK12	426335.798	4061172.688	146.879	-5.2	10.3	11.6	16.3
YK13	426297.128	4061100.487	141.763	9.9	5.9	18.8	22.1
YK14	426226.049	4061125.343	136.283	-7.8	15.5	1.5	17.4
Toplam Hata				8.4	7.9	10.6	15.6

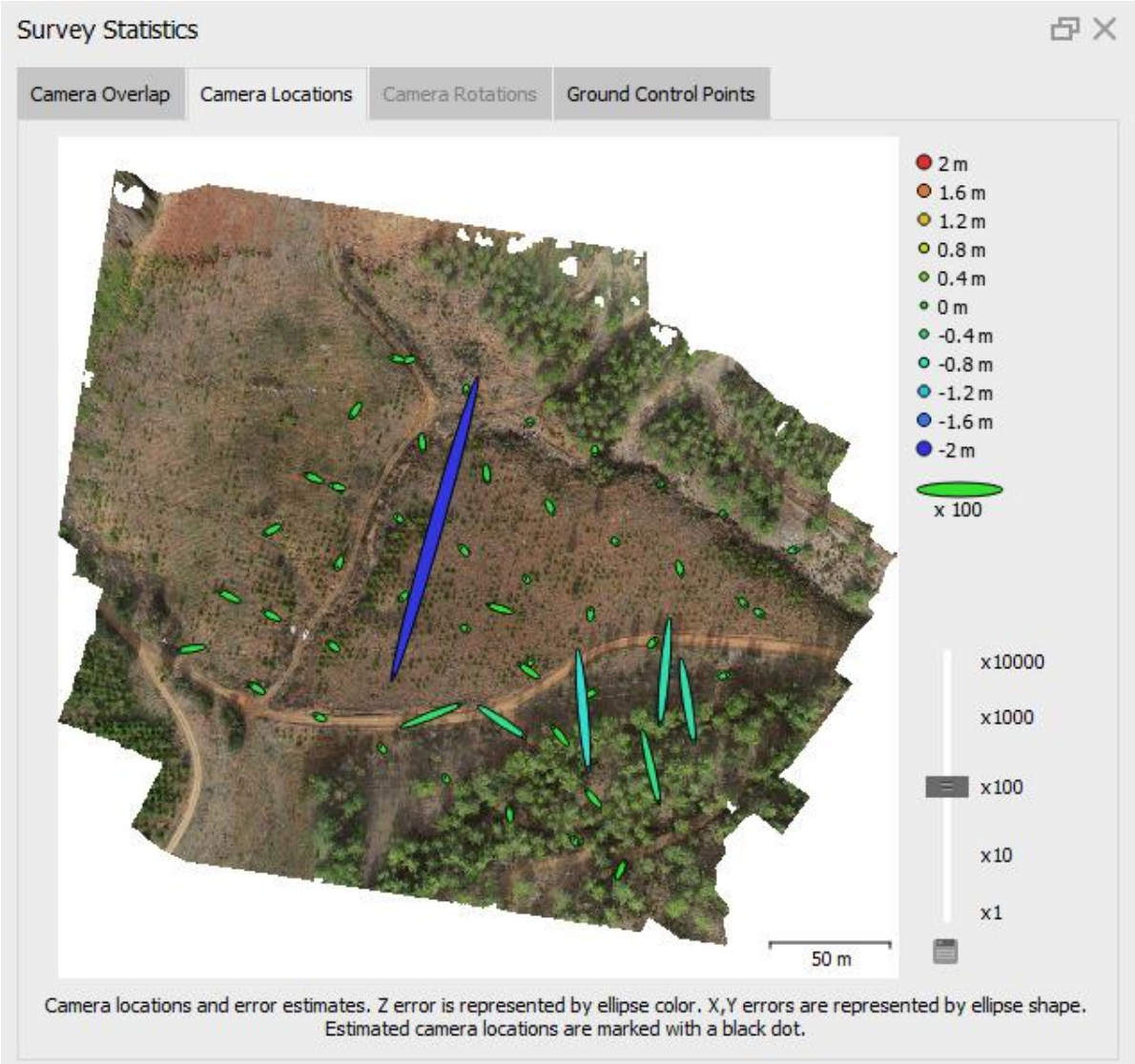
Tablo 4.5: PPK Hata Değerleri

YKN Nu.	X(m)	Y(m)	Z(m)	X hata (mm)	Y hata (mm)	Z hata (mm)	Hata Miktarı (mm)
YK1	426290.807	4061176.123	142.956	3.4	-1.5	-8.1	8.9
YK2	426264.056	4061227.231	145.474	-6.3	-2.7	-4.0	8.0
YK3	426312.143	4061291.418	146.923	1.1	4.9	1.6	5.3
YK4	426347.994	4061246.749	146.869	0.1	3.1	0.8	3.2
YK5	426348.516	4061265.276	143.191	5.5	-1.4	-6.9	8.9
YK6	426396.405	4061250.392	147.563	-1.1	-6.3	5.8	8.6
YK7	426403.041	4061227.966	152.435	7.8	3.5	8.1	11.7
YK8	426456.606	4061213.805	154.370	-5.0	-3.5	-8.2	10.2
YK10	426370.794	4061076.684	147.030	3.5	0.1	-1.8	4.0
YK11	426345.669	4061135.848	146.801	-12.9	3.1	5.4	14.3
YK12	426335.798	4061172.688	146.879	-4.1	5.3	4.2	7.9
YK13	426297.128	4061100.487	141.763	8.2	-3.3	-8.3	12.1
YK14	426226.049	4061125.343	136.283	1.3	-0.6	11.2	11.3
Toplam Hata				5.8	3.5	6.5	9.3

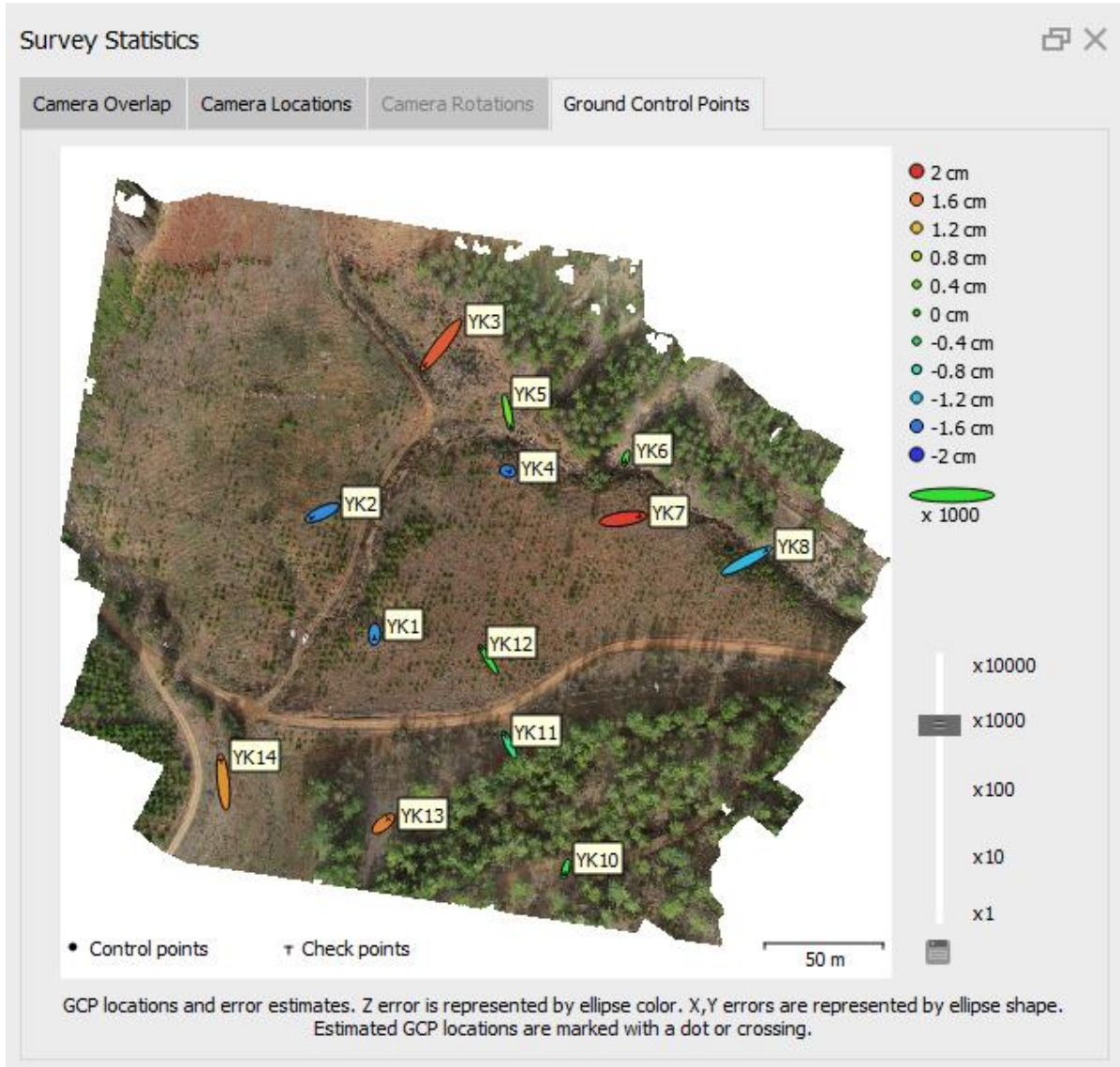
Ayrıca bu işlem sonrası her üç yöntemin de ölçüm istatistikleri karşımıza çıkmaktadır. Bu değerler Şekil 4.25., Şekil 4.26., Şekil 4.27., Şekil 4.28., Şekil 4.29., Şekil 4.30., Şekil 4.31., Şekil 4.32. ve Şekil 4.33'te gösterilmektedir.



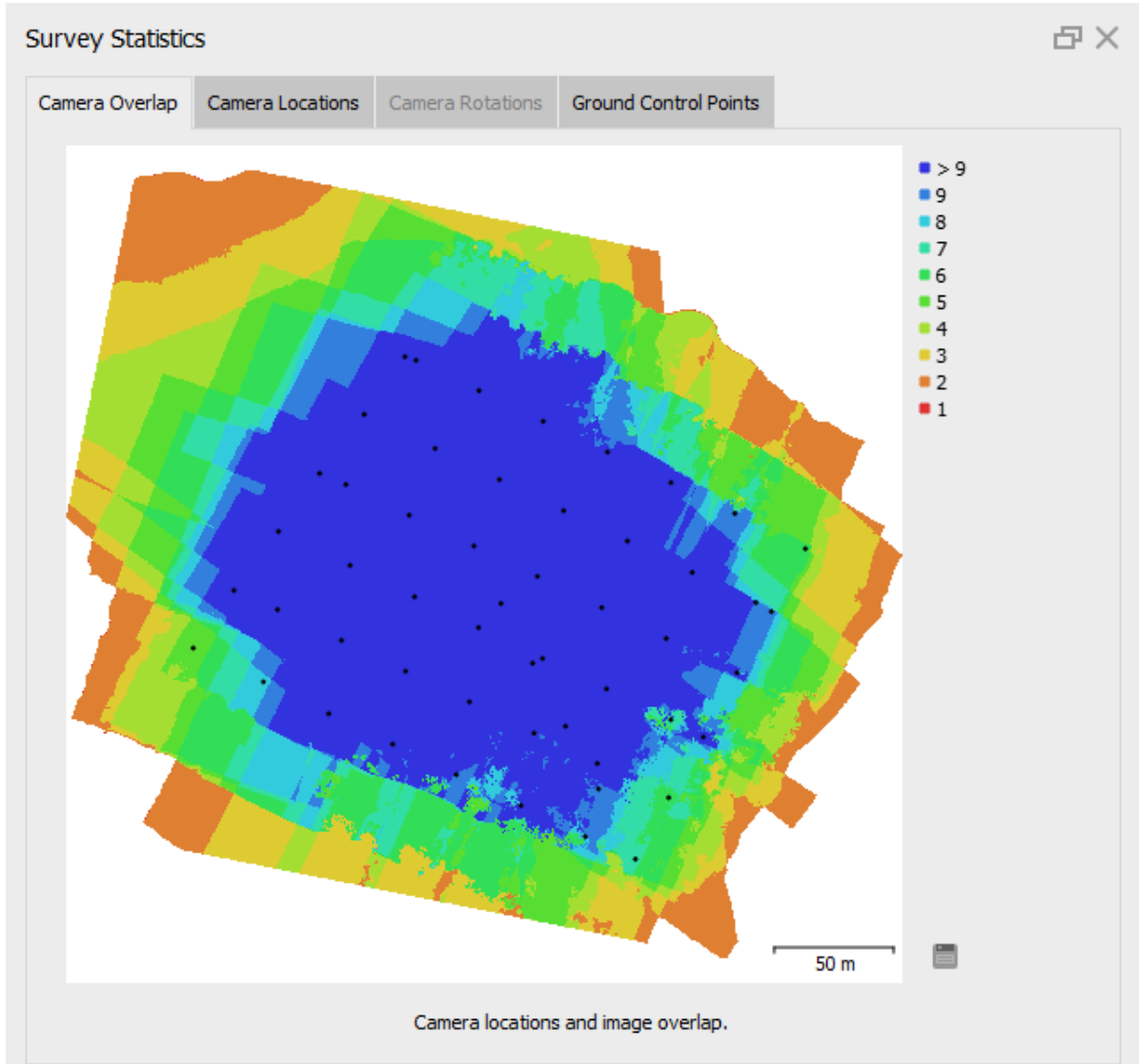
Şekil 41: CORS Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları



Şekil 42: CORS Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri



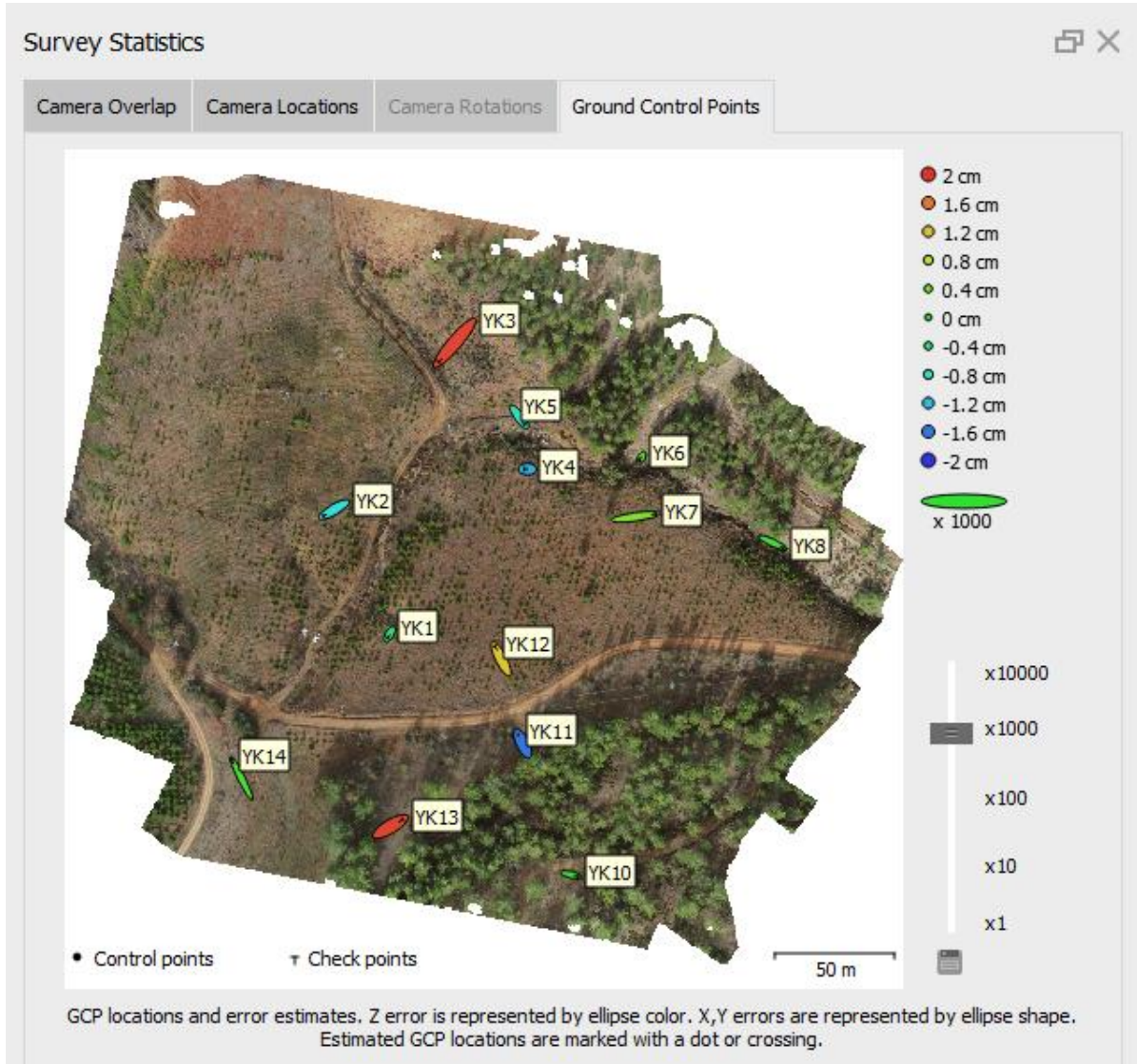
Şekil 43: CORS Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri



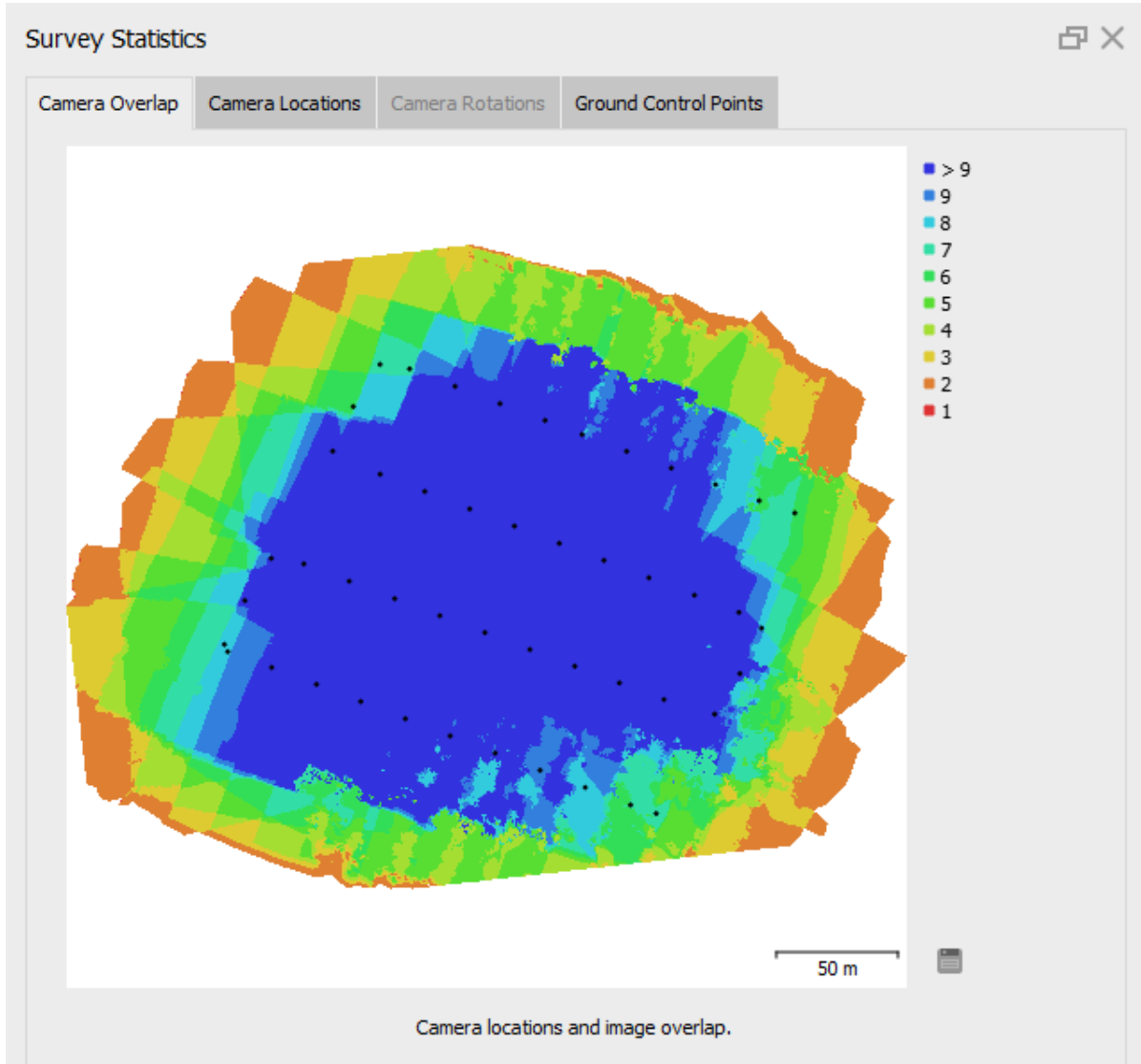
Şekil 44: RTK Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları



Şekil 45: RTK Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri



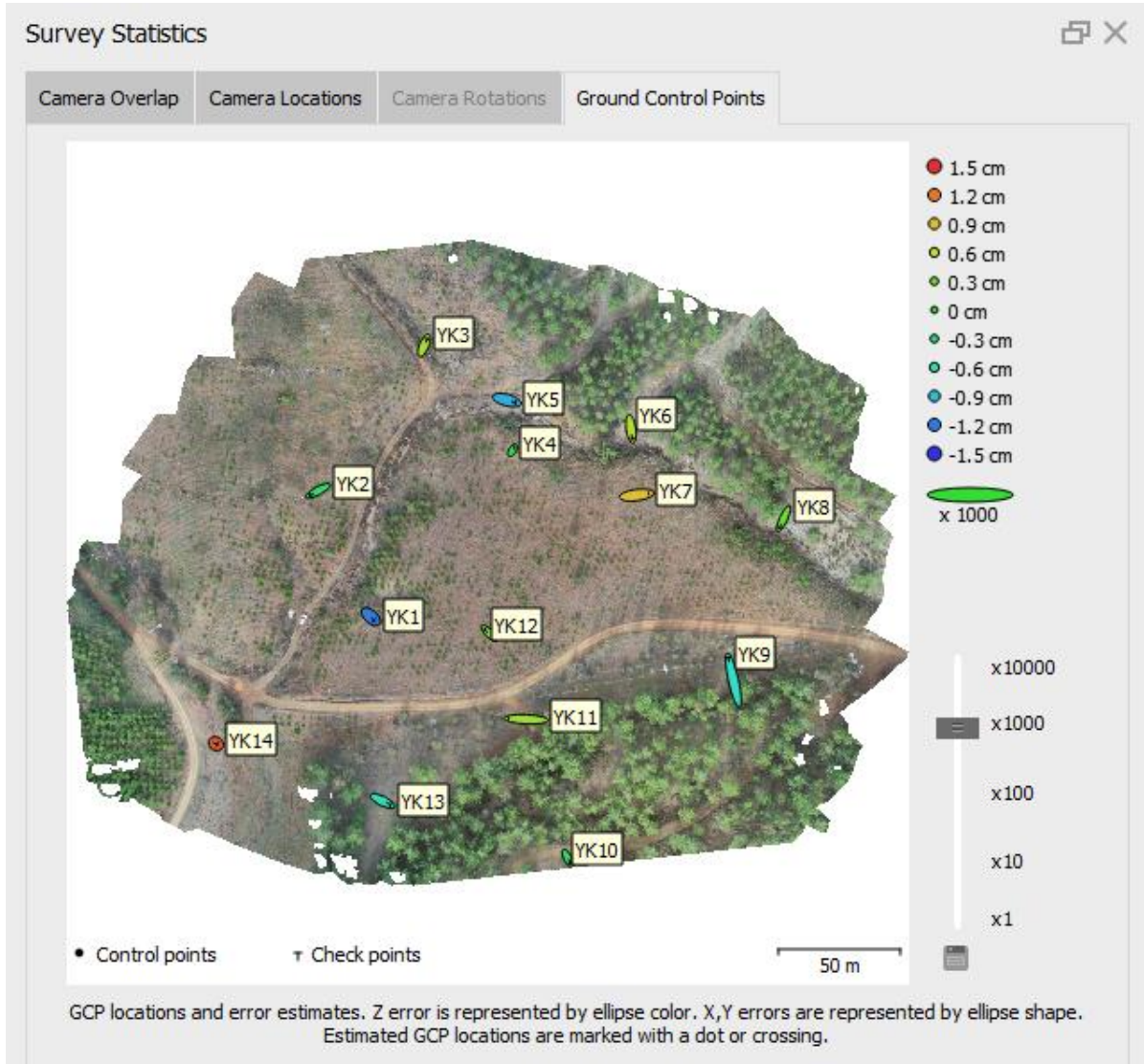
Şekil 46: RTK Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri



Şekil 47: PPK Yönteminde Çakışan Kamera Sayıları



Şekil 48: PPK Yönteminde Kamera Konumları ve Hata Değerleri



Şekil 49: PPK Yönteminde Yer Kontrol Noktalarının Hata Değerleri

Bu uygulamada üç yöntemden de elde edilen doğruluk değerlerinin bulunması için üç tane noktanın dengelemeye dahil olmaması durumunda ardından ise seçilen her yer kontrol noktalarının tek başına sonuçlara nasıl etki edeceği incelenmiştir. Bu noktaların seçiminde ise dengelemeye dahil olan yer kontrol noktalarından oluşan ağın köşesinde ve ortasında bir nokta olmaması seçilmiş olup bu noktalar YKN4, YKN7 ve YKN11 noktaları seçilmiştir. Seçilen noktaların katılmaması durumunda ortaya çıkan hata değerleri aşağıdaki Tablo 4.6.'da, YKN 4 noktasının hata değerleri Tablo 4.7.'de, YKN 7 noktasının hata değerleri Tablo 4.8.'de ve YKN 11 noktasının hata değerleri Tablo 4.9.'da gösterilmektedir

Tablo 4.6: CORS, RTK ve PPK Hata Değerleri

Yöntem	Hata Miktarı (mm)	Seçilen YKN'lerin olmaması durumunda Hata Miktarı (mm)
CORS	17.6	17.7
RTK	15.4	16.4
PPK	9.3	10.8

Tablo 4.7.: CORS Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri

N.N.	X Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Y Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Z Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Toplam Hata Miktarı (mm)
YKN 4	1.6	0.5	-15.4	15.5
YKN 7	14.4	2.1	19.4	24.2
YKN 11	-4.2	8.5	-4.9	10.6

Tablo 4.8: RTK Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri

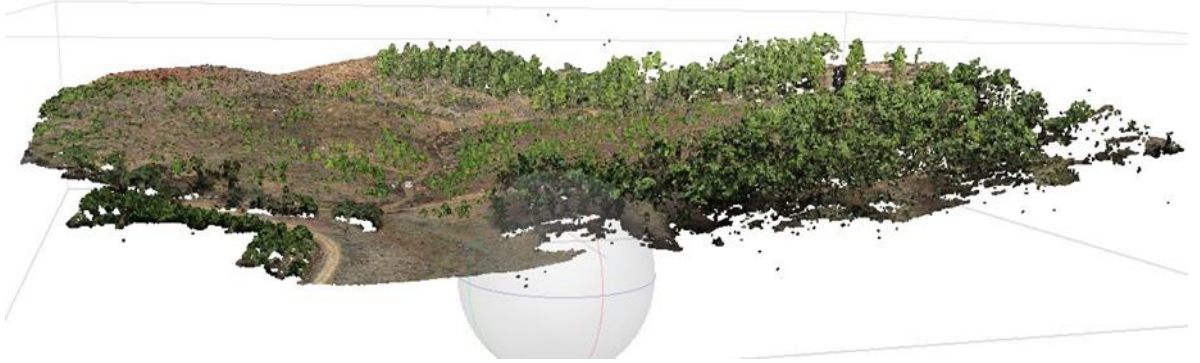
N.N.	X Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Y Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Z Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Toplam Hata Miktarı (mm)
YKN 4	-2.9	0.0	-12.6	12.9
YKN 7	16.9	2.7	4.7	17.7
YKN 11	-3.6	7.4	-16.0	18.0

Tablo 4.9: PPK Yönteminde Seçilen Noktaların Hata Değerleri

N.N.	X Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Y Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Z Yönündeki Hata Miktarı (mm)	Toplam Hata Miktarı (mm)
YKN 4	1.4	2.1	-1.2	2.8
YKN 7	9.8	1.2	8.8	13.2
YKN 11	-14.3	0.6	4.6	15.1

4.6.4 Yoğun Nokta Bulutu Oluşturulması

Dengeleme işleminin sona ermesinin ardından yoğun nokta bulutu oluşturma aşamasına geçilir. Program bu işlemi kendiliğinden yapmaktadır. İşlem sonunda CORS yönteminde 167 243 241 tane, RTK yönteminde ise 169 143 594 tane ve PPK yönteminde ise 171 947 225 tane nokta bulutu oluşmuştur. Ortaya çıkan yoğun nokta bulutunun görsel hali Şekil 4.25'te gösterilmektedir.

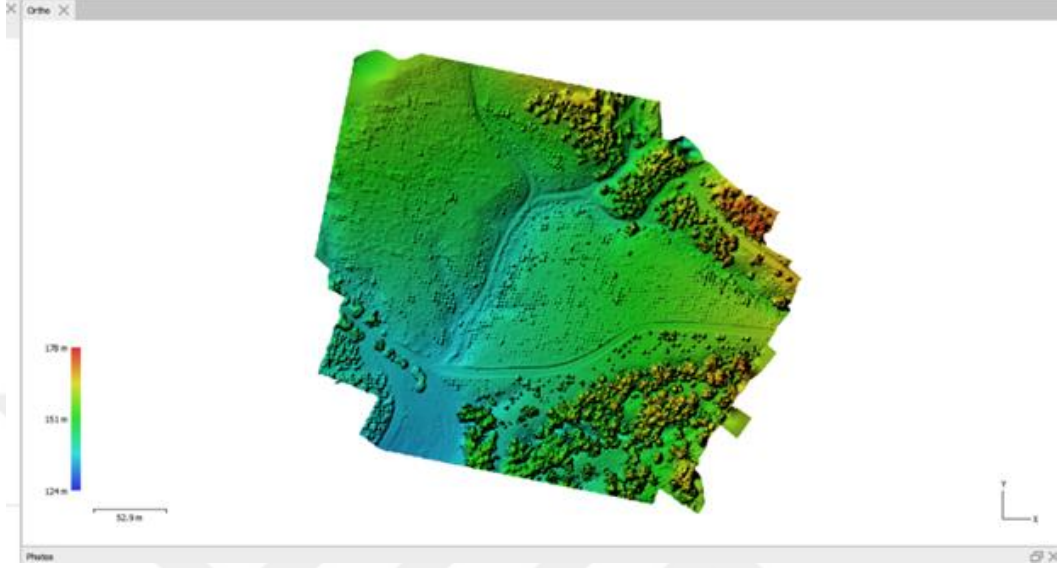


Şekil 50: Yoğun Nokta Bulutu

4.6.5 Sayısal Yüzey Modeli Oluşturulması

Yoğun nokta bulutu oluşturulması işleminin ardından Sayısal Yüzey Modeli oluşturulur. Sayısal Yüzey Modeli, bir önceki aşamada olan yoğun nokta bulutu verileri kullanılarak oluşturulur. Sayısal Yüzey Modeli, bir arazinin yükseklik ve diğer topografik özellikleri dijital ortamda barındırdığından dolayı nokta bulutuna herhangi bir sınıflandırma işlemi yapılmadan direkt üretilmiştir. Oluşturulan Sayısal Yüzey Modelindeki doğruluk değerleri

CORS yönteminde 2,57 cm, RTK yönteminde 2,57 cm ve PPK yönteminde ise 2,64 cm'dir. Ortaya çıkan Sayısal Yüzey Modeli Şekil 4.26 da gösterilmektedir.



Şekil 51: Sayısal Yükseklik Modeli

4.6.6 Ortofoto Oluşturulması

Fotogrametri adımının en son işlemi olan Ortofoto Oluşturulması işlemi yapılmış olup bu sonuçlar CORS yöntemi için 2,57 cm, RTK yönteminde 2,57 cm ve en son olan PPK yönteminde ise 2,64 cm doğruluktadır. Oluşturulan ortofoto ürünü Şekil 4.27 de gösterilmektedir.



Şekil 52: Ortofoto Görüntü

Bölüm 5

Sonuç ve Öneriler

Teknoloji ilerlemeye devam ettikçe insansız hava araçlarının (İHA) fotogrametride kullanımı giderek daha popüler hale gelmiştir. Bu alanda kullanılan üç yöntem CORS (Sürekli Çalışan Referans İstasyonları), RTK (Gerçek Zamanlı Kinematik) ve PPK (Büro Sonrası Kinematik) teknikleridir. Her üç yöntemin de avantajları ve dezavantajları vardır. CORS sistemleri, kesin konumlarını sürekli olarak yayınlayan CORS istasyonlarından oluşan bir ağa dayanmaktadır. Bu istasyonlar, uçuş sırasında İHA için referans görevi görerek görüntülerin doğru şekilde coğrafi olarak konumlandırılmasına olanak tanımaktadır. RTK, gerçek zamanlı olarak santimetre düzeyinde doğruluk sağlamak için bir baz istasyonu ve gezici kullanmakta; ama bu yöntem hem İHA'da hem de yer istasyonunda bir GNSS alıcısının kullanılmasını gerektirmekte ve gezicinin baz istasyonundan gelen sinyallere göre konumunu düzeltmesine olanak tanımaktadır. PPK yöntemi ise RTK gibi ölçüm yapmasına karşın elde edilen verilere büro kısmında müdahale edilebilmektedir. Fotogrametride CORS, RTK ve PPK tekniklerini karşılaştırırken maliyet, doğruluk ve kullanım kolaylığı gibi faktörlerin dikkate alınması önemlidir. CORS sistemleri genellikle ağa erişim için bir abonelik ücreti gerektirse bile bu fiyat çok önemli bir maliyet olmamaktadır. Öte yandan RTK, ekipmana daha fazla başlangıç yatırımı gerektirmesinden CORS yöntemine göre daha maliyetlidir. PPK yönteminde ise aynı zamanda büro kısmı da olduğu için diğer iki yönteme daha maliyetlidir. Doğruluk açısından hem CORS hem RTK hem de PPK yöntemleri doğru kullanıldığında yüksek düzeyde hassasiyet sağlayabilmektedir. Baz istasyonu ile gezici arasındaki doğrudan iletişim nedeniyle RTK, CORS yöntemine göre daha hassas çalışmaktadır; ancak CORS sistemleri, uygun veri işlemeyle yine de benzer düzeyde doğruluk elde edebilmektedir. Bu çalışmada ise bağlanabileceği CORS istasyon sayılarının çok olması ve bu istasyonların ölçüm bölgesine olan uzaklıkların az olmasından dolayı doğruluk bakımından RTK yöntemi ile aralarında pek bir fark bulunmamaktadır. PPK yönteminde ise RTK yöntemindeki gibi baz istasyonu ile İHA arasında doğrudan iletişim olmadığı için herhangi bir iletişim bozukluğunda RTK yöntemindeki gibi veriler bozulmamaktadır. PPK doğruluk açısından diğer iki yönteme göre daha hassastır. Bu uygulamada ise üç yöntemden de elde edilen doğruluk değerlerinin bulunması için sadece seçilen üç tane noktanın dengelemeye dahil olmaması durumunda ve seçilen her noktanın

tek başına sonuçlara nasıl etki edeceği incelenmiştir. Uygulama kısmında olan Tablo 4.6. 'da da gösterilen YKN 4, YKN 7 ve YKN 11 noktalarına göre bu durumdan en az etkilenen yöntem CORS yöntemi iken en çok etkilenen yöntem ise PPK yöntemidir. Seçilen her üç noktanın sonuçlara tek başına nasıl etki ettiklerini gösteren Tablo 4.7., Tablo 4.8. ve Tablo 4.9. verilerine göre en hassas olan yöntem PPK iken CORS yöntemi diğerlerine göre daha kaba sonuçlar vermektedir.

CORS, RTK ve PPK tekniklerini karşılaştırırken dikkate alınması gereken bir diğer önemli faktör daha kolay kullanımıdır. CORS sistemlerinin kurulumu genellikle daha kolaydır çünkü yalnızca ağa erişim ve minimum düzeyde kalibrasyon gerektirmektedir. PPK yönteminde ise İHA ile baz istasyonu arasında iletişim olmamasından dolayı kurulumu çok kolay olmaktadır. Öte yandan RTK, baz istasyonunu ve geziciyi iletişim için uygun şekilde yapılandırmak için daha fazla teknik uzmanlığa ihtiyaç duyulmakta ve ölçümler sona erene kadar baz istasyonu ile gezici arasındaki iletişimin kopmaması gerekmektedir. Sonuç olarak, İnsansız Hava Aracı fotogrametri söz konusu olduğunda hem CORS hem RTK hem de PPK yöntemlerinin güçlü ve zayıf yönleri vardır. Sonuçta üçü arasındaki seçim projenin özel ihtiyaçlarına ve kısıtlamalarına bağlı olacaktır. CORS daha uygun maliyetli ve kullanımı daha kolay olabilirken, RTK daha maliyetli; ama daha hassas doğruluk sağlamaktadır. PPK yöntemi ise kurulumu kolay, doğruluğu diğer iki yöntemle göre daha yüksek; ama maliyeti daha fazladır. Her ne kadar diğer faktörlerde PPK yöntemi diğerlerine göre dezavantajlı olmasına rağmen tezin amacı olan doğruluk kriteri konusunda en iyi çözümü sunan yöntem PPK yöntemidir; ancak çalışma alanının topografik yapısından dolayı Klasik-RTK ve CORS yöntemleri, PPK yöntemi kadar olmasa da çok hassas sonuçlar vermektedir.

Bu teze benzer olan 2023 yılında Oğuz'un yaptığı "Kıyı Bölgelerinde Klasik-RTK ile Ağ-RTK Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması" adlı çalışmasında ise Aydın ve Muğla bölgelerinde yapmış olduğu çalışmada CORS, RTK ve Statik yöntemleri karşılaştırılmıştır. Çalışma yapılan alanda engebellek ve dağlık bölgeler olduğundan dolayı CORS yöntemi ile elde edilen doğruluğun, RTK yöntemine göre elde edilen doğruluğa göre daha az olduğu belirlenmiştir; ancak bu çalışmada uygulama alanının engebelleli olmaması, pek fazla ağaçlık alanının olmaması ve CORS yönteminde aynı anda FETH, CAV, KAAS, MUG1 ve DATC olmak üzere 5 tane CORS istasyonunu görebilmesinden dolayı elde edilen CORS yönteminin doğruluğu RTK yönteminde elde edilen doğruluğa yakındır. Bu tezde uygulama alanının mümkün olduğunca engebelleksiz ve sık olmayan ağaçlık bölgede olmasının sebebi her

üç yöntem içinde ölçüm sırasında oluşabilecek hataları olabildiğince azaltmaktır. Çalışma yapılan bölgelerin tek bir yerle sınırlı kalmayıp çeşitli yerlerde, farklı zaman dilimlerinde ve mümkün olduğunca atmosferik koşullardan en az etkileneceği koşullarda ölçümlerin yapılmasının her üç yöntem arasındaki farkların daha iyi bir şekilde analiz edileceği düşünülmektedir.



Kaynaklar

Arslanoğlu, M., Mekik, Ç., (2003), Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir Örnek Uygulama, 9. Türkiye Harita ve Bilimsel Teknik Kurultayı, Ankara, 549-558,2003

Atak, H., (2018). İnsansız hava araçları kullanarak ortomozaik harita üretimi ve doğruluk analizleri. (Yayın No.518769) [Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi].
YÖK Ulusal
Merkezi.<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=hcgrYffRbz0Z44UJEuLt wQ4oGMj6BSv9WHPpm9C1ZxE2TW3b69LUzfywXFBwhSSL>

BÖHHBÜY. (2018). Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği, İnsansız Hava Aracı (İHA) Sistemleri ile Kadastral Detay Ölçmeleri, Harita Üretimi ve Kontrol Esasları. (37575733-170.99-E.4032591). Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Ankara.

Collier P. (2002) The Impact on Topographic Mapping of Developments in Land and Air Survey: 1900-1939

Çallı, R. (2021). İHA sistemleri ile elde edilen ortofoto haritaların doğruluk değerlendirmesi. (Yayın No.655389) [Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi].
YÖK Ulusal Tez Merkezi.
https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=wf-FPgY-5qjHEzEoOgvMs_s8bqUI39roJahrJsJ1qD77I9y94Pp2LnsLFgC8vq_i

Çetin, O., (2019). Hava fotoğrafları ve insansız hava aracı görüntülerinden arazi topoğrafyası ölçümü, sonuçların analizi ve karşılaştırması (Haymana Yeşilyurt köyü uygulaması). (Yayın No.592357) [Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi] YÖK Ulusal
Merkezi.<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=npGs9H39x7G6401x51yq>

pH_6nakNzyLI_3C592dY7R1JjD9DQZF3JBbz6Kjoj03L

Erdoğan A (2016). Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Eisenbeiss, H. (2009): UAV photogrammetry. Diss. ETH No. 18515, doi:10.3929/ethz-a005939264

Gülal, E., (2001). “GPS Tekniği”, Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ölçme Anabilim Dalı, İstanbul.

Güney, C., Avcı, Ö., Doğru, A.Ö., Kılıç, C., ve Çelik, R. N., (2002). Filo Yönetim Sistemi Tasarımı. S.Ü. Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yol Sempozyumu

Kahveci, M., Karagöz, H., Selbesoğlu, M. O., 2011. *HKM Jeodezi ve Jeoinformasyon Arazi Yöntemi Dergisi* Sayı 104

Kahveci, M., (2009), Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, Zerpa Turizm Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara.

Kapıcıoğlu H. (2019) İnsansız hava aracı fotogrametrisinde yer kontrol noktalarının konum doğruluğuna etkisinin incelenmesi (Yayın No. 550198) [Yüksek lisans tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi]. YÖK Ulusal Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=t3LNo_irXcVNltx5m4305Q&no=r i4OloaNyJ0WIaWUhBJCnQ

Karakış, S. (2012). İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması. (Yayın No.581389) [Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=AOBem_QYvsRRuHG8 A3dNEw&no=xUZ3KaJe8vhEKutmRi8ZMQ

McGlone, J. C., Mikhail, E. M. and Bethel, J., (2004). Manual of Photogrammetry. Fifth edition. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, USA. 1151 pages)

Nagendran, S. K., Tung, W. Y. and Ismail, M. A. M., (2018). Accuracy assessment on low altitude UAV-borne photogrammetry outputs influenced by ground control point at different altitude, *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 169, 1, 012031.

Newhall, B. (1969). "Airborne camera: The world from the air and outer space." Hasting House Trowbridge&London, 144.

Oğuz Ş. (2023) Kıyı Bölgelerinde Klasik-RTK ile AĞ-RTK Ölçme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. (Yayın No.824941) [Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=nLNfCsWgUluh5T2iyudShj0F392kR73GMDZAM0F6KxU0nGfPvSlMaTeip9J2op3o>

Pektaş, F., (2010), Gerçek Zamanlı Ulusal ve Yerel Sabit GNSS Ağlarında Dayalı Kinematik Konumlama, (Yayın No.295706) [Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi] YÖK Ulusal Tez Merkezi. https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/TezGoster?key=zqI_ZOq-b18GC2rT9c2JGh4xn4ZXmfRyTzm_a7nZA4yu-0EIL1YmokalXNG_1y5c

Przybilla ve Wester-Ebbinghaus, (1979), Bildflug mit ferngelenktem Kleinflugzeug. *Bildmessung und Luftbildwesen* 47, 137–142.

Sanz-Ablanedo, E., Chandler, J., Rodríguez-Pérez, J., & Ordóñez, C. (2018). Accuracy of unmanned aerial vehicle (UAV) and SfM photogrammetry survey as a function of the number and location of ground control points used. *Remote Sensing*, 10(10), 1606

Saygılı B. (2019) İnsansız hava aracı ile fotogrametrik olarak üretilen verilerin konum doğruluklarının araştırılması (Yayın No.581126) [Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent

Ecevit Üniversitesi YÖK Ulusal Tez Merkezi.<https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=a-2f3bZQTV7HvBNEkiOq2A&no=V3TQ5gUqQdPz-4g16bffcQ>

Schenk T. (2005) Introduction to Photogrammetry. Autumn Quarter, Columbus. 100 p.

Torun A. (2017). İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması

Vozikis E. (1983). Analytical Methods and Instruments for Mapping From Ballons Photogrammetry

Whittlesley, J.H., 1970. Tethered ballons for archaeological photos Photogrammetric Engineering. 36 (2):181-196

W. Wester-Ebbinghaus, Aerial photography by radio controlled model helicopter, Photogramm. Rec. 10 (1980) 85–92, <https://doi.org/10.1111/j.14779730.1980.tb00006.x>.

URL-1:<https://www.nationalmuseum.af.mil/Upcoming/Photos/igphoto/2000554866/>

URL-2: [https://www.djistoreturkiye.com/img/products/bas%CC%A7liksiz-4-\[\]rtk_30.12.2019_f351dbb.jpg](https://www.djistoreturkiye.com/img/products/bas%CC%A7liksiz-4-[]rtk_30.12.2019_f351dbb.jpg)

URL-3: <https://www.djistoreturkiye.com/dji-phantom-4-rtk-6958265168628>

URL-4:<https://www2.djicdn.com/assets/images/products/phantom-4-pro/s1/e-4-b763d7d89a1ad88852d8eb791ce72fae.png?from=cdnMap>

URL-5:<https://www.djistoreturkiye.com/dji-phantom-4-pro-v2.0-6958265164927>

Özgeçmiş

Adı Soyadı: Furkan DAĞ

Eğitim:

2020–2024 İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Harita Mühendisliği (Yüksek Lisans)

2015–2019 Kocaeli Üniversitesi, Harita Mühendisliği (Lisans)

İş Deneyimi:

2022 – 2023 ŞAH-KAR Harita İnşaat Mühendislik Taahüt ve Ticaret Ltd. Şti.

2021 – 2022 Çetintaş Haritacılık

2020 – 2021 GeotechMaps Bilgi Teknolojileri Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti.

Yayınlar:

1. Karakış S., Dağ F. İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisinde Klasik RTK ile Ağ-RTK Yöntemlerinin Karşılaştırılması. 8 th International Students Science Congress23-24 May 2024; İzmir, Türkiye. 912.