

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

ÖNSÖZ

“İHA İle Ortofoto Harita Üretimi Ve Duyarlılığın İrdelenmesi: KTÜ Kampüs Alanı” başlıklı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi (KTÜ) Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında hazırlanmıştır. Tez çalışmam süresince görüş ve önerileri ile beni yönlendiren, sonsuz desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Ertan GÖKALP’ e teşekkürü bir borç bilirim. Yüksek lisans tez jürisi hocalarım Prof. Dr. Celalettin KARAALİ ve Dr. Öğr. Üyesi Leyla ÇAKIR’a yapmış oldukları değerlendirmelerinden ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez kapsamında yapmış olduğum arazi çalışmaları esnasında benden yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Alper Tunga AKIN ve Arş. Gör. Ziya USTA’ ya teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan ve sevgisini her daim hissettiren biricik annem Hatice DİVİT’ e ve yukarıdan beni izlediğine emin olduğum canım babam Eftal DİVİT’ e sonsuz sevgilerimi sunarım. Son olarak, çalışmamın her aşamasında bana destek veren ve her daim yanımda olan değerli eşim Arş Gör. Fatih KADI’ ya teşekkür ve sevgilerimi sunarım.

Ayşe DİVİT KADI
Trabzon 2021

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İHA İle Ortofoto Harita Üretimi Ve Duyarlılığın İrdelenmesi: KTÜ Kampüs Alanı” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ertan GÖKALP’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 03/12/2021

Ayşe DİVİT KADI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Problemin Tanımı	8
1.4. Çalışmanın Amacı	8
1.5. Metodoloji	9
2. UYDULARLA GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ	10
2.1. GNSS Kavramı ve Genel Bilgiler	9
2.2. Global Konum Belirleme Sistemleri	10
2.2.1. Global Positioning System (GPS)	11
2.2.2. Diğer Uydu Sistemleri	12
2.3. GNSS Ağları.....	13
2.3.1. Uluslararası GNSS Ağı.....	13
2.3.2. TUSAGA – AKTİF Ağı	14
2.4. Konum Belirleme Yöntemleri	15
2.4.1. Mutlak Konum Belirleme	15
2.4.2. Bağlı Konum Belirleme.....	16
2.4.2.1. Statik Ölçü Yöntemi	17
2.4.2.2. Hızlı Statik Ölçü Yöntemi	17
2.4.2.3. Tekrarlı Ölçü Yöntemi.....	17
2.4.2.4. Dur – Git Ölçü Yöntemi	18
2.4.2.5. Kinematik Ölçü Yöntemi.....	18
3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI.....	20

3.1.	İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi.....	20
3.2.	İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması.....	21
3.3.	İnsansız Hava Araçlarının Ana Bileşenleri	22
3.4.	İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları	24
3.4.1.	İnsansız Hava Araçlarının Haritacılık Faaliyetlerindeki Kullanımı	25
3.5.	İnsansız Hava Araçlarının Avantaj ve Dezavantajları.....	26
4.	ORTOFOTO	28
4.1.	Ortofoto Nedir?.....	28
4.2.	Ortofoto Üretim Aşamaları.....	29
4.2.1.	Jeodezik Çalışmalar	29
4.2.2.	Havadan Fotoğraf Çekimi	30
4.2.3.	Fotoğrafların İşlenmesi.....	31
4.2.4.	Ortorektifikasyon İşlemleri.....	31
5.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	32
5.1.	İş Akış Diyagramı.....	32
5.2.	Çalışma Sahası.....	32
5.3.	Yer Kontrol Noktalarının Tesisi ve Ölçülmesi.....	34
5.4.	Uçuş Planının Hazırlanması	38
5.5.	Verilerin İşlenmesi ve Ortofoto Üretimi	39
5.5.1.	Photoscan Agisoft Professional Yazılımı Yardımıyla Ortofoto Üretimi.....	40
5.5.1.1.	Fotoğrafların Yazılıma Yüklenmesi	40
5.5.1.2.	Fotoğrafların Hizalanması (Align Photos)	41
5.5.1.3.	Koordinat Sisteminin Tanımlanması	42
5.5.1.4.	Yer Kontrol Noktalarının Programa Yüklenmesi.....	42
5.5.1.5.	Yoğun Nokta Bulutu Üretme (Build Dense Cloud)	43
5.5.1.6.	Yüzey Ağı Oluşturma (Build Mesh)	45
5.5.1.7.	Yüzey Dokusu Oluşturma (Build Texture)	46
5.5.1.8.	Üçgen Model Oluşturma (Build Tiled Model).....	48
5.5.1.9.	Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Üretimi (Build DEM)	50
5.5.1.10.	Ortomosaik Üretimi (Build Orthomosaic)	51
5.5.2.	Ortofoto Üretim Raporu	53
5.5.2.1.	Kamera Konumları ve Görüntü Bindirme Değerleri.....	54
5.5.2.2.	Kamera Bilgileri ve Kalibrasyon Değerleri.....	55

5.5.2.3.	Kamera Konumları ve Hata Kestirimleri.....	56
5.5.2.4.	Yer Kontrol Noktalarının Konumları ve Hata Kestirimleri.....	58
5.5.2.5.	İşlem Parametreleri.....	59
5.6.	Karşılaşılan Sorunlar ve Getirilen Çözüm Yöntemleri.....	60
5.6.1.	Kontrol ve Test Noktalarının Ölçümünde Yaşanılan Sorunlar	61
5.6.2.	Uçuş Planlama Aşamasında Yaşanılan Sorunlar.....	63
5.6.3.	Ortofoto Üretim Aşamasında Yaşanılan Sorunlar.....	63
5.7.	Üretilen Ortofoto'nun Doğruluk Değerlendirmesi	64
6.	BULGULAR VE İRDELEMELER	68
7.	SONUÇ VE ÖNERİLER	72
8.	KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

İHA İLE ORTOFOTO HARİTA ÜRETİMİ VE DUYARLILIĞIN İRDELENMESİ: KTÜ
KAMPÜS ALANI

Ayşe DİVİT KADI

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ertan GÖKALP
2021, 77 Sayfa

Birçok bilimsel çalışmalarda altlık harita olarak kullanılan konumsal verilerin üretilmesini amaç edinen teknolojilerden İnsansız hava araçları (İHA), haritacılık uygulamaları başta olmak üzere çok sayıda mühendislik uygulamalarında giderek yaygınlaşan bir kullanım alanına sahiptir. Afet yönetimi, tarımsal ve ormancılık faaliyetleri, deformasyonların izlenmesi, kırsal ve kentsel alanların planlanması gibi mühendislik projeleri ve bilimsel çalışmalarda ihtiyaç duyulan yüksek doğruluğu karşılayabilen insansız hava araçları sistemleri, kullanıcılara veri toplama ve bu verilerden çeşitli amaçlara yönelik harita üretimi yapabilmeye imkânı sunmaktadır. Tez kapsamında çalışma sahasına ait yüksek çözünürlüklü ortofoto haritasının üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma sahasında farklı topoğrafik yapılara göre sınıflandırılan alanlarda üretilen ortofoto haritasının doğruluğu, gerçekleştirilecek GNSS ölçüleriyle cm mertebesinde irdelenerek, yönetmelikte belirtilen standartlara uygunluğu incelenmiştir. Sonuçlar ışığında; her üç eksen (x, y ve h) ait karesel ortalama hata değerleri dikkate alındığında elde edilen ürünlerin doğruluk değerlerinin büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliğine göre standartlara uygun olup olmadığı irdelenmiş ve bu değerlerin sınır aralığı içinde olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra üretilen ortofoto haritasının doğruluğunun irdelenmesi uygulamasına geçilmiştir. Tüm test noktaları irdelendiğinde, x, y ve h bileşenlerindeki en büyük hata değerlerinin sırasıyla 5.9 cm, 4.5 cm ve 4.9 cm olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak çalışma sahası düz alan, eğimli alan, yerleşim alan ve ormanlık alan olmak üzere 4 ayrı gruba bölünmüştür ve her gruba düşen test noktalarının doğrulukları ayrı ayrı incelenip her bir bölge için ortofoto haritasının doğruluğu irdelenmiştir. Her üç bileşen için ormanlık alandaki test noktalarının karesel ortalama hata değerlerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük hata değerlerine sahip test noktaları ise düz alan bölgesinde yer aldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnsansız hava araçları, Ortofoto, GNSS, Karesel ortalama hata değerleri

Master Thesis

SUMMARY

GENERATING THE ORTHOPHOTO MAP AND EXAMINATION OF THE ACCURACY
USING UAV: KTU CAMPUS AREA

Ayşe DİVİT KADI

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geomatics Engineering Department
Supervisor: Prof. Dr. Ertan GÖKALP
2021, 77 Pages

Unmanned aerial vehicles (UAV), one of the technologies that aim to produce spatial data, which is used as a base map in many scientific studies, has an increasingly widespread use in many engineering applications, especially in cartography applications. Unmanned aerial vehicle systems, which can meet the high accuracy required in engineering projects and scientific studies such as disaster management, agricultural and forestry activities, monitoring of deformations, planning of rural and urban areas, offer users the opportunity to collect data and produce maps for various aims from this data. It is aimed to produce a high-resolution orthophoto map of the study area in this thesis. In addition, the accuracy of the orthophoto map produced for the areas classified according to different topographic structures in the study area has been examined on the order of cm with GNSS measurements, and its compliance with the standards specified in the regulation has been examined. In the light of the results; Considering the square mean error values of all three axes, it has been examined whether the accuracy values of the products obtained are suitable according to the large-scale map and map information production regulation and it has been determined that these values are within the error limits. Then, the application of examining the accuracy of the produced orthophoto map has been started. When all test points have been examined, the maximum error values in x, y and h directions have been found to be 5.9 cm, 4.5 cm and 4.9 cm, respectively. In addition, the study area is divided into 4 different groups as flat area, sloping area, built-up area and forest area and the accuracy of the test points in each group has been examined separately, and the accuracy of the orthophoto map has been examined for each area. It has been determined that the mean square error values of the test points in the forest area have the highest for all three directions. It has been observed that the test points with the lowest error values are located in the flat area.

Anahtar Kelimeler: Unmanned aerial vehicles, Orthophoto, GNSS, Square mean error

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. GPS Sistemi.....	11
Şekil 2. GPS Bölümleri	12
Şekil 3. IGS İstasyonlarının Dünyadaki Dağılımı	14
Şekil 4. TUSAGA - Aktif İstasyonları	15
Şekil 5. Mutlak Konum Belirleme	16
Şekil 6. Bağıl Konum Belirleme	16
Şekil 7. İnsansız Hava Aracı Teknolojisi	20
Şekil 8. İHA 'ların Sınıflandırılması (Kabadayı ve Uysal, 2019 'dan değiştirilerek).....	21
Şekil 9. Anafi Parrot	22
Şekil 10. Anafi Parrot Kontrol Ünitesi	23
Şekil 11. İHA 'nın Çeşitli Alanlardaki Uygulamaları (Alladi vd. 2020)	24
Şekil 12. Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli.....	29
Şekil 13. Örnek Yer Kontrol Noktaları	30
Şekil 14. Havadan Görüntü Alımı İşlemi	30
Şekil 15. Uygulamaya Ait İş Akış Diyagramı.....	32
Şekil 16. Çalışma Sahasının Gösterimi	33
Şekil 17. Farklı Topoğrafik Yapılara Ayrılan Çalışma Sahası.....	34
Şekil 18. Yer Kontrol Noktalarının ve Test Noktalarının Tesisi ve Hava Fotoğraflarındaki Görünümü.....	35
Şekil 19. Yer Kontrol ve Test Noktaları.....	36
Şekil 20. Çalışmada Kullanılan GNSS Alıcısı	37
Şekil 21. Çalışma Sahası İçin Üretilen Uçuş Planlamaları.....	39
Şekil 22. Fotoğrafların Programa Yüklenmesi	41
Şekil 23. Fotoğrafların Hizalanması İşlemi.....	41
Şekil 24. Koordinat Sisteminin Tanımlanması İşlemi.....	42
Şekil 25. Yer Kontrol Noktalarının Programa Yüklenmesi	43
Şekil 26. Yoğun Nokta Bulutu Üretim İşlemi	44
Şekil 27. Çalışma Sahasının Nokta Bulutu.....	44

Şekil 28. Yüzey Ağı Oluşturma İşlemi.....	45
Şekil 29. Uygulama Sahasının Yüzey ağı Modeli ve Yer Kontrol Noktaları	46
Şekil 30. Yüzey Dokusu Oluşturma İşlemi	47
Şekil 31. Çalışma Sahasının Doku Görünümü	48
Şekil 32. Üçgen Model Oluşturma İşlemi	49
Şekil 33. Çalışma Sahasının Üçgen Model Görünümü	49
Şekil 34. Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma İşlemi	50
Şekil 35. Çalışma Sahasının Sayısal Yükseklik Modeli.....	51
Şekil 36. Ortomozaik Oluşturma İşlemi	52
Şekil 37. Çalışma Sahasının Ortomozaik Görüntüsü	53
Şekil 38. Kamera Konum Bilgileri ve Görüntü Bindirme Değerleri.....	54
Şekil 39. Kamera Kalibrasyon Gösterimi.....	55
Şekil 40. Kamera Konumları ve Hata Kestirimleri	57
Şekil 41. Yer Kontrol Noktalarının Konumları ve Hata Kestirimleri	58
Şekil 42. Çalışma Sahası Sınırları İçindeki Ağaç Yoğunluğunun Yüksek Olduğu Bölge ..	61
Şekil 43. Trimble Ölçüm Planlama Programı Veri Girişi Ekranı.....	61
Şekil 44. Trimble Ölçüm Planlama Programı Sonuç Ekranı.....	62
Şekil 45. İlk Üretilen Ortofoto Haritasındaki Açıklıklar ve Çözüm Sonrası Görünümü	63
Şekil 46. Test Noktalarındaki Hata Değerlerinin Topoğrafik Türlerine Göre Grafikselleştirimi	70
Şekil 47. Test Noktalarındaki Hata Değerlerinin Grafikselleştirimi	71

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Anafi Parrot Teknik Özellikleri (Parrot, 2018).....	23
Tablo 2. İHA'nın Kullanım Alanları (Pajares, 2015).....	25
Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Yer Kontrol ve Test Noktalarının Konum Bilgileri	37
Tablo 4. Topcon GR-5 Teknik Özellikleri	38
Tablo 5. Kamera ve Uçuş Bilgileri.....	55
Tablo 6. Kalibrasyon Katsayıları ve Korelasyon Matrisi	56
Tablo 7. Ortalama Kamera Konum Hataları	57
Tablo 8. Yer Kontrol Noktalarının Karesel Ortalama Hatalarının Toplam Değerleri.....	59
Tablo 9. Yer Kontrol Noktalarının Karesel Ortalama Hata Değerleri	59
Tablo 10. İşlem Parametreleri	60
Tablo 11. Test Noktalarında Hesaplanan Farklar.....	66
Tablo 12. Test Noktalarının Her Üç Bileşendeki Karesel Ortalama Hata Değerleri	67
Tablo 13. Farklı Topoğrafik Bölgelere Göre Test Noktalarının Her Üç Bileşendeki Karesel Ortalama Hata Değerleri	67

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Son yıllarda havacılık teknolojisinde meydana gelen gelişmeler, çok sayıda yeniliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu bağlamda insansız hava araçları (İHA), günümüzdeki en yenilikçi ve sürekli gelişmekte olan teknolojilerden biri olarak görülmektedir. Bu teknoloji, yapısında barındırdığı otonom sistemleri, motor teknolojileri, uzak mesafe veri aktarım sistemleri, çok yönlü gelişmiş sensörler sayesinde birçok amaca yönelik kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. İHA, tasarlanmış bir uçuş planına dayalı olarak otomatik ya da yarı otomatik bir şekilde hareket edebilen ya da yerdeki bir pilot tarafından uzaktan kumanda yardımıyla uçurulan bir araçtır (Yılmaz vd. 2018).

Son zamanlarda gereksinim duyulan konumsal verilerin üretilmesini amaç edinen metotlardan biri olan İnsansız hava araçları, haritacılık başta olmak üzere birçok mühendislik alanında giderek yaygınlaşan bir kullanım alanına sahiptir. İHA sistemine kıyasla pilot yardımcı haritalama sistemleri, yüksek rakımlı uçuş yüksekliğinden dolayı meydana gelen düşük çözünürlük ve yüksek maliyet nedenlerinden dolayı önemini yitiren bir sistem haline gelmiştir. Afet yönetimi, tarımsal ve ormancılık faaliyetleri, deformasyonların izlenmesi, kentlerin planlanması ve mimarisi gibi birçok mühendislik projelerinde ve bilimsel çalışmalarda (Buğday 2019; Tezcan vd. 2016; Ates 2020; Cömert vd. 2016; Önal 2016; Mırdan ve Yakar 2017; Kun ve Özcan 2019; Yılmaz vd. 2018; Tekin ve Tekir 2020) ihtiyaç duyulan doğruluğu karşılayabilen İHA sistemleri, kullanıcılara veri toplama ve bu verilerden çeşitli amaçlara yönelik harita üretimi yapabilme imkânı sunmaktadır (Gültekin 2016).

Ortofoto haritaları, İHA sisteminin kullanımı sonucu ortaya çıkan ürünlerden birisidir. Ortofoto, hava araçlarından çekilen görüntülerdeki sensör eksikliği ve arazi eğiminden kaynaklanan geometrik hataların giderilmesi sonucu üretilen içinde koordinat bilgisi barındıran harita türüdür. Bu haritalar gerek kamu kuruluşları gerekse özel sektör tarafından uygulanan çok sayıda projelerde altlık harita olarak kullanılabilmesi gibi birçok bilim dalında yapılan çalışmalara konumsal veri anlamında ışık tutmaktadır. Dolayısıyla ortofoto haritalarının yüksek çözünürlükte ve doğrulukta üretilmesi, birçok bilimsel çalışmaların veya projelerin daha sağlıklı ve verimli bir şekilde üretilmesine ışık tutacaktır.

Tez kapsamında çeşitli topolojik yapıları içeriğinde barındıran çalışma sahası için üretilen ortofoto haritasının doğruluğu irdelenmiştir. Bu bağlamda çalışma sahası içinde tesis edilen yer kontrol noktaları ve test noktalarının kullanımının yanında insansız hava aracı ile üretilen hava fotoğrafların işlenmesiyle ortofoto haritası elde edilmiştir. Ayrıca üretilen ortofoto haritasının yönetmeliğe uygunluğu incelenmiştir.

1.2. Literatür Taraması

İnsansız hava araçları kullanılarak ortofoto haritalarının üretilmesi ve bu haritalardaki doğruluk analizleri üzerine literatürde birbirinden farklı amaçlar için yapılmış birçok araştırma mevcuttur. Aşağıda farklı amaçlara yönelik yapılan bilimsel çalışmalardan bazı örnekler verilmiştir.

Karakış (2012), yaptığı çalışmada İHA üzerine yerleştirilen bir kamera ile büyük ölçekli harita yapım olanaklarını araştırmıştır.

Yılmaz vd. (2013), dijital kamera monte edilmiş insansız hava aracı yardımıyla elde ettikleri görüntüleri kullanarak ortofoto üretmişlerdir. Üretilen ortofoto haritasının konum doğruluğu yersel yöntemlerle ölçülmüş noktaları kullanarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler ortofoto haritasının yatay konum doğruluğunun cm seviyesinde olduğunu göstermiştir.

Döner vd. (2014), yaptıkları çalışmada insansız hava araçlarının sunduğu imkânların değerlendirilmesi ve sonuç ürünlerinin kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Yapılan çalışma insansız hava araçlarının kullanım amacına göre avantajlarının olduğu kadar dezavantajlarının da olduğu sonucuna varılmıştır.

Avdan vd. (2014), Eskişehir Şarhöyük Arkeolojik alanında yaptıkları çalışmada insansız hava aracı ile farklı yükseklikler ve farklı bindirme oranları kullanarak iki ayrı uçuş yapılmıştır. Uçuşlardan elde edilen görüntüler yardımıyla ortofoto haritası ve sayısal yüzey modeli üretmişlerdir. Üretilen ortofoto ve sayısal yüzey modelinin hassasiyetinin belirlenmesi için yersel yöntemler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda insansız hava araçlarının gerekli hassasiyeti sağladığı sonucuna varılmıştır.

Toprak (2014), hâlihazır harita üretimi, hacim hesabı gibi mühendislik uygulamalarında insansız hava aracı ile fotogrametri tekniklerinin bir arada kullanımı üzerine çalışma yapmıştır.

Ayyıldız vd. (2015), yaptıkları çalışmada Tapu Kadastro Genel Müdürlüğüne ait Oran Yerleşkesindeki 40 hektarlık alanda insansız hava aracı ile 387 adet fotoğraf çekmişlerdir. Elde ettikleri görüntüleri kullanarak bölgeye ait ortofoto haritası üretmişlerdir. Aynı bölgede yüksek çözünürlüklü dijital kameralı uçak ile elde ettikleri görüntüleri kullanarak ortofoto harita elde etmişler ve bu iki haritayı doğruluk, kullanılabilirlik, maliyet açısından kıyaslamışlardır. Çalışma sonucunda insansız hava aracının olumsuz hava şartlarından çabuk etkilendiği ancak küçük alanlarda harita üretiminde daha kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Çiçekli (2015), yaptığı çalışmada sayısal haritanın yükseklik doğruluğunu araştırmıştır. Jeodezik yöntemlerle elde ettiği yükseklik verilerini gerçek değer olarak almıştır. Daha sonra sayısal kamera yardımıyla elde ettiği görüntüler üzerinden otomatik olarak 2 ve 5 metre aralıklarla yükseklik değerleri toplamış, aynı alanın değerlerini operatör yardımıyla elle toplamıştır. Sonuç olarak elde ettiği yükseklik değerlerini karşılaştırdığında 5 metre aralıklarla elde ettiği verilerde standart sapma ± 19.96 cm, 2 metre aralıklarla elde ettiği verilerde standart sapma ± 16.38 cm olarak ölçülmüştür. Operatör yardımıyla elle elde edilen verilerde ise standart sapma ± 31.257 cm olarak ölçülmüştür.

Erdoğan (2016), çalışmasında insansız hava aracı ile Karayolu 3. Bölge Müdürlüğüne ait Konya çevre yolunda seçtiği belirli bir alanda uçuş sonrası görüntüler elde etmiştir. Bu görüntüleri kullanarak hâlihazır harita üretmiş ve 1/1000 ölçekli fotogrametri yöntemle elde edilen hâlihazır harita ile karşılaştırma yapmıştır. Bu iki harita üzerinde koridor genişliği 100 m olan 1250 taban kotuna sahip kazı ve dolgu hesabı yapmıştır. Çalışma sonucunda insansız hava aracının şeritvari harita üretiminde kullanıma uygun olduğunu görmüştür. Aynı zamanda nokta konum doğruluğunu araştırmak amacıyla oluşturduğu grid ağında doğruluğun yaklaşık 6 cm olduğu dolayısıyla büyük ölçekli harita yapım yönetmeliğine göre belirlenen hata sınırları içinde olduğu sonucuna varmıştır.

Gençerk (2016), yapılan çalışmada insansız hava aracı ile çekilen görüntülerin mühendislik projelerindeki kazı dolgu miktarının belirlenmesi üzerindeki kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışma için bölgenin 3 boyutlu modellemesi yapılmış ve ortofoto haritalar üretilmiştir. Aynı zamanda bu çalışmanın yanı sıra toprak hareketlerini belirlemek, bölgedeki çalışmalarını izlemek amacıyla da insansız hava aracı yardımıyla üretilen veriler ile fotogrametrik değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda insansız hava aracının zaman, hassasiyet ve elde edilen sonuç ürünleri bakımından avantajlı olduğu görülmüştür.

Gültekin vd. (2016), yaptıkları çalışmada döner kanatlı ve sabit kanatlı insansız hava araçlarının avantajlarını ve dezavantajlarını araştırmışlardır. Uygulama için iki farklı bölgede farklı uçuş yükseklikleri ve farklı bindirme oranları ile uçuşlar yapmışlardır. İlk çalışmada döner kanatlı insansız hava aracı kullanarak Tekirdağ ili Değirmenaltı mahallesine ait sokak modellemesi yapmışlardır. Ancak çalışma alanı için bir koordinat sistemi tanımlanmadığından fotogrametrik ya da vektör veri üretimi sağlanamamıştır. İkinci çalışmada ise sabit kanatlı insansız hava aracı yardımıyla İstanbul Şile ilçesi Soğullu köyüne ait ortofoto ve sayısal yüzey modeli üretilmiştir. Çalışma sonucunda döner kanatlı insansız hava aracının iniş ve kalkış için piste ihtiyaç duymadığı ancak rüzgârlı havalarda denge sorunu yaşadığı görülmüştür. Sabit kanatlı insansız hava aracının ise sistemsel olarak daha dayanıklı ve istikrarlı olduğu görülmüştür.

Gürbüz (2016), tezinde insansız hava aracı yardımıyla elde ettiği yüksek çözünürlüklü görüntüleri kullanarak ağaç tespiti yapmayı amaçlamıştır. Öncelikle elde ettiği görüntüleri kullanarak sayısal yüzey modeli ve ortofoto üretilmiştir. Çalışma bölgesini farklı niteliklere göre 4 alana ayırmış ve her bir alanda ağaçların nesne tabanlı segmentasyonu ve sınıflandırılması işlemini yapmıştır. Sınıflandırma işleminin ardından sayısal yükseklik modeli yardımıyla ağaçların otomatik olarak zirve noktasını belirlemiştir. Daha sonra manuel teknikle belirlediği ağaçların gerçek konumları ile otomatik teknikle belirlediği ağaç zirvelerini karşılaştırmış ve aralarındaki uzaklığı hesaplamıştır. Elde edilen hesaplamalara göre 1.test alanında %96, 2.test alanında %82, 3.test alanında %96 ve 4.test alanında %47 doğruluk sağlanmıştır. Bu sonuçlara göre ağaç yoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde ağaçların homojen dağıldığı alanlara göre doğruluk miktarının azaldığı anlaşılmıştır. Çalışma kullanılan yöntemin kentsel ve kırsal bölgelerde yüksek çözünürlüklü görüntüler yardımıyla otomatik ağaç tespitinin yapılabileceğini göstermiştir.

Ngadiman vd. (2016) insansız hava aracı kullanılarak ortofoto üretimini amaçlamışlardır. UTHM Pagoh kampüsü uygulama sahası olarak seçilmiştir. Uçuşlar DJI Phantom 4 Pro cihazıyla gerçekleştirilmiş, enine ve boyuna bindirme oranları sırasıyla %75 ve %60 olarak belirlenmiştir. Buna karşın uygulama sahasında bulunan ormanlık sahalarda bu oranlar sırasıyla %85 ve %70 olarak seçilmiştir. İnsansız hava aracından çekilen 461 fotoğraf, Pix4d ve Agisoft Photoscan programları kullanılarak 250458 m²'lik alanın sayısal yükseklik modeli ve ortofotosu üretilmiştir.

Sužiedelytė-Visockiene vd. (2016) bu çalışmada İHA uçuşları ile ilgili proje hesaplamalarının sonuçlarını ve saha testi uçuşları sırasında elde edilen karasal görüntülerin analizini sunmaktadır.

Kılıç vd. (2017), Isparta - Aksu bölgesinde insansız hava aracı ve hava kameralı uçak yardımıyla görüntüler elde ederek iki farklı platformun karşılaştırılması yapılmıştır. Hava kameralı uçağa ait görüntülerde yer örneklem aralığı 10 cm, insansız hava aracına ait görüntülerde ise yer örneklem aralığı 5 cm olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda her iki platformda elde edilen görüntülerin yükseklik farkları ve konumsal hassasiyet bakımından kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca insansız hava araçlarının hava kameralı uçağa nazaran daha ucuz, küçük alanlarda daha verimli ve hızlı olduğu sonucuna varılmıştır. Hava kameralı uçakların ise büyük alanlarda daha verimli ve daha az görüntü ile daha kontrollü iş sağladığı görülmüştür.

Özcan (2017), çalışmasında insansız hava aracı ile üretilen ortofoto haritaların üzerinde uçuş yüksekliğinin, topografyanın ve yüzeydeki nesnelerin konum doğruluğuna etkisini araştırmıştır. Aynı zamanda üretilen ortofoto haritaların konumsal duyarlılıklarını irdelemiştir. Elde edilen verileri arazi ölçmeleriyle karşılaştırmış doğruluk analizi yapmıştır. Düşeyde insansız hava aracı ve DGPS (Ayrımsal Küresel Konumlama Sistemi) yardımıyla yapılan ölçümleri kıyaslamıştır.

Stalin (2017) bu çalışmada insansız hava aracı yardımıyla uygulama sahasına ait uçuş görüntüleri çekilmiştir. Daha sonra elde edilen görüntüler Agisoft Photoscan ve Global Mapper programları yardımıyla işlenerek uygulama sahasının sayısal yükseklik modeli ve ortofotosu üretilmiştir. Ortaya çıkan bu ürünler kullanılarak uygulama sahasında hacim hesabı yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, İHA görüntülerinin yeterli doğrulukla hacim tahminini sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermiştir. Bu bağlamda, İHA' nın hacim hesaplaması için uygun maliyetli ve zaman alıcı bir teknoloji haline geldiğini kanıtlamıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar, sahadan elde edilen detaylarla eşleştiği görülmüştür.

Tercan (2017), yaptığı çalışmada sayısal arazi modelinin elde edilmesinde yersel ölçüm tekniklerinin maliyetli ve uzun süreli olduğu karayolu şehir merkezi geçişlerinde insansız hava aracının kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmasında GNSS - IMU destekli insansız hava aracı ve Structure From Motion (SFM) algoritmasını kullanmıştır. 700 metrelik karayolu hattının ortofoto görüntüsünü ve nokta bulutunu elde etmiştir. Elde ettiği nokta bulutuna filtreleme tekniklerini uygulayarak çıplak yeryüzünü elde etmiş ve sayısal arazi modeli oluşturmuştur. Ayrıca insansız hava aracının doğruluğunu kontrol etmek amacıyla yersel

ölçüm tekniklerinin kullanmıştır. Çalışma sonucunda insansız hava aracının sert yüzeylerde 3,96 cm, toprak zeminlerde ise 7,32 m cm düşey doğrulukta 3 boyutlu veri elde ettiği anlaşılmıştır. İnsansız hava aracının ortofoto ve sayısal arazi modeli üretiminde fotogrametrik teknikle ölçüme engel olmayan arazi şartlarında uygun kullanıma sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Konya vd. (2017), çalışmalarında Erzurum ili Tortum ilçesi Aksu köyü civarında fotogrametrik ve jeodezik teknikler yardımıyla iki ayrı sayısal yüzey modeli üretilmiştir. Üretilen sayısal yüzey modelleri zaman, maliyet ve doğruluk yönünden karşılaştırılmıştır.

Öztürk vd. (2017), İTÜ Ayazağa Kampüsünde yaptıkları çalışmada 60 m, 80 m ve 100 m yüksekliklerden uçuşlar yapıp 60 m ve 80 m yükseklikte 90°, 100 m yükseklikte 45°, 60° ve 90° kamera açılarıyla uçuşlar gerçekleştirilmiş ve yüksek çözünürlüklü görüntüler elde etmişlerdir. Farklı yüksekliklerde ve aynı yükseklikte farklı kamera açılarıyla elde ettikleri görüntülerinden üretilen ortofoto haritaları doğruluk bakımında irdelemişlerdir. Aynı zamanda jeodezik yöntemle tesis ettikleri yer kontrol noktaları yardımıyla ortofoto haritaların doğruluklarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kamera açısının düzgün belirlenmesinin yanı sıra görüntü alım zamanının da önemli olduğu görülmüştür.

Arif vd. (2018) insansız hava aracı sistemleriyle sayısal yükseklik modelinin üretimini ve elde edilen ürünün doğruluğunu hesaplamayı amaçlamışlardır. Yapılan uygulama neticesinde geniş alanlar için uzaktan algılama yöntemlerinin daha uygun olabileceği, daha küçük alanlar için ise İHA tekniğinin cm hassasiyetle sayısal yükseklik modeli üretimine olanak sağlayacağı gözlemlenmiştir. Ayrıca sayısal yükseklik modeli (sym) için önerilen uçuş yüksekliğinin maksimum 110 m olabileceği, daha yüksek irtifalı uçuşlardan elde edilen görüntülerden sym üretiminin sağlıklı olamayacağı tespit edilmiştir.

Çelik vd. (2019) uçuş yüksekliğinin üretilen sayısal yükseklik modeli ve ortofoto ürünlerine olan etkisini araştırmışlardır. Uygulama sahasında uçuş yükseklikleri 30 ve 50 m olacak şekilde iki farklı uçuş planı hazırlanarak uçuşlar gerçekleştirilmiştir. İki farklı uçuşlardan elde edilen farklı sayısal yükseklik modelleri ve ortofotolar çözünürlükleri açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre 50 m yükseklikten elde edilen görüntülerden üretilen verilere kıyasla 30 m' den elde edilen verilerin daha detaylı ve yüksek çözünürlüklü olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca test sahasının yapısına, uygulamadan beklenen doğruluk ve hassasiyete bağlı olarak uçuş yüksekliğinin belirlenmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Mokrane vd. (2019) İHA kullanılarak çekilen görüntülerden uygun maliyetli sayısal yükseklik modelleri üretmek için WebODM ve GRASS GIS gibi açık kaynaklı yazılımların

kullanımını incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda düşük maliyetle, zamandan tasarruf yapılarak ve minimum saha çalışması sonucu verilerin üretildiği tespit edilmiştir.

Idrees vd. (2020) yaptıkları çalışmada insansız hava aracı sistemini kullanmışlardır. Bu bağlamda öncelikle çalışma sahası (Duhok Barajı, Irak) üzerinde homojen bir şekilde dağılmış yer kontrol noktaları tesis edilmiş ve GNSS alıcıları yardımıyla bu noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Daha sonra çalışma sahasını da içine alacak şekilde yapılan uçuş planlamaları doğrultusunda %80 enine ve boyuna bindirme oranları dikkate alınarak 3 farklı uçuş yüksekliği (25, 50 ve 100 m) üzerinden uçuşlar gerçekleştirilmiştir. Farklı uçuş yüksekliğine sahip uçuşlardan elde edilen sayısal yükseklik modelleri dikkate alınarak çalışma sahasının hacim hesaplamaları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ışığında, % 99.86, %99.76 ve %99.74 doğruluk değerlerinin sırasıyla 25, 50 ve 100 m uçuş yükseklikleriyle uyumlu bir şekilde olduğu gözlemlenmiştir.

Aleshin vd. (2020) bu çalışmada İnsansız hava aracı kullanılarak elde edilen görüntülerden stereo fotogrametrik yöntemlerle yüksek hassasiyetli sayısal yükseklik modeli üretimini amaçlamışlardır. Bu amaç kapsamında öncelikle test bölgesinde referans ve kontrol noktalarından oluşan bir ağ tesis edilmiş ve elektronik uzaklık ölçer yardımıyla noktaların ölçüm işlemleri tamamlanmıştır. Daha sonra Phantom 4 Pro ticari insansız hava aracı yardımıyla uygulama bölgesi üzerinde uçuş işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fotoğraflar Agisoft PhotoScan programı yardımıyla fotogrametrik değerlendirme işlemine geçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre insansız hava aracından üretilen sayısal yükseklik modeli, geleneksel yöntemlerden üretilen sayısal yükseklik modelinden daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir.

Makineci vd. (2020) insansız hava aracı ile çekilen fotoğraflardan üretilen 3 boyutlu model ile arazide elde edilen gerçek verilerden üretilen 3B modelin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu karşılaştırmada SfM algoritma performansı, uçuş yüksekliği, bindirme oranı ve İHA türünün model üzerindeki etkileri araştırılmış ve önemli bulgular tespit edilmiştir. Buna ek olarak farklı uçuş yüksekliklerine sahip İHA'dan çekilen fotoğraflardan üretilen modeller ve farklı eğim türlerine sahip arazi yapıları da karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak 80 m uçuş yüksekliği ile 120 m uçuş yüksekliği arasındaki en büyük farkın 20 cm olduğu (Z değerinde) belirlenmiştir.

Tekin ve Tekir (2020) yaptıkları çalışmada 300 hektarlık test sahasında (Adıyaman Üniversitesi Merkez Kampüsü) 3.41 cm hassasiyetinde sayısal yükseklik modeli, ortofoto, yamaç eğimi ve yamaç yönelimi üretimini amaçlamışlardır. Üretilen verilerin CBS ile

entegrasyonu düşünülduğünde birçok mühendislik ve planlama disiplinlerinde önemli bir altlık veri oluşturacağı düşünülmektedir.

1.3. Problemin Tanımı

Günümüzde haritacılık faaliyetleri teknolojik yeniliklere paralel bir şekilde genişlemektedir. Büyüyen faaliyet alanlarında gerçekleştirilecek haritacılık çalışmaları için çeşitli kriterler dikkate alınmalı ve bu bağlamda en doğru yöntem belirlenmelidir.

İnsansız hava araçları, son yıllarda farklı amaçlar taşıyan birçok bilimsel çalışmalarda kullanılan teknolojik yeniliklerden birisidir. Çoğu mühendislik uygulamalarında olduğu gibi haritacılık faaliyetlerinde de kullanılan teknolojik aygıt, arazi yüzeyi üzerinde binlerce nokta bulutu edinimine olanak sağlamaktadır.

İnsansız hava aracı yardımıyla yerden belirli bir yükseklikte otomatik bir şekilde çekilen hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirme yazılımları yardımıyla işlenmesi ve arazinin binlerce nokta bulutu verisi üretilerek 3 boyutlu bir şekilde modellenmesi, giderek yaygınlaşan yüksek doğruluklu nokta edinim yöntemlerinden birisi haline gelmiştir.

Ayrıca bu yöntem, geleneksel ölçüm yöntemlerine kıyasla zaman, maliyet, hassasiyet ve iş gücü açısından oldukça avantajlı olup, çoğu bilimsel çalışmalarda bu yöntem sonucu elde edilen ürünlerin altlık harita olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir.

Bu bağlamda günümüzde çeşitli insansız hava araçları kullanılarak bünyesinde farklı topoğrafik özellikler barındıran arazi yapılarında çekilen hava fotoğraflarının fotogrametrik yazılımlar yardımıyla dengelenmesi sonucu üretilen nokta verilerinin doğruluğu büyük önem kazanmıştır. Bu nokta verilerinin yersel ölçümler yardımıyla doğruluklarının irdelenmesi, bu verilerden üretilen bilimsel çalışmaların daha kaliteli ve güvenilir ürünler ortaya koymasına ışık tutacaktır.

1.4. Çalışmanın Amacı

Tez kapsamında Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni kampüsünde yapılacak tüm konumsal planlama uygulamaları ve haritalama çalışmalarında altlık olarak kullanılmak üzere yerleşkenin bir bölgesine ait yüksek çözünürlüğe sahip ortofoto haritasının üretimi amaçlanmaktadır. Ayrıca uygulama sahası sınırları içinde farklı topoğrafik yapılarla göre gruplandırılan alanlarda üretilen ortofoto haritasının doğruluğu, gerçekleştirilecek GNSS

ölçüleriyle cm mertebesinde irdelenerek, yönetmelikte belirtilen standartlara uygunluğu incelenecektir.

1.5. Metodoloji

Yüksek lisans tezi kapsamında gerçekleştirilen uygulamada izlenen işlem adımları aşağıdaki gibidir.

- İHA yardımıyla üretilen ortofoto haritasının yapım aşamaları incelendi.
- Uygulama sahasına homojen bir şekilde dağılmış referans ve test noktalarının tesisi ve bu noktaların GNSS ölçüm teknikleriyle ölçüm işlemi gerçekleştirildi.
- Hazırlanan uçuş planı doğrultusunda İHA kullanılarak uçuş işlemleri gerçekleştirildi ve İHA'ya entegre edilen metrik kamera sayesinde uygulama sahasına ait fotoğraflar üretildi.
- Çekilen fotoğraflar, Pix4d ve Agisoft Professional Photoscan programları yardımıyla işlenerek uygulama sahasının ortofoto üretim işlemi tamamlandı.
- Uygulama sahası sınırları içinde topoğrafik ve karakteristik yapıları itibariyle 4 farklı bölge belirlendi.
- Üretilen ortofoto haritasının doğruluğu, belirlenen 4 farklı bölge için test noktaları dikkate alınarak analiz edildi.

2. UYDULARLA GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ

Global uydu konum belirleme sistemleri gerek sivil gerekse askeri çok sayıda alanda sıklıkla kullanılan navigasyon türlerinden biridir. Teknolojinin gelişimine paralel bir şekilde kullanıcılar tarafından bu sistemlerin günümüzde kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır.

2.1. GNSS Kavramı ve Genel Bilgiler

GNSS tekniği her türlü hava şartlarında ve dünyanın her yerinde, uydulardan alınan sinyaller vasıtasıyla küresel bir koordinat sistemine göre anlık ve yüksek hassasiyette konum, hız ve zaman parametrelerinin belirlenmesini sağlayan bir navigasyon sistemidir (Yıldız ve Kahveci, 2010; Koca ve Ceylan 2018).

2.2. Global Konum Belirleme Sistemleri

Uydularla global konum belirleme sistemleri günümüzde birbirinden farklı çok sayıda alanda sıklıkla kullanılmakta ve teknolojik yeniliklere paralel olarak giderek yaygınlaşmaktadır. Bu sistemlerin bazı kullanım alanları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir. Bu sistemler;

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonunda,
- Arama – kurtarma işlemlerinde,
- Askeri ve sivil hedef tespit etme,
- Uçakların otokontrol sistemlerinde,
- Jeodezik, jeofizik, jeolojik ölçüm uygulamalarında,
- Kadastral çalışmalarda,
- GNSS tabanlı fotogrametrik uygulamalarda,
- Deformasyonların izlenmesi ve tespitinde,
- Araç takip sistemlerinde,
- Gerçek zamanlı TUSAGA – Aktif ağlarının işleyişinde kullanılmaktadır.

Günümüzde konum, hız ve zaman parametrelerinin belirlenmesini amaçlayan başlıca uydu konum belirleme sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır.

- GPS (ABD)
- GLONASS (RUSYA)
- BEIDOU/COMPASS (ÇİN)
- QZSS (JAPONYA)
- IRNSS/GAGAN (HİNDİSTAN)
- GALILEO (AVRUPA BİRLİĞİ)

2.2.1. Global Positioning System (GPS)

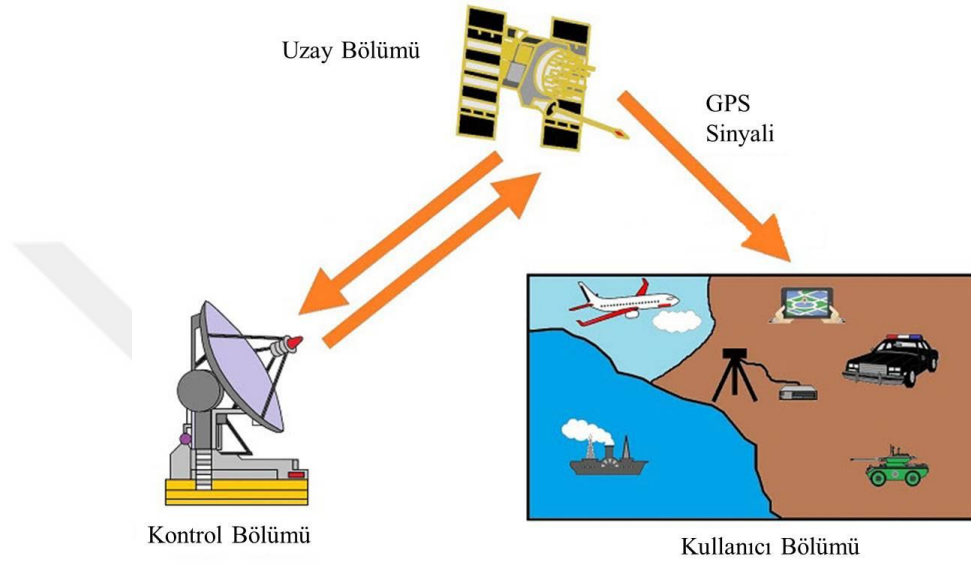
Amerika Birleşik Devletleri Savunma Bakanlığı tarafından askeri kullanım amacıyla geliştirilen NAVSTAR Global Positioning System (GPS) ilk küresel navigasyon uydu sistemidir. 1980’li yıllarda sivil halkın kullanımına açılan bu sistem bünyesinde 31 adet opsiyonel uydu bulunmaktadır (Şekil 1.).



Şekil 1. GPS Sistemi

GPS sistemi; uzay bölümü, kontrol bölümü ve GNSS alıcılarının bulunduğu kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 2.). Uzay bölümü, ekvator ile 55 derecelik açı yapan, yeryüzünden yaklaşık 20000 km mesafedeki 6 yörüngeye yerleştirilen uydu sistemlerini kapsamaktadır. Kontrol bölümü, ana kontrol istasyonu, kontrol istasyonları ve izleme istasyonlarından meydana gelmektedir. Bu istasyonlar dünya üzerinde homojen bir şekilde dağılmış ve yapısında hassas atomik saatlerle donatılmıştır. Kullanıcı bölümü ise GNSS alıcısı yardımıyla konum bilgisi temin etmek isteyen askeri ve sivil amaçlara yönelik kullanıcılardan meydana gelmektedir (Gezgin 2020).

Gerçek zamanlı bir şekilde bir noktanın 3D konumunun alıcılar tarafından hassas bir şekilde belirlenebilmesi için en az dört veya daha fazla uydudan sinyal almalıdır. Çünkü 3 uydu alıcı konumunun tespit edilmesinde, 1 uydu ise uydu alıcı saat farkının giderilmesinde gerek duyulmaktadır. Bu prensiple yeryüzündeki herhangi bir alıcının anlık bir şekilde konumu tespit edilmektedir (Ersoy 1997; Gezgin 2020).



Şekil 2. GPS Bölümleri

2.2.2. Diğer Uydu Sistemleri

GLONASS uydu sistemi, GPS uydu sisteminden sonra ortaya çıkan, Rusya tarafından geliştirilen navigasyon sistemidir. Toplamda 24 operasyonel uyduya sahip sistem, 2. büyük küresel navigasyon sistemidir.

GALILEO küresel navigasyon sistemi, Avrupa Uzay Ajansı ve Avrupa Komisyonu tarafından geliştirilmiştir. Gelecekte yeni tip uydular eklenerek faaliyete başlanması planlanmaktadır.

Çin Halk Cumhuriyeti, küreselleşme planları doğrultusunda diğer küresel navigasyon sistemleri ile uyumlu bir şekilde çalışabilecek bir navigasyon sistemi geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu kapsamda COMPASS uydu sisteminin kurulumuna 2000 yılında başlanmıştır. Günümüzde şimdilik ulusal olarak hizmet verebilen bu navigasyon sistemi ilerleyen yıllarda küresel olarak hizmet sunması amaçlanmaktadır.

Japonya Uzay Araştırma Ajansı tarafından geliştirilen Quasi-Zenith navigasyon uydu sistemi, Okyanusya ve Doğu Asya bölgelerini kapsayacak bir genişlikte faaliyetini sürdürmektedir.

IRNSS uydu navigasyon sistemi ise Hindistan Uzay Araştırma Kurumu tarafından geliştirilen yalnızca Hindistan ve çevresini içine alan yerel bir uydu navigasyon sistemidir.

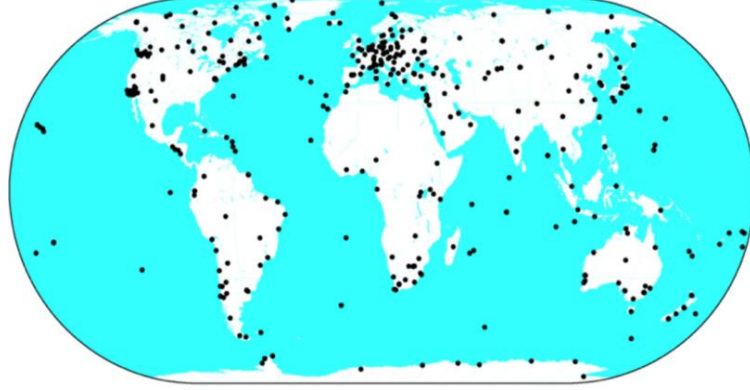
2.3. GNSS Ağları

Yeryüzünde herhangi bir noktanın konumunu anlık ya da post process ile hesaplanmasına olanak sağlayan, atmosferik (iyonosfer, troposfer) ve saat düzeltmelerini, uydu yörünge bilgilerini sağlayan çok sayıda ağ bulunmaktadır. Bu ağlara küresel anlamda kullanılabilen IGS ve Türkiye de post-process ile nokta konumunun belirlenmesini sağlayan, yerel olarak kullanılabilen Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) ile gerek post-process gerekse anlık olarak nokta konumunun belirlenmesini sağlayan Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif) ağları örnek olarak gösterilebilir.

2.3.1. Uluslararası GNSS Servisi

IGS yüksek kaliteye sahip GNSS verilerini ve ürünlerini yayınlayan açık erişime sahip bir servistir (Şekil 3.). Bu sistem tarafından yayınlanan veriler birçok uygulamada kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. IGS'den yayınlanan verilerden elde edilen ürünler;

- GNSS uydu efemeris bilgileri,
- Yer merkezli dönüklük parametreleri,
- Küresel olarak izlenen kontrol istasyonlarının koordinat ve hız bileşenleri,
- Uydu ve kontrol istasyonlarının saat bilgileri,
- Troposferik ve iyonosferik düzeltmelerin modellenmesi şeklinde sınıflandırılmaktadır (Bülbül 2018).



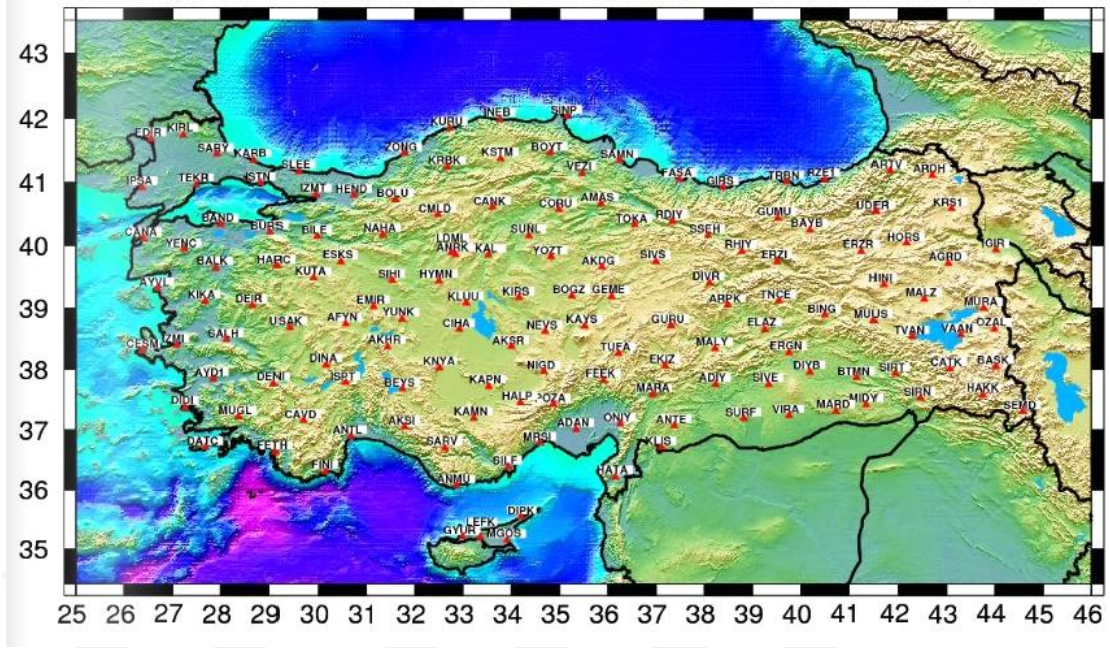
Şekil 3. IGS İstasyonlarının Dünyadaki Dağılımı

2.3.2. Tusaga – Aktif (CORS-TR) Ağı

TUSAGA-Aktif sistemi, Ağ-RTK prensibine uygun bir şekilde çalışan, İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) koordinatörlüğünde ve kurumsal katılımcı olarak Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) tarafından, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) desteği ile 2009 yılında faaliyete başlayan bir ağ türüdür (Bülbül 2018). Bu ağ sistemi çok sayıda farklı taleplere karşılık vermesi adına tasarlanmış olup, belirgin amaçları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Türkiye de gerek anlık gerekse post process bir şekilde 7 gün 24 saat anlayışı ile hassas konum doğruluğunda koordinat bilgisi sunmaktadır.
- Türkiye'nin de içinde bulunduğu orta enlemdeki atmosferin (iyonosfer ve troposfer) modellenmesine katkı sağlamakta ve daha güçlü hava tahmin raporlarına ışık tutmaktadır.
- Plaka ve tektonik hareketlerin hassas ve düzenli bir şekilde izlenmesine, deformasyon ölçümlerinde cm altı seviyesinde verilerin üretilmesine olanak sağlamaktadır.

TUSAGA-Aktif sistemi kapsamında ülkemiz ve KKTC genelinde 159 adet Sabit GNSS İstasyonu ile TKGM ve HGM'de olmak üzere 2 adet Kontrol Merkezi bulunmaktadır (Şekil 4.). Bu istasyonlar arası uzunluklar 80-100 km arasında değişkenlik göstermektedir (Bülbül 2018).



Şekil 4. TUSAGA - Aktif İstasyonları

2.4. Konum Belirleme Yöntemleri

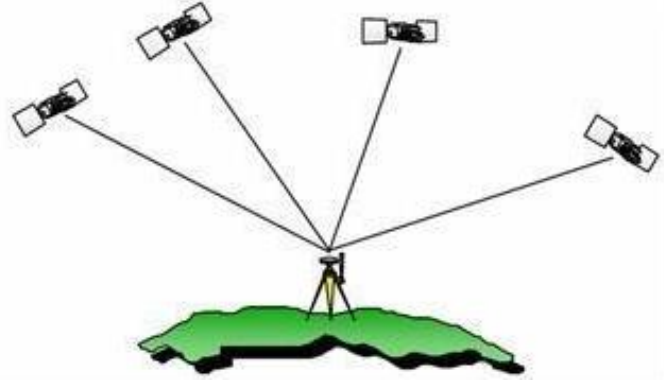
Konum belirleme yönteminin temel çalışma prensibi kabaca uzay geriden kestirme problemi olarak ifade edilmektedir. Konum belirleme uygulaması iki farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

Bunlar;

- Mutlak Konum Belirleme,
- Bağıl Konum Belirleme yöntemleridir.

2.4.1. Mutlak Konum Belirleme

Bu yöntemde tek bir alıcı ile en az 4 farklı uyduya yapılan kod gözlemleri sayesinde, üstünde alıcı kurulu söz konusu noktanın koordinat verileri hesaplanmaktadır. Mutlak konum belirleme yönteminin çalışma prensibi, sinyalin uydudan çıkışından alıcı ünitesine varışına kadarki geçen sürenin ışık hızı ile çarpılarak uydu ile alıcı arasındaki uzunlukların hesaplanması ve uyduların bilinen anlık konum bilgileri yardımıyla uzay tabanlı geriden kestirme esasına dayanmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hastaoğlu 2009) (Şekil 5.).



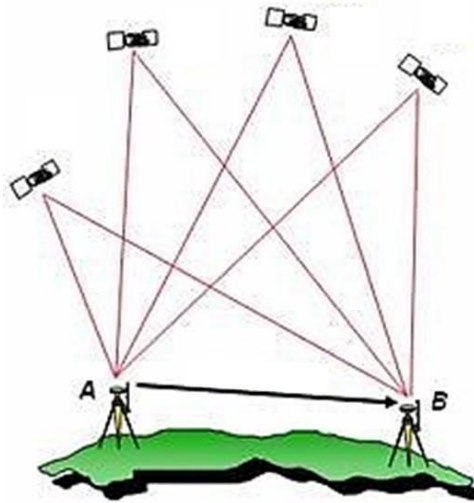
Şekil 5. Mutlak Konum Belirleme

2.4.2. Bağlı Konum Belirleme

Bu yöntem, koordinatları bilinen bir noktaya dayalı olarak diğer nokta veya noktaların koordinatlarının hesaplanması ilkesine dayanmaktadır. Bağlı konum belirleme yönteminde iki ayrı noktaya kurulmuş iki alıcının aynı uydulara eş zamanlı kod veya faz gözlemleri yapılmaktadır. Bu yöntemde elde edilen doğruluk 0.001 ile 100 ppm arasında değişkenlik göstermektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hastaoğlu 2009).

Kod ölçümlerine kıyasla faz ölçümleri daha duyarlı sonuçlar ürettiği için bilimsel araştırmalarda ya da mühendislik uygulamalarında tercih edilmektedir.

Bağlı konum belirleme yönteminde ki temel düşünce, bilinmeyen bir noktaya ait koordinat bilgilerini, çalışmalarda sabit olarak belirlenen bir noktaya göre elde etmektir. Diğer bir ifadeyle şekilde verildiği üzere A ve B noktalarının arasındaki baz vektörünün hesaplanması amaçlanmaktadır (Şekil 6.).



Şekil 6. Bağlı Konum Belirleme

Bağıl konum belirleme yöntemi genel olarak 4 farklı gruba ayrılır. Bunlar;

- Statik ölçü yöntemi,
- Hızlı statik ölçü yöntemi,
- Tekrarlı ölçü yöntemi,
- Kinematik ölçü yöntemidir.

2.4.2.1. Statik Ölçü Yöntemi

Statik konum belirleme yöntemi jeodezik çalışmalarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemdeki gözlem süresi; baz uzaklığı, gözlenen toplam uydu sayısı, uyduların geometrik dağılımları bağlı olarak belirlenmektedir. Bu ölçü yönteminin doğruluğu, baz uzunluğu ile doğrudan ilişkili olup, 100 km'den daha uzun bazlardaki doğruluk değeri 1-0.1 ppm arasında değişkenlik göstermektedir. Buna ek olarak statik ölçü yönteminin doğruluğunu etkileyen diğer parametreler ise GNSS alıcısı ve değerlendirme yazılımı türleridir.

Genel olarak bu ölçme yöntemi; ülke veya lokal bazlı kontrol ölçümlerinde, deformasyonların izlenmesinde, sınır ölçümlerinde kullanılmaktadır (Hofmann-Wellenhof vd. 2001; Hastaoğlu 2009).

2.4.2.2. Hızlı Statik Ölçü Yöntemi

Bu ölçü yöntemi klasik statik ölçü yöntemine benzemekle birlikte sadece alıcı gözlem süresi ve baz uzunlukları daha kısa uygulanmaktadır. Ayrıca hızlı statik ölçü yönteminde ilgili ağın optimum bir geometriye sahip olması ve sinyaldeki çok yolluluk gibi etkilerin minimum olması beklenmektedir (Rizos 1999).

Bu teknik ile cm seviyesinde doğruluk elde edebilmek için ölçü ağının 20 km ile sınırlı olması gerekmektedir (Hofmann vd. 2001).

2.4.2.3. Tekrarlı Ölçü Yöntemi

Bu ölçü yöntemi genel olarak statik ve kinematik ölçü yöntemleri arasında bir teknik olduğu düşünülebilir. Tekrarlı ölçü yöntemi ile statik ölçü yöntemine göre daha fazla kinematik ölçü yöntemine göre ise daha az nokta verisi üretilebilmektedir.

Bu yöntemde beş dakika süresince bir çift noktada ölçüm yapılır, diğer noktalara devam edilir ve en sonunda başlangıç ölçüsünden yaklaşık bir saat sonra ilk nokta çiftine tekrar dönülerek 5 dakikalık bir ölçüm daha gerçekleştirilir. Tekrarlı ölçü yöntemiyle cm altı doğruluk elde edilmektedir. Bunun nedeni de ölçüm işlemlerinde başlangıç ve bitiş arasında geçen zaman içinde uydu geometrisinde meydana gelen değişikliklerden dolayı doğruluk yüksek seviyelere ulaşabilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001; Bilgen 2017).

2.4.2.4. Dur – Git Ölçü Yöntemi

Ağdaki ölçü noktalarının birbirine çok yakın olduğu durumlarda kullanılan bir ölçü yöntemidir. Bu yöntemde göre koordinatı bilinen bir noktanın üzerinde sürekli veya sabit bir şekilde gözlem yapan bir alıcı ile herhangi bir noktaya kurulan ikinci bir alıcı bulunmaktadır. Birinci noktanın üzerinde, hızlı statik ölçü yönteminde olduğu gibi faz başlangıç belirsizliğinin çözülme zorunluluğu bulunmasından kaynaklı birkaç dakikalık ölçümler yapılır. Başlangıç faz belirsizliğinin çözümü için yeterli veri toplanmasından sonra ikinci alıcının uydulara olan gözlemlerine devam edilerek diğer noktalar birkaç epokluk ölçülerle dolaşılır (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hastaoğlu 2009).

2.4.2.5. Kinematik Ölçü Yöntemi

Bu ölçü yönteminde daha önce tasarlanan bir güzergâh üzerindeki tüm noktaların konumları belirli zaman aralıkları ile ölçülmektedir. Böylece kısa zaman içinde çok sayıda noktanın konum bilgileri elde edilmektedir. Bu yöntemde, alıcılardan biri koordinatları bilinen referans istasyonunda sürekli bir şekilde gözlem yaparken diğer gezici alıcılar ise gerçek zamanlı bir şekilde anlık ya da birkaç epokluk gözlemler gerçekleştirirler. Elde edilen ölçü verilerinin değerlendirilmesi işleminde tüm veriler birlikte analiz edilerek, referans istasyonundan yeni noktalara olan baz vektörleri hesaplanır. Bu ölçü yönteminin doğruluğu hesaplamalardaki kodların ve taşıyıcı fazların kullanımına göre değişkenlik göstermektedir. Günümüzde bu ölçüm tekniği kullanılarak yapılan uygulamalarda 1 – 2 cm + 1 ppm doğrulukta sonuç verileri üretilebilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2001; Hastaoğlu 2009; Hoffmann–Wellenhof vd. 2008).

Kinematik ölçü yöntemi 2 türdür. Bunlardan ilki postprocess (sonradan değerlendirme) diğeri ise gerçek zamanlı kinematik yöntem (Real Time Kinematic – RTK) olarak bilinir.

Arazide elde edilen ölçülerin büro ortamında değerlendirilmesi işlemi, gerçek zamanlı konum belirleme yöntemine göre daha avantajlıdır. Çünkü büro ortamında sonradan değerlendirme işlemi yapmadan önce araziden elde edilen verilerin kalite kontrol olanağı mümkündür. Alıcı içinde mevcut olan RTK yazılımlarına kıyasla büro ortamında kullanılan yazılımlar çok daha ileri düzeltme ve hata modelleri ile dengeleme algoritmaları kullanılabilmektedir. Ayrıca büro ortamında ara işlemlerin herhangi birinde yapılan hataların düzeltilmesi mümkün olup, ilgili verilere erişim oldukça kolaydır. Aynı durum RTK yönteminde ise uygulanabilir değildir.

Gerçek zamanlı kinematik ölçü yöntemi bir diğer ölçüm yöntemidir. Bu yöntem Klasik RTK ve Ağ RTK olmak üzere ikiye ayrılır. Klasik RTK tekniğinde gerek referans gerekse gezici istasyonlarda çift frekanslı GNSS alıcıları kullanılmaktadır. Bu tekniğe göre referans istasyonunda hesaplanan düzeltme verileri belli bir format yapısı korunarak gezen alıcıya gönderilmektedir. Böylece alıcıya ulaşan düzeltme bilgileri yardımıyla gezicinin hassas konum bilgisi hesaplanır. Ağ RTK tekniğinde ise tek bir referans istasyonu kullanma zorunluluğu ortadan kaldırılmıştır. Bu bağlamda çok sayıda referans istasyonuna ait verilerden yararlanılarak gezicinin cm doğruluğunda gerçek zamanlı konumu hesaplanmaktadır. Ağ RTK'nın Klasik RTK'ya göre bir takım avantajları bulunmaktadır. Bunlardan en önemlisi; Ağ RTK ile nokta koordinat bilgileri anlamlı ve homojen bir koordinat sisteminde hesaplanmakta, yüksek doğrulukta sonuçlar elde edilmekte ve tüm ağ için hesaplanan atmosferik model yardımıyla hassas konumlama için gerekli düzeltmeler çeşitli enterpolasyon yöntemleriyle ile hesaplanabilmektedir (Kahveci, 2009; İnal vd. 2014).

Ağ RTK tekniğinin günümüzde en çok kullanıldığı sistem TUSAGA – Aktif sistemidir. TUSAGA-Aktif sisteminde, tüm ülkeyi kaplayan koordinatları bilinen referans istasyonlara yerleştirilen GNSS alıcılarının gözlemleri, bir kontrol merkezine VPN veya GPRS/EDGE sistemi yardımıyla iletilmekte; kontrol merkezinde atmosfer ve diğer hatalar modellenerek RTK/DGPS düzeltmeleri gerçek zamanda hesaplanıp, RTCM formatında GPRS/EDGE sistemi üzerinden konumlama amacı için gezici GNSS alıcılarına gönderilmektedir (Yıldırım vd. 2011).

Tez kapsamında uygulama sahasında gerek yer kontrol noktalarının gerekse test noktalarının yersel ölçümleri 1 adet GNSS alıcısı yardımıyla TUSAGA - Aktif İstasyonlarından gelen düzeltme verileri kullanılarak CORS Tekniği ile ölçülmüştür.

3. İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

İnsansız hava aracı, uçuş öncesi planlamaya bağlı olarak otonom uçuş gerçekleştiren veya uçuşun tamamı ya da bir kısmı platform ile fiziki bir bağlantı olmadan kullanıcı tarafından kontrol edilebilen ve tekrar kullanılabilen araçlardır. Bu sistemler ilk olarak askeri amaçlara hizmet etmek için tasarlanmış olup, bünyesinde hafif dijital kameralar barındırmaktadır. Yapısına entegre edilen dijital kameralar sayesinde insansız hava araçları fotogrametrik amaçlı hava görüntülerinin üretilmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 7.).



Şekil 7. İnsansız Hava Aracı Teknolojisi

3.1. İnsansız Hava Araçlarının Tarihçesi

İnsansız hava aracı sistemleri, 19'uncu yüzyılın ortalarında ilk uçağın üretimiyle başlamış, teknolojinin gelişimine paralel bir şekilde askeri operasyonlarda pilot kayıplarını azaltmak, keşif ve istihbaratı kolaylaştırmak amacıyla pilotsuz araçlar üretilmeye çalışılmıştır.

İnsansız hava aracının sivil kullanımı ise II. Dünya Savaşından sonra gelişim göstermiş, NASA tarafından yürütülen bilimsel çalışmalar sonucunda giderek hızlı bir ivme kazanmıştır.

Gelişen teknoloji ile birlikte sürekli gelişim kaydeden ve kullanımı birçok alanda yaygın hale gelen insansız hava araçları sistemleri, orta ve büyük ölçekli projelerde geleneksel yöntemlere kıyasla optimum sürede, maliyet ve iş gücü açısından olumlu sonuçlar gösteren teknolojik bir ürün olarak ortaya çıkmıştır.

3.2. İnsansız Hava Araçlarının Sınıflandırılması

Ülkemizde askeri amaçlar doğrultusunda kullanımına başlanan ve sivil kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan insansız hava araçlarına ilişkin yasal bir düzenleme gereksinimi doğmuştur. Bu bağlamda gerekli düzenlemeler, Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü (SHGM) tarafından yapılmıştır ve gün geçtikçe geliştirilmektedir. Bu yasalar, ülkemizdeki insansız hava araçlarının kullanımını, kullanım alanlarını, teknik açıdan çeşitliliğini, uçuşlar ile ilgili izinleri ve bu işlerde görevli bireylerin sorumluluklarını kapsamaktadır.

Ayrıca söz konusu kanunda; insansız hava araçlarının satışı, tescil edilmesi, uçuşa elverişli ortamın sağlanması, operatörlük yapacak personelin sahip olması gereken nitelikleri, hava trafik akışları ve uygulama operasyonlarına ilişkin gerekçe ve detaylar açıkça belirtilmiştir. Bunun yanında insansız hava araçları, çeşitli faktörler dikkate alınarak yasada farklı sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflar aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 8.).

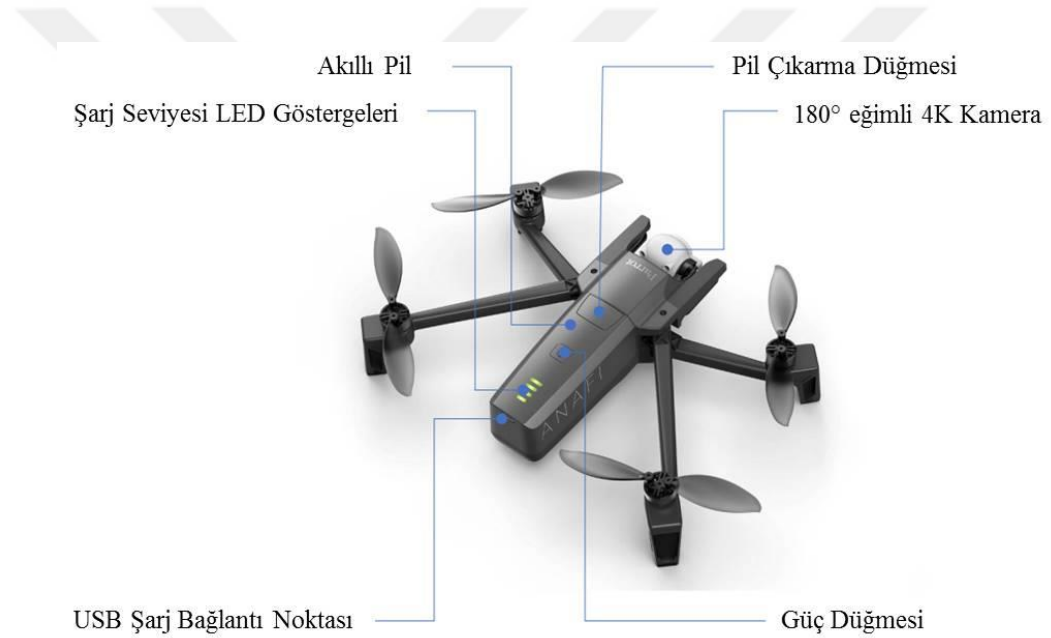


Şekil 8. İHA'ların Sınıflandırılması (Kabadayı ve Uysal, 2019 'dan değiştirilerek)

3.3. İnsansız Hava Araçlarının Ana Bileşenleri

İnsansız hava araçları genel olarak yazılım ve donanım bileşenlerinden oluşmaktadır. Günümüzde bu sistemlerin üretimi için mekanik ve elektronik donanımlar kullanılmaktadır. Gövde yapısı, elektronik malzemeler, motor ve pervaneler ve uçuş planının organize edilmesi için gerekli yazılımlar, bu bileşenlerden bazılarıdır.

Tez kapsamında çalışma sahasının ortofoto haritasının üretimi için gerçekleştirilen uçuşlarda Anafi Parrot marka insansız hava aracı kullanılmıştır. Bu aracın tasarımı ve kontrol ünitesinin yapısı aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 9 ve 10). Ayrıca cihazın teknik bilgileri Tablo 1’de özetlenmiştir.



Şekil 9. Anafi Parrot



Şekil 10. Anafi Parrot Kontrol Ünitesi

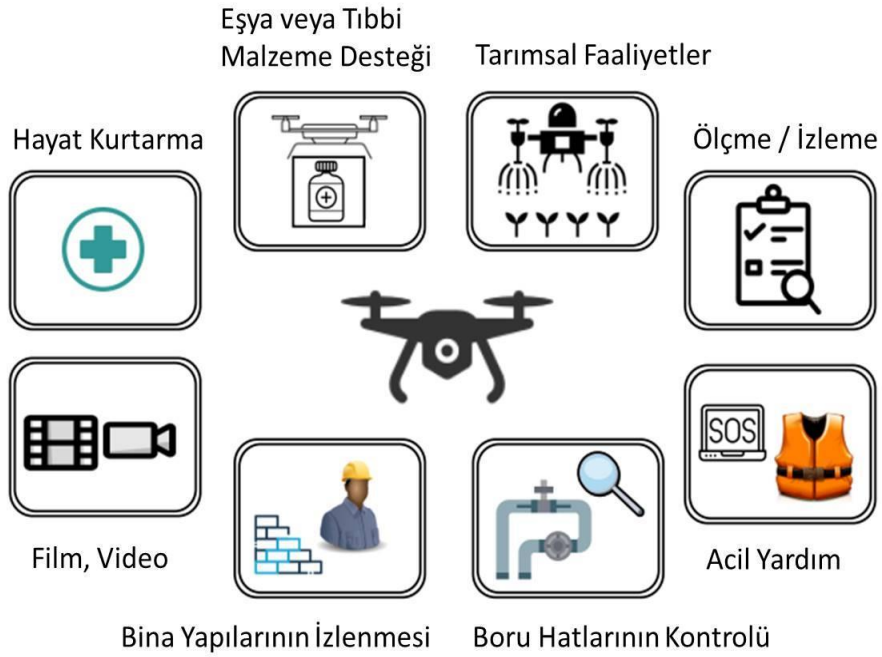
Tablo 1. Anafi Parrot Teknik Özellikleri (Parrot, 2018)

Özellik	Değer
Ağırlığı	320 g
Kumanda Ağırlığı	386 g
Batarya Ağırlığı	126 g
Batarya Sayısı	4
Uçuş Süresi	25 dak.
Azami Yatay Hız	15.2 m/s
Azami Dikey Hız	4 m/s
Azami Rüzgâr Direnci	13.9 m/s
Azami Uzaklık	4000 m
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-10 – 40 C°

Günümüzde söz konusu Anafi Parrot marka insansız hava aracı birçok mühendislik projelerinde ve bilimsel araştırmalarda kullanılmaya başlanmış ve üründen elde edilen veriler çok sayıda problemin çözümüne ışık tutmuştur (Costantino vd. 2019; Palestini ve Basso 2019; Alptekin vd. 2019).

3.4. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları

İnsansız hava aracı tarafından üretilen verilerin işlenmesi ve bu verilerden çok yönlü analizlerin yapılması için ticari ve açık kaynak kodlu yazılımlar geliştirilmiştir. Tüm bu gelişmeler, İHA'ların kullanım alanlarını ve faaliyetlerini arttırmaktadır (Şekil 11.). Bu bağlamda resmi ve sivil kuruluşlar tarafından yürütölen İHA faaliyetleri pek çok alanda önem kazanmıştır. Pajares (2015) tarafından yapılan çalışmada çeşitli alanlarda İHA kullanılarak üretilebilecek alt uygulama türlerinden bahsedilmiştir. Söz konusu çalışmaya göre İHA'nın kullanım alanları aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 2.).



Şekil 11. İHA'nın Çeşitli Alanlardaki Uygulamaları (Alladi vd. 2020)

Tablo 2. İHA'nın Kullanım Alanları (Pajares, 2015)

Uygulama Alanı	Uygulama Türü
Tarım ve Ormancılık	Ürünler ve Yabani Otlar Ağaçlar Ormanlar Toprak Bitki Örtüsü Bitki Örtüsü Gelişimi
Fotogrametri	Sayısal Yükseklik Modeli ve 3B Haritalama Ortomozaik, Orto ve Rektifikasyon Ölçümler Kadastral Uygulamalar
Afet İzleme	Kasırga, Tayfun ve Hortum Depremler, Yangın, Nükleer Sızıntı, Atık Tespiti Sel, Çığ, Heyelan Salgın Hastalıklar
İnsani Yardım	Yerelleştirme, Kurtarma, Yardım
Gözetim	Hedef Tespiti, İzleme
Çevresel İzleme	Volkanik Araştırmalar Toprak, Su Ortamı, Drenaj Kırsal Yollar, jeoöjik altyapılar
Atmosferik	Gözlem Hava Kirliliği ve Analizi
Kültürel	Tarihi Alanların Korunması Arkeolojik Çalışmalar
Yabani Hayat	Fauna ve Flora
Kentsel Alanlar	Gözlem, İzleme, Yol Bilgisi, Kent Bilgisi Bina – Cephe Analizi Kentsel Arazi Kullanımı

3.4.1. İnsansız Hava Araçlarının Haritacılık Faaliyetlerindeki Kullanımı

Günümüzde İHA; yerleşim bölgelerinde sayısal yükseklik modellerinin ve ortofoto haritalarının üretilmesinde, barajların, maden sahalarının, taş ocaklarının ve afet bölgelerinin haritalanmasında, kübaj hesaplamalarında, arazilerin çok yönlü sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte insansız hava araçları, konum hassasiyetini

minimum seviyelere indirgeyebilmek için ek donanımlar ve yazılımlar ile desteklenmiştir. Bu bağlamda özel kamera sistemleri, farklı amaçlara yönelik algılayıcı sistemler, LİDAR sistemleri gibi teknolojik eklentiler İHA'ya entegre bir şekilde kullanılmakta, böylece bu sistemin faaliyet alanları gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

3.5. İnsansız Hava Araçlarının Avantaj ve Dezavantajları

Düşük maliyetle üretilebilen çeşitli algılayıcılar, kamera sistemleri ve yazılımlar sayesinde uzaktan kontrol edilebilen İHA'ların kullanımı giderek artmaktadır. GPS alıcıları, işlemci sistemleri, jiroskoplar, sensör ve haberleşme ekipmanları yardımıyla yüksek çözünürlüğü sahip konumsal veriler üretebilme kabiliyeti İHA sistemini yaygın hale getirmiştir. Bu sistemin geleneksel diğer fotogrametrik platformlara kıyasla avantajları aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- İHA'ların insanların ulaşması mümkün olmayan veya tehlikeli olan bölgelerde gerçek zamanlı veri üretimi yapabilecek özelliklere sahip olması
- Fotogrametrik amaçlı pilot destekli uçaklar bulutların yoğun olduğu havalarda, net görüntü alma imkânı bulunmadığı için uçuş işlemi gerçekleştiremezler. Buna karşın İHA düşük uçuş yüksekliğinden dolayı kapalı havalarda bile yüksek çözünürlüklü fotoğraflar üretebilme kabiliyetine sahiptir.
- Diğer yöntemlere kıyasla işgücü ve maliyet açısından oldukça kullanışlı ve tercih edilebilir bir sistemdir.
- İHA kullanılarak elde edilen ürünler, oldukça yüksek çözünürlüğe ve konum doğruluğuna sahiptir.
- İHA sistemi sayesinde büyük alanlara sahip arazilerde yapılan uygulamalar, kısa zamanda sonuç verebilmekte, hızlı veri üretimi sağlanabilmektedir.
- Dikey yöndeki iniş ve kalkış özelliğinden dolayı bir piste ihtiyaç duyulmaması
- Kullanıcının istenen ürün doğruluğunu önceden kontrol ederek, karşılaşılabilecek sorunların önüne geçilmesi (Eisenbeiss, 2009).

Buna karşın bu sistemlerin birtakım dezavantajları da bulunmaktadır.

- Hava saldırıları ve savunma sistemlerine karşı korunmasızdırlar.
- Rüzgâr hızının arttığı, toz bulutunun oluştuğu veya yağmurlu havalarda sistem yeterli verimlilikte çalışmamaktadır.

- İHA sistemleri sınırlı seviyede yük taşıyabildiklerinden dolayı büyük alanlı uygulamalarda yetersiz kalmaktadır.
- Batarya kapasitelerinden dolayı havada kalma süreleri yeterince uzun değildir (Cömert vd. 2012).



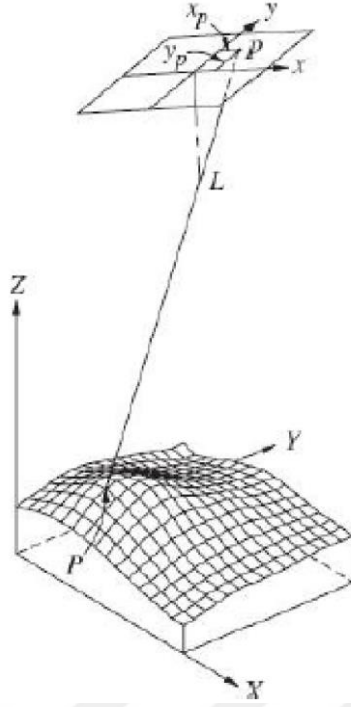
4. ORTOFOTO

Hava fotoğraflarından üretilen çizgisel ya da sayısal vektör tabanlı haritalar, bünyesinde barındırdığı veriler, birçok uygulama ve analiz için yetersiz kalmakta, çok sayıdaki mühendislik disiplinlerine sahip araştırmacılar, uygulamalar için gerekli bir takım detayları topoğrafik bir vektör haritada bazen bulamamaktadır. Hava fotoğrafındaki tüm içeriği eksiksiz bir şekilde kullanıcıya sunan ortofoto haritası, araştırmacılar için daha iyi çözüm ve bilgi sunabilmekte, diğer vektör haritalara göre daha hızlı ve az maliyetli bir şekilde üretilmektedir (Özbalmumcu, 2007).

Üretilen veri olarak kıyaslandığında; klasik fotogrametri ve İHA destekli fotogrametri arasında matematiksel ve istatistiksel hesaplamalarda bazı farklılıklar bulunmaktadır. Klasik fotogrametri; küresel anlamda tutarlılık, modelin geçerliliği, ölçü doğrulukları ve bu ölçülerin uyumluluğu işlem adımlarıyla kullanıcıya çözüm sunmaktadır. İHA destekli fotogrametride ise üç boyutlu nesne geri çatınımı oluşturarak tüm veriler üzerinden lokal bir çözüm ve optimizasyon belirlemeyi amaçlamaktadır (Torun, 2017; Selek, 2019).

4.1. Ortofoto Nedir?

Hava fotoğrafları, insansız hava aracına entegre olarak takılan kameranın görüntü çekim anındaki açısı, dünyanın eğikliği, uçuş yüksekliğinden kaynaklanan kaymalar ve dönüklük gibi geometrik bozukluklar içermektedir. Bu bağlamda kameradan çekilen ham hava fotoğraflarından çekildiği bölgeye ait açı, uzunluk, koordinat ve alan değerleri gibi bilgiler içeren metrik bilgilerin üretilmesi, fotoğraflar üzerinden ölçüm işlemlerinin gerçekleşmesi mümkün değildir. Bu bozuklukların giderilmesi için hava fotoğrafları rektifikasyon işleminden geçmektedir. Böylece ölçekli, arazinin gerçek yapısını gösteren ortofoto haritaları elde edilmektedir (Özbalmumcu, 2007; Yılmaz vd. 2013). Bu haritaların üretim aşamasında, düzeltilmiş görüntüler (iç ve dış yöneltmesi tamamlanmış) ve sayısal yükseklik modeli olmak üzere toplam 2 veri kümesi kullanılır (Şekil 12.).

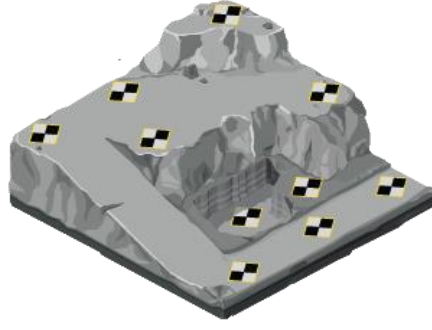


Şekil 12. Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli

4.2. Ortofoto Üretim Aşamaları

4.2.1. Jeodezik Çalışmalar

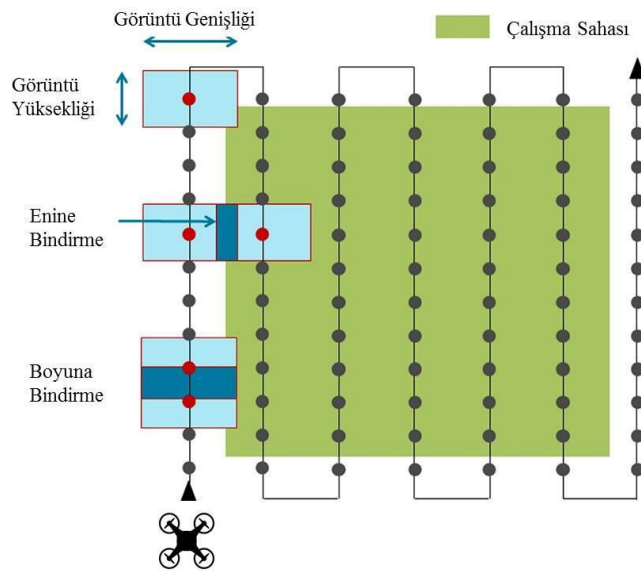
Uygulama sahasına ait insansız hava aracı ile fotoğraf alımından önce üretilecek resimlerdeki resim koordinatlarını arazi koordinatlarına dönüştürebilmek için arazide jeodezik çalışmalar gerçekleştirilir. Bu işlem paketinde havadan çekilecek fotoğraflar üzerinde net bir şekilde görülebilecek, uygulama sahasına homojen bir şekilde dağılmış yer kontrol noktaları tesis edilir. Bilimsel araştırmalarda uygulama sahasının büyüklüğüne göre yer kontrol noktalarının sayısı değişiklik göstermektedir. Arazide homojen bir şekilde tesis edilen noktaların çeşitli işaretleyici malzemelerle belirgin hale getirilmesi, birden çok gün süren uygulamalar için her bir noktanın röperinin alınması gerekmektedir (Şekil 13.). Bu noktaların hassas bir şekilde ölçülmesi, uygulama sonunda üretilecek ortofotonun doğruluğunu doğrudan etkilemektedir.



Şekil 13. Örnek Yer Kontrol Noktaları

4.2.2. Havadan Fotoğraf Çekimi

İHA destekli fotogrametrik yöntemli ortofoto üretiminde amaç, uçak ile yapılan yüksek uçuş yüksekliğine sahip büyük alanlar için uygulanan tekniğe kıyasla daha küçük alanların daha kısa sürede yüksek hassasiyetle uygulama sahasının fotoğraf çekimini gerçekleştirmektir. Bu amaca paralel bir şekilde uçuşu yapılacak sahanın fiziki büyüklüğü ve şekline göre bindirme oranları ve uçuş yüksekliği parametrelerinin önceden belirlenmesi gerekmektedir (Eisenbeis, 2009) . Bu bağlamda hazırlanan uçuş planında, uygulama sahası çok sayıda bloklara ayrılır ve her bir blokta uçuş yönü doğrultusuna göre uçuş işlemi tamamlandığında bir sonraki bloğa geçiş yapılarak uygulama sahasına ait uçuş işlemi tamamlanmış olur (Şekil 14.).



Şekil 14. Havadan Görüntü Alımı İşlemi

4.2.3. Fotoğrafların İşlenmesi

İHA kullanılarak uygulama sahasına ait çekilen fotoğrafların analizi; iç ve dış yöneltme elemanları, kamera kalibrasyon parametreleri ve geometrik bozulmaların ortadan kaldırıldığı işlem adıdır. Uçuş işlemi anında insansız hava aracına entegre bir şekilde bulunan GPS ile çekilen hava fotoğraflarının konumu belirlenirken, IMU (inersiyal ölçme ünitesi) sistemi yardımıyla da dönüklükler hesaplanmaktadır.

Görüntü çekim işlemi sonucunda ortofoto üretiminin ana aşaması, çekilen fotoğraflardaki kamera koordinat sistemini arazi koordinat sistemleriyle ilişkilendirebilmektir. Bu işlem için blok dengeleme yapılmaktadır.

Bu dengeleme işleminin temel amacı, uçuş işleminin gerçekleştiği uygulama sahasında daha önceden tesis edilen yer kontrol noktaları yardımıyla en az iki fotoğrafta tanımlanabilen noktalarının arazi koordinatlarının, fotoğraf üzerinde yapılan ölçümlerden hesaplanması işlemidir. Bunun için dengeleme yöntemlerinden ışın demeti ile blok dengeleme yöntemi kullanılmaktadır. Işın demetleri ile blok dengeleme yönteminde bir stereo fotoğraf çiftinde her bir resme ait ışın demetleri yöneltir ve bu ışın demetlerinin söz konusu yer kontrol noktalarda kesiştirilmesi gerçekleştirilir. Bu yöntemde, iki fotoğrafa ait toplam 12 adet dış yöneltme parametresi bulunmaktadır ve bunlar koordinatları bilinen yer kontrol yardımıyla hesaplanır. Dengeleme işleminin sonucunda çalışma sahasının sayısal arazi modeli üretilmiş olur (Tufan, 2011; Jacobsen, 2000; Yaman, 2018).

4.2.4. Ortorektifikasyon İşlemleri

İHA yardımıyla çekilen hava fotoğrafının yapısında bir takım nedenlerden dolayı meydana gelen hataların giderilmesi işlemine ortorektifikasyon denir. Bu düzeltmenin sonucunda ortaya çıkan ürün ortofoto haritasıdır ve bu harita üzerinde uygulama sahasının coğrafi konumunun, uzunlukların, açılarının ve alanların planimetrik bir şekilde doğrudan ölçülebilmesi mümkündür (Şahin, 2013; Yaman, 2018).

5. YAPILAN ÇALIŞMALAR

5.1. İş Akış Diyagramı

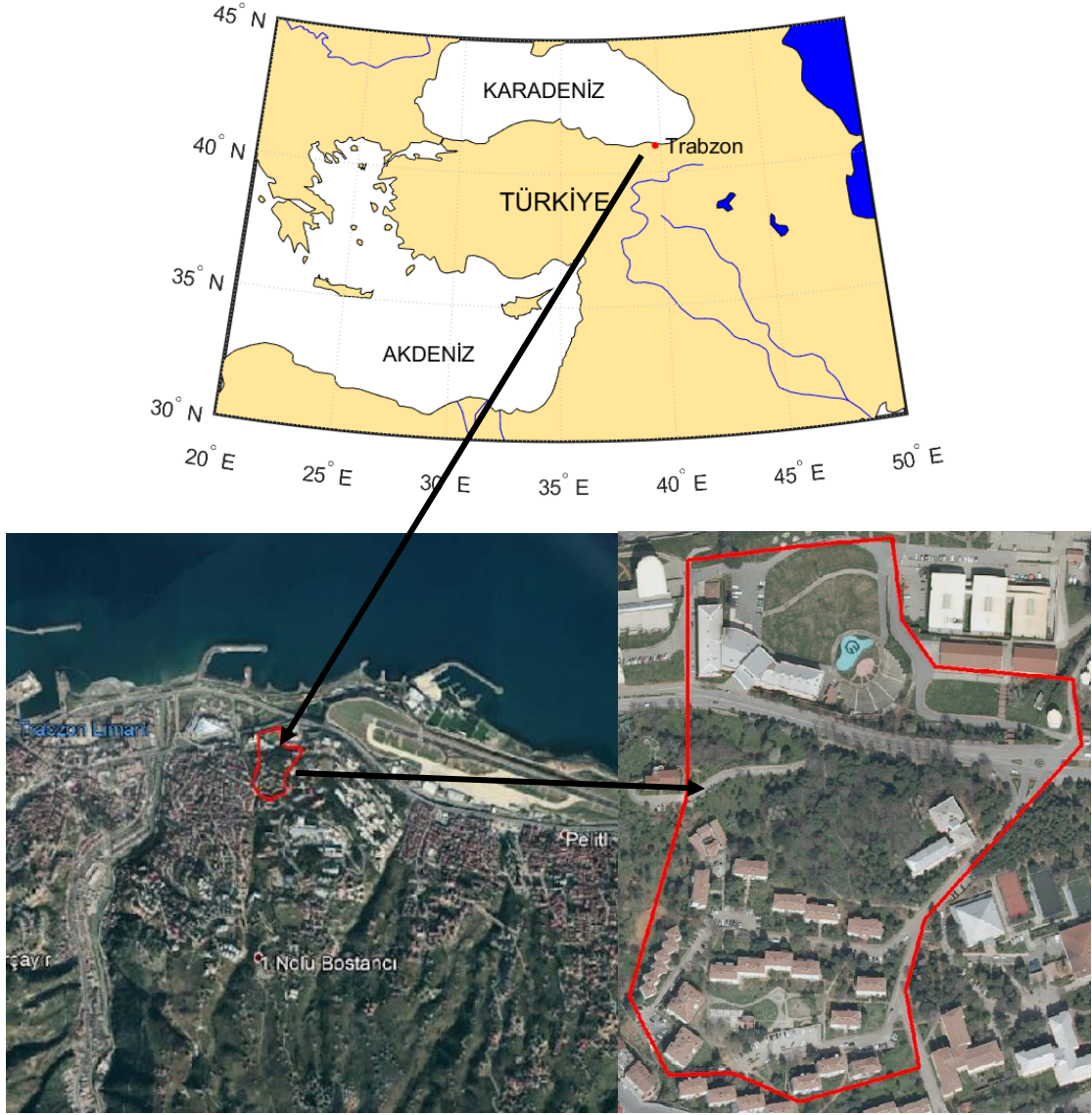
Öncelikle ortofoto üretim aşamaları, genel hatlarıyla iş akış diyagramı kullanılarak özetlenmiştir (Şekil 15.).



Şekil 15. Uygulamaya Ait İş Akış Diyagramı

5.2. Çalışma Sahası

Tez kapsamında çalışma sahası olarak Trabzon ili Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni yerleşkesi içinde bir bölge seçilmiştir. Söz konusu yerleşke Trabzon şehir merkezine yaklaşık olarak 5 km uzaklıkta, havalimanına ise yürüme mesafesindedir (Şekil 16.).



Şekil 16. Çalışma Sahasının Gösterimi

Çalışma sahası yaklaşık olarak 11 hektarlık bir alana sahiptir. Kapladığı bölgede yerleşim yerleri ve yeşil alanlar bulunmaktadır. Ayrıca çalışma sahası, topoğrafik yapısı itibariyle eğimli ve düz alanlar içermektedir.

Söz konusu bölge, farklı eğim yapılarına sahip olması ve kapladığı alanlarda yeşil alan ve yerleşim yerlerinin bulunmasından dolayı topoğrafik anlamda zengin bir çeşitliliğe sahip olup, uygulama sahası için üretilen ortofoto haritasının doğruluğu bu tür farklı topoğrafik yapılar dikkate alınarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Buna paralel olarak uygulama sahasında; yerleşim sahası, ağaçlık saha, eğimli saha ve düz saha olmak üzere toplam dört saha belirlenmiştir (Şekil 17.).



Şekil 17. Farklı Topoğrafik Yapılara Ayrılan Çalışma Sahası

5.3. Yer Kontrol ve Test Noktalarının Tesisi ve Ölçülmesi

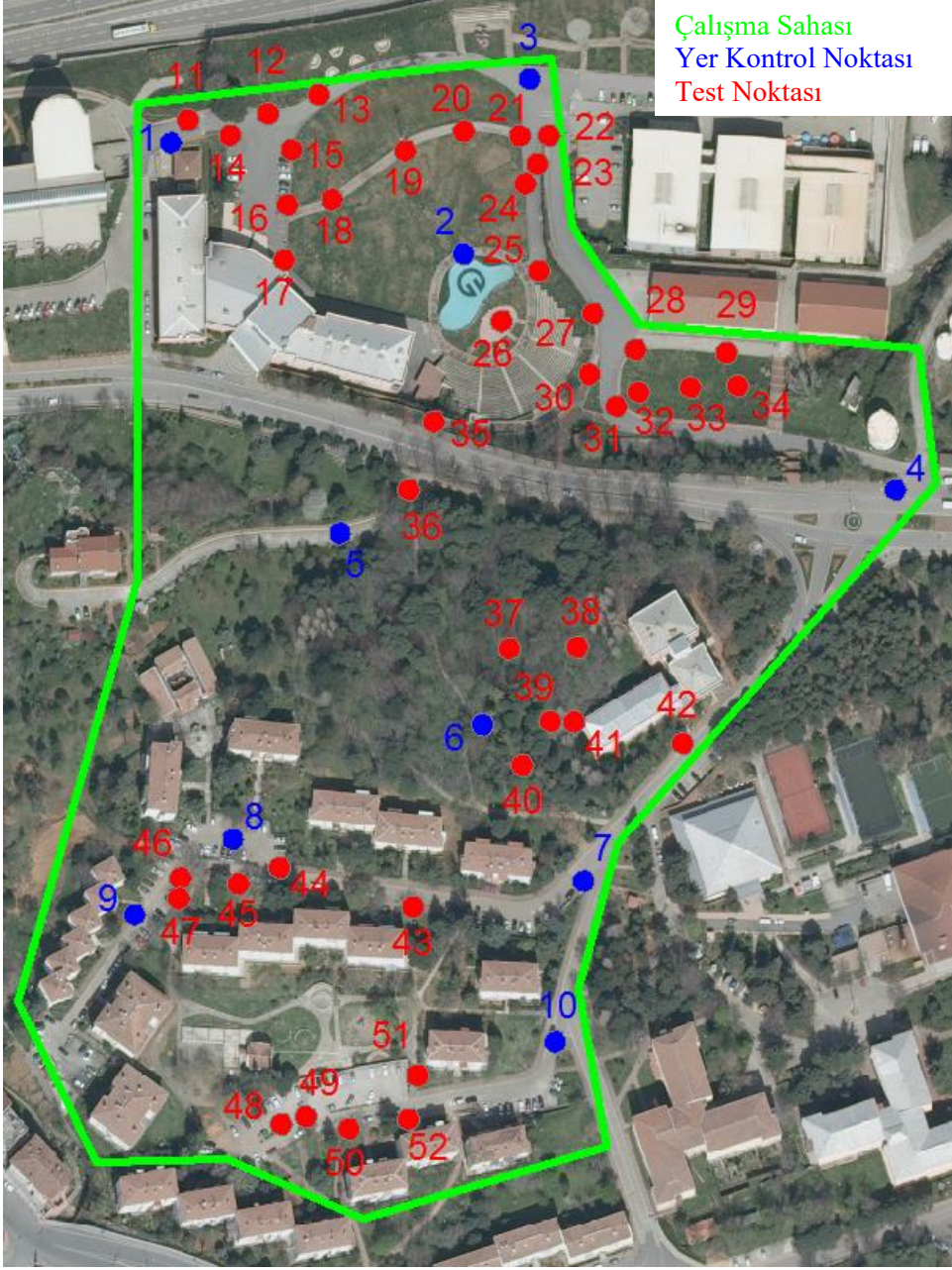
İHA destekli fotogrametrik yöntemlerle elde edilecek sayısal yükseklik modeli ve ortofoto haritasının yeryüzündeki gerçek koordinatlarında olması ve meydana gelen hataların giderilmesi için uçuşu yapılacak çalışma sahası içinde homojen bir şekilde dağılmış yer kontrol noktalarına (YKN) ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak üretilecek ortofoto haritasının doğruluğunun analizinde ise test noktalarına ihtiyaç vardır.

BÖHKBÜY'ne göre YKN; Yeryüzünde tesis edilen, koordinatları ve / veya yüksekliği jeodezik yöntemlerle hesaplanan noktaların genel adıdır. Mevzuat gereği bu tür noktalar, Real Time Kinematik GPS veya TUSAGA – AKTİF CORS yöntemlerinden biriyle ölçülerek kesin koordinat değerlerinin hesaplanmaları gerekmektedir. Yer kontrol noktalarının dağılım geometrisi ve hata miktarları sonuç ürünlerinin konum doğruluğuna doğrudan etki etmektedir.

Tez kapsamında çalışma sahası içinde homojen bir şekilde dağılmış, görüntülerden kolayca tespit edilebilecek toplam 10 adet yer kontrol noktası ve 42 adet test noktası tesis edilmiştir. Bu noktaların araziye uygulaması için spreylenmiş boya ve karton kalıplar kullanılmıştır (Şekil 18 ve 19.).



Şekil 18. Yer Kontrol Noktalarının ve Test Noktalarının Tesisi ve Hava Fotoğraflarındaki Görünümü



Şekil 19. Yer Kontrol ve Test Noktaları

Yer kontrol ve test noktalarının koordinatları TUSAGA – Aktif Cors tekniği ile ölçülerek hesaplanmıştır. Her bir noktanın ölçümü gidiş ve dönüş olmak üzere iki kez 3 epok şeklinde yapılmış ve değerlerin ortalaması alınarak yer kontrol noktalarının ve test noktalarının GRS 1980 elipsoid datumunda 3 derecelik Türkiye Ulusal Referans Sisteminde, 39’uncu dilimde Topcon GR-5 alıcısı yardımıyla (Şekil 20.) ölçüm işlemleri tamamlanmıştır.

Tablo 3. Çalışmada Kullanılan Yer Kontrol ve Test Noktalarının Konum Bilgileri

Nokta No	X	Y	Elipsoid Yükseliği	Nokta No	X	Y	Elipsoid Yükseliği
1 (YKN)	4540739.366	564409.096	57.106	27 (T)	4540672.489	564573.442	67.197
2 (YKN)	4540696.069	564522.865	59.758	28 (T)	4540658.422	564590.166	67.455
3 (YKN)	4540767.453	564548.071	59.412	29 (T)	4540657.210	564625.308	67.112
4 (YKN)	4540604.260	564691.114	85.024	30 (T)	4540648.898	564572.010	69.609
5 (YKN)	4540587.231	564474.771	75.274	31 (T)	4540636.283	564582.763	71.220
6 (YKN)	4540512.577	564530.361	86.572	32 (T)	4540641.722	564591.328	70.313
7 (YKN)	4540451.782	564569.543	90.854	33 (T)	4540643.602	564611.624	70.465
8 (YKN)	4540468.104	564433.103	90.445	34 (T)	4540644.156	564629.802	70.533
9 (YKN)	4540438.491	564395.064	91.562	35 (T)	4540630.373	564511.549	71.656
10 (YKN)	4540389.179	564558.555	97.489	36 (T)	4540603.940	564501.829	73.551
11 (T)	4540747.762	564415.692	57.611	37 (T)	4540533.788	564542.468	84.390
12 (T)	4540750.317	564446.753	59.043	38 (T)	4540538.078	564566.624	83.560
13 (T)	4540757.663	564466.589	59.209	39 (T)	4540513.534	564556.889	86.475
14 (T)	4540742.005	564432.166	59.059	40 (T)	4540492.422	564552.379	88.110
15 (T)	4540736.176	564456.039	59.138	41 (T)	4540513.436	564566.035	86.046
16 (T)	4540714.846	564454.616	59.302	42 (T)	4540504.967	564608.329	89.097
17 (T)	4540693.421	564453.390	59.319	43 (T)	4540441.354	564503.280	90.913
18 (T)	4540716.962	564471.828	59.592	44 (T)	4540456.655	564451.304	90.687
19 (T)	4540735.899	564500.567	59.477	45 (T)	4540450.261	564435.569	90.592
20 (T)	4540743.421	564523.284	59.428	46 (T)	4540452.630	564412.848	90.608
21 (T)	4540741.614	564544.946	59.568	47 (T)	4540444.685	564412.283	91.648
22 (T)	4540741.744	564556.445	59.617	48 (T)	4540357.100	564452.262	98.910
23 (T)	4540730.826	564551.662	59.540	49 (T)	4540359.943	564461.760	99.092
24 (T)	4540723.078	564547.190	59.531	50 (T)	4540354.974	564478.430	99.439
25 (T)	4540689.081	564552.301	59.577	51 (T)	4540375.967	564505.120	99.682
26 (T)	4540669.642	564537.828	59.725	52 (T)	4540358.997	564501.598	99.850



Şekil 20. Çalışmada Kullanılan GNSS Alıcısı

Bu bağlamda kullanılan GNSS alıcısının teknik özellikleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir (Tablo 4.)

Tablo 4. Topcon GR-5 Teknik Özellikleri

Özellik	İçerik
Gözlemlenen Uydular	GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou, SBAS, QZSS
Toplam Kanal Sayısı	Evrensel izleme teknolojisine sahip 266 kanallı Vanguard GNSS chip
Doğruluk	
Statik/Hızlı Statik	H: 3,0 mm + 0,4 ppm V: 5,0 mm + 0,5 ppm
Hassas Statik	H: 3,0 mm + 0,1 ppm V: 5,0 mm + 0,5 ppm
RTK (L1 + L2)	H: 5 mm + 0,5 ppm V: 10 mm + 0,8 ppm
Haberleşme	Baz radyo çıkışı: 1.0W Hücrel: Entegre HSPA+/CDMA I/O iletişimleri: Sınıf 2 Bluetooth USB ve Seri
Veri	Bellek: Çıkarılabilir SD/SDHC kartı RTK veri çıkışı: TPS, RTCM SC104 v2.x, 3.x ve MSM, CMR/CMR+ ASCII çıkışı: NMEA 0183 sürüm 2.x, 3.x ve 4.x
Anten Teknolojisi	Zorlu ortamlarda üstün sinyal alımı sağlar ve multipath etkisini minimize ederek daha sağlam ve temiz bir sinyal izlemesi sağlar

5.4. Uçuş Planının Hazırlanması

İHA destekli fotogrametride temel amaç, uçak kullanılarak gerçekleştirilen ve genellikle büyük alanlar için uygulanan hava fotogrametrisi yöntemine kıyasla daha küçük alanların daha kısa süre içinde yüksek hassasiyetle fotoğraf çekim işlemini gerçekleştirmektir. Bu amaca paralel bir şekilde çalışma sahasının, uygulamada beklenen doğruluk değerine göre belirli bindirme oranları ve uçuş yüksekliği dikkate alınarak İHA'ya entegre kamera

tarafından görüntü alımı yapılmaktadır. Çekilen bu fotoğraflar fotogrametri çalışma prensipleri esas alınarak çeşitli yazılımlarda işlenerek sonuç verileri üretilmektedir.

Tez kapsamında uçuş planlaması Anafi Parrot marka için uygulanabilir olan Pix4d Capture yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sahasını içine alan uçuş planlamalarında uçuş yüksekliği 50 m ve bindirme oranları %70 olarak tanımlanmıştır. Buna karşın uygulama sahası sınırları içinde bulunan ağaçlık sahaların yoğun olduğu bölgelerde üst üste binen görüntüler arasında yüzlerce dal ve yaprak olmasından dolayı fotoğraflar arasında ortak karakteristik noktalar üretmek zorlaşmaktadır. Uygulama kapsamında bu bölgelerden daha fazla veri temin etme amacıyla bu tür alanlardaki bindirme oranları %90 olarak belirlenmiştir.

Çalışma sahasının alansal büyüklüğü ve insansız hava aracının havada kalma süresinin kısıtlı olması nedeniyle görüntülerden analizler sonucu elde edilecek ürünlerin daha hassas nitelikte olması için birden çok sayıda uçuş planlamaları yapılmıştır (Şekil 21.).



Şekil 21. Çalışma Sahası İçin Üretilen Uçuş Planlamaları

5.5. Verilerin İşlenmesi ve Ortofoto Üretimi

Bu aşamada; iç ve dış yöneltme elemanlarının ve kamera kalibrasyon parameterlerinin hesaplanması ile geometrik bozuklukların ortadan kaldırılması işlemini kapsamaktadır. Böylece üstte yazılı işlem adımlarının uygulanması sonucu düzeltilen fotoğraflardan, yoğun

nokta bulutları, sayısal yüzey modelleri ve gerçek ortofoto haritası gibi dijital ürünler elde edilecektir.

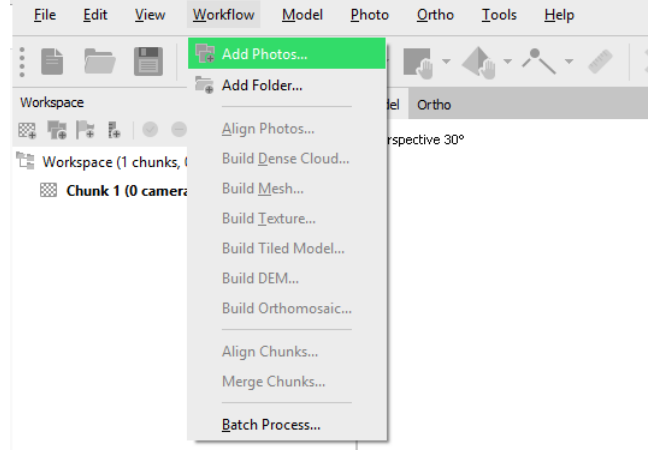
Tasarlanan uçuş planlamalarına uygun bir şekilde arazi ortamında çekilen fotoğraflar, bir takım yazılımlar yardımıyla değerlendirilmektedir. Günümüzde bu işlevi gören çok sayıda yazılımlar (Pix4DMapper, PhotoScan Agisoft Professional, 3D Survey, DroneDeploy 3D Mapping, AutoDesk ReCap vb.) mevcut olup, tez kapsamında çekilen fotoğrafların değerlendirilmesi işlemi için Photoscan Agisoft Professional yazılımı kullanılmıştır. Photoscan Agisoft Professional, İHA ile bindirmeli çekilen görüntülerden 3B modeller, nokta bulutu, sayısal yüzey modeli ve ortofoto haritaların üretiminde kullanılan fotogrametrik bir yazılımdır. Bu yazılım fotogrametrik üçgenleme, yoğun nokta bulutu üretme ve sınıflandırma, sayısal arazi modeli ve sayısal yüzey modeli üretimi, mesafe ölçme, hacim ve alan hesaplama, stereoskopik değerlendirme gibi birçok teknik özelliği ve analizleri kullanıcılara sunmaktadır (Çallı 2021).

5.5.1. Photoscan Agisoft Professional Yazılımı Yardımıyla Ortofoto Üretimi

Söz konusu yazılım sayısal görüntülerin fotogrametrik yöntemlerle işlenmesini sağlayan ve çok farklı amaçlara yönelik 3B veriler üreten ticari bir yazılımdır. Tez kapsamında fotoğrafların işlenmesi amacıyla kullanılan bu yazılımda uygulanan işlem adımları alt başlıklar şeklinde sunulmuştur.

5.5.1.1. Fotoğrafların Yazılıma Yüklenmesi

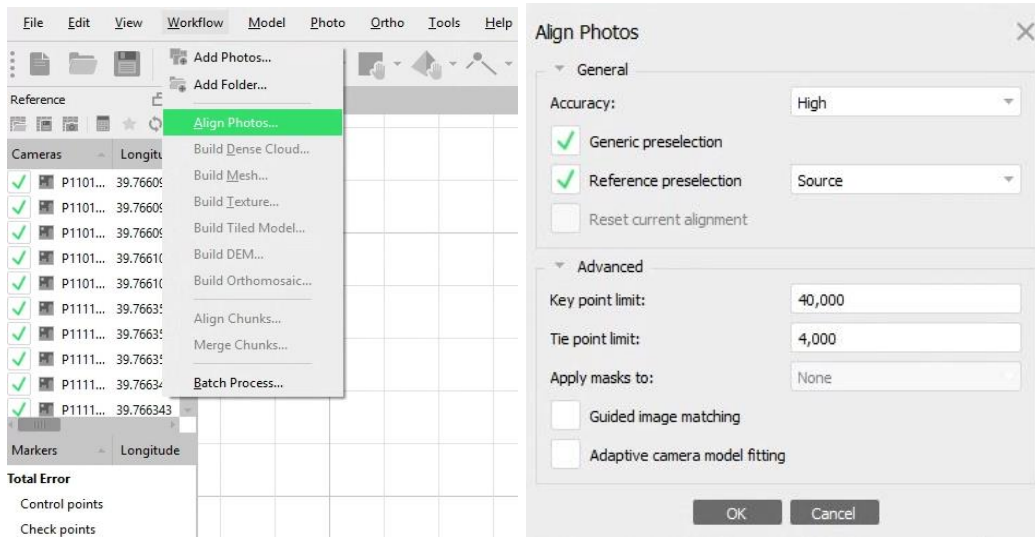
Bu işlem adımından önce uygulamanın tüm içeriklerinin kaydedileceği bir klasör oluşturulmuştur. Bu klasör içinde yeni bir proje dosyası ve uçuş sonrası üretilen tüm fotoğraflar eklenmiştir. Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Add Photos” komutu ile uçuşta çekilen tüm fotoğraf seçilerek programa eklenir. (Şekil 22.).



Şekil 22. Fotoğrafların Programa Yüklenmesi

5.5.1.2. Fotoğrafların Hizalanması (Align Photos)

Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Align Photos” komutu ile uçuşta çekilen tüm fotoğrafların hizalanması işlemi uygulanır. Bu kapsamda söz konusu komut ile açılan iletişim kutusunda bir takım ayarlar bulunmaktadır. Üretilcek ortofotonun niteliği ve amacına yönelik doğruluk derecesine göre hassasiyet seviyesi belirlenir. Tez kapsamında bu kısım “high” olarak seçilmiştir (Şekil 23.). Hassasiyet kısmı düşük, orta ve yüksek seviyeden oluşmaktadır. Düşük seviyeden yüksek seviyelere doğru çıkıldıkça üretilen nokta bulutu yoğunluğu artmaktadır.



Şekil 23. Fotoğrafların Hizalanması İşlemi

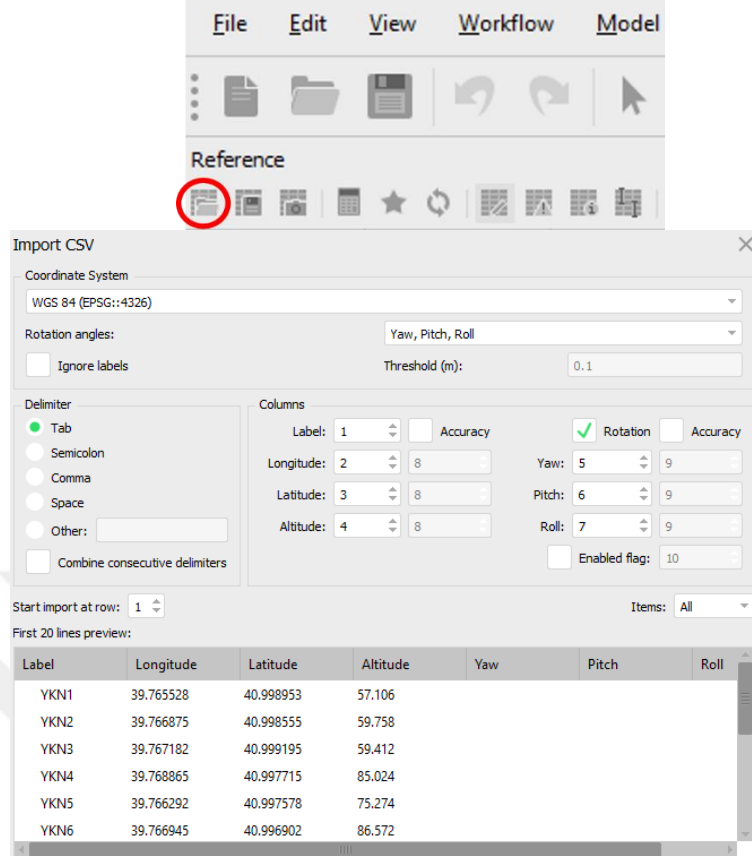
5.5.1.3. Koordinat Sisteminin Tanımlanması

Bu işlem adımında “Reference Settings” komutu yardımıyla açılan iletişim kutusunda projeye ilave edilecek yer kontrol noktaları sisteme tanımlanmaktadır. Anafi marka insansız hava aracından çekilen hava fotoğraflarının yaklaşık konum bilgileri WGS 84 datumunda üretilmiştir. Arazi çalışmasında GNSS alıcısı yardımıyla ITRF/TM39 datumunda ölçülen yer kontrol noktaları, datum bütünlüğü oluşturmak amacıyla NETCAD programı yardımıyla WGS84 Coğrafi koordinatlara dönüştürülerek (Enlem, Boylam, Yükseklik) .txt uzantılı bir metin dosyası içinde saklanmıştır. (Şekil 24.).

Şekil 24. Koordinat Sisteminin Tanımlanması İşlemi

5.5.1.4. Yer Kontrol Noktalarının Programa Yüklenmesi

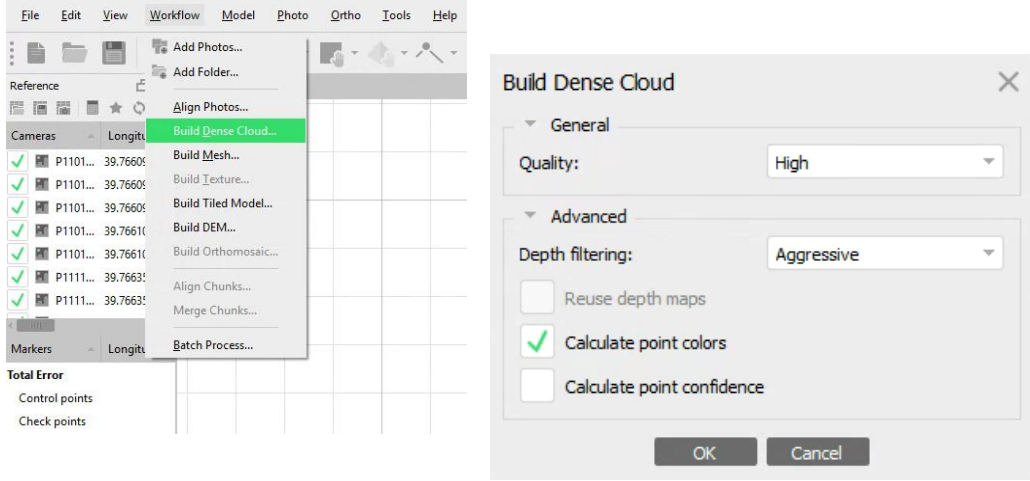
Bu işlem adımında “Reference” sekmesinde yer alan “Import” komutu yardımıyla açılan iletişim kutusunda daha önceden dönüşüm işlemi gerçekleşmiş coğrafi koordinat sistemine sahip .txt uzantılı yer kontrol noktaları seçilir ve “Aç” komutu ile programa yüklenir (Şekil 25).



Şekil 25. Yer Kontrol Noktalarının Programa Yüklenmesi

5.5.1.5. Yoğun Nokta Bulutu Üretme (Build Dense Cloud)

Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build Dense Cloud” komutu ile hizalanan tüm fotoğraflarda yoğun nokta bulutu üretimi gerçekleştirir. İlgili sekme seçildiğinde yeni bir iletişim kutusu açılır ve bu kutudan yapılan işin niteliğine göre ilgili parametreler belirlenir. Tez kapsamında yoğun nokta bulutunun üretilmesi aşamasında kalite kısmı yüksek seviyesi seçilmiştir (Şekil 26.). İşlem sonunda yaklaşık olarak 1 milyon nokta verisi üretilmiştir.



Şekil 26. Yoğun Nokta Bulutu Üretim İşlemi

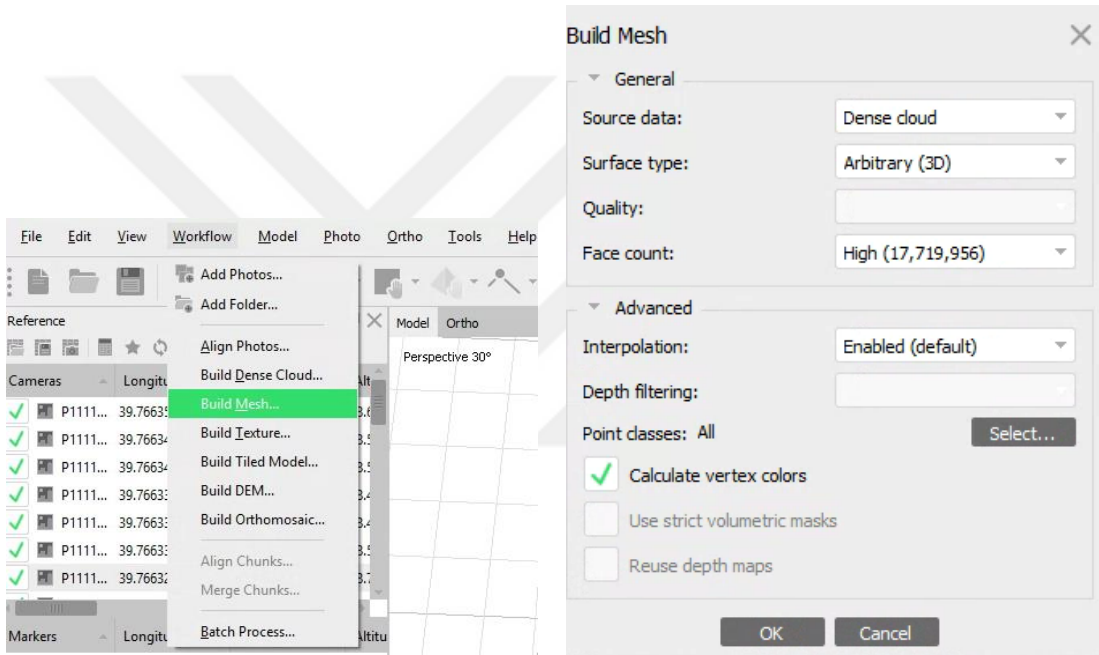
Bu işlem sonucu üretilen nokta bulutu aşağıdaki şekilde sunulmuştur (Şekil 27.).



Şekil 27. Çalışma Sahasının Nokta Bulutu

5.5.1.6. Yüzey Ağı Oluşturma (Build Mesh)

Yoğun nokta bulutu üretildikten sonraki adım bu nokta verilerine dayalı poligonal yüzey ağı modelinin oluşturulmasıdır. Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build Mesh” komutu ile yeni bir iletişim penceresi açılır. Bu iletişim penceresinde uygulamanın yürütülebilmesi için bir takım parametrelerin girilmesi gerekmektedir. Bu parametreler bir önceki işlem adımında üretilen yoğun nokta bulutundan enterpolasyon teknikleri yardımıyla yüzey ağının oluşturulmasını hedefleyen bir takım girdiler olarak tanımlanmaktadır (Şekil 28.).



Şekil 28. Yüzey Ağı Oluşturma İşlemi

İletişim penceresindeki parametrelerin girilmesinden sonra yüzey ağı modelinin üretimi işlemine geçilir. Analiz sonucu çalışma sahası için üretilen yüzey ağı modeli aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 29.).



Şekil 29. Uygulama Sahasının Yüzey ağı Modeli ve Yer Kontrol Noktaları

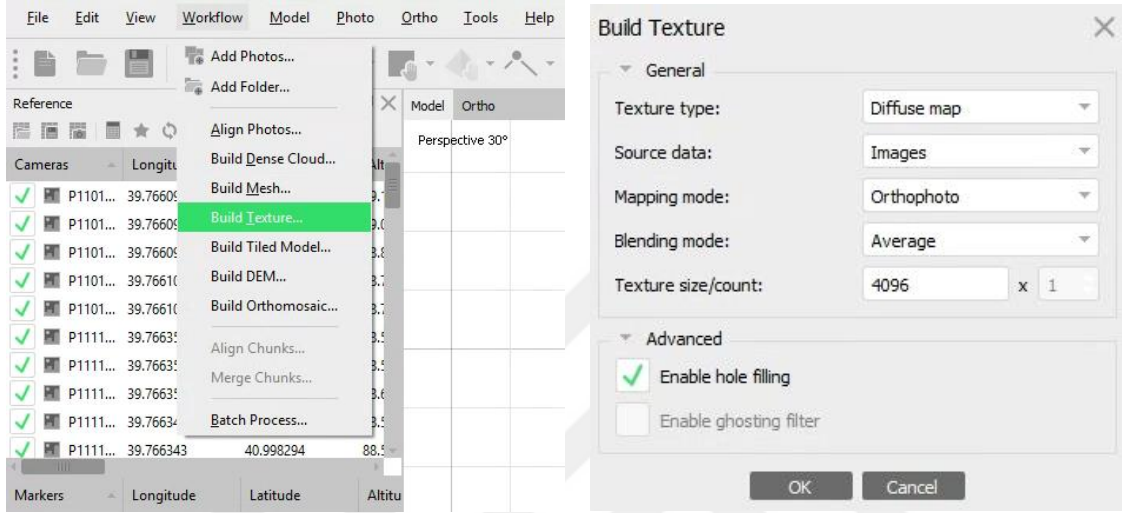
5.5.1.7. Yüzey Dokusu Oluşturma (Build Texture)

Yüzey ağı model üretiminin tamamlanmasından sonra yapılan çalışmanın amaç ve niteliğine göre elde edilecek sonuç ürünlerinin daha iyi bir görsel kaliteye sahip olması ve buna bağlı olarak gerçekliliğin artırılması amacıyla bu işlem gerçekleştirilmektedir.

Bu işlemde program, bir önceki aşamada üretilen katı model üzerine en iyi şekilde odaklanan hava fotoğraflarını seçerek, ilgili fotoğraflara ait piksel iz düşümleri üzerinden bir

takım algoritmik uygulamalar yaparak çalışma sahasına ait yüzey dokusu oluşturma işlemini gerçekleştirmektedir.

Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build Texture” komutu ile yeni bir iletişim penceresi açılır. Bu iletişim penceresinde gerekli parametreler seçildikten sonra işlem başlamış olur (Şekil 30.).



Şekil 30. Yüzey Dokusu Oluşturma İşlemi

İletişim penceresindeki parametrelerin girilmesinden sonra yüzey doku modelinin üretimi işlemine geçilir. Analiz sonucu çalışma sahası için üretilen yüzey doku modeli aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 31.).

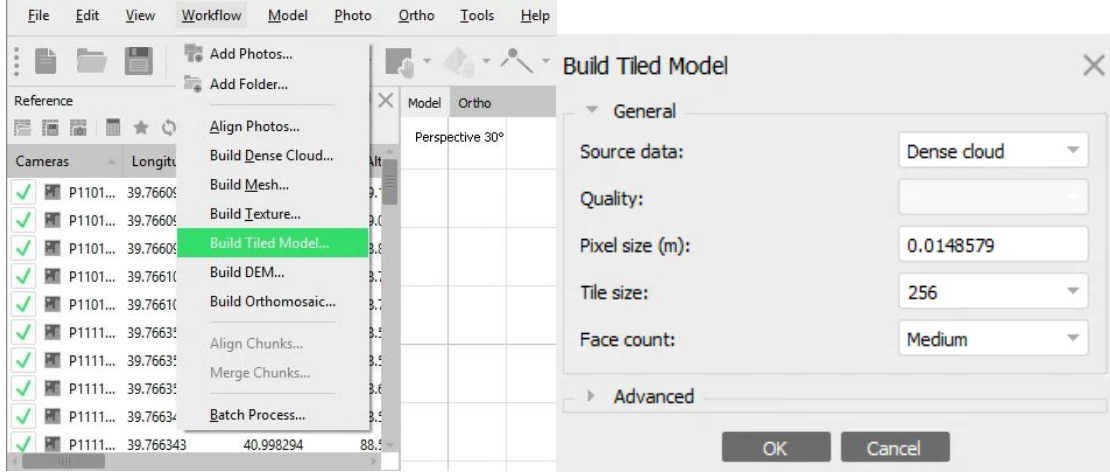


Şekil 31. Çalışma Sahasının Doku Görünümü

5.5.1.8. Üçgen Model Oluşturma (Build Tiled Model)

Bu işlem adımıyla yoğun nokta bulutu ve doku model verilerine dayalı bir şekilde yüksek çözünürlüklü 3B modeller hassas bir şekilde görselleştirilmektedir. Bu modelin hassas ve detaylı yoğun nokta bulutu ve doku modelinin kalitesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build Tiled Model” komutu ile yeni bir iletişim penceresi açılır. Bu iletişim penceresinde gerekli parametreler seçildikten sonra işlem başlamış olur (Şekil 32.).



Şekil 32. Üçgen Model Oluşturma İşlemi

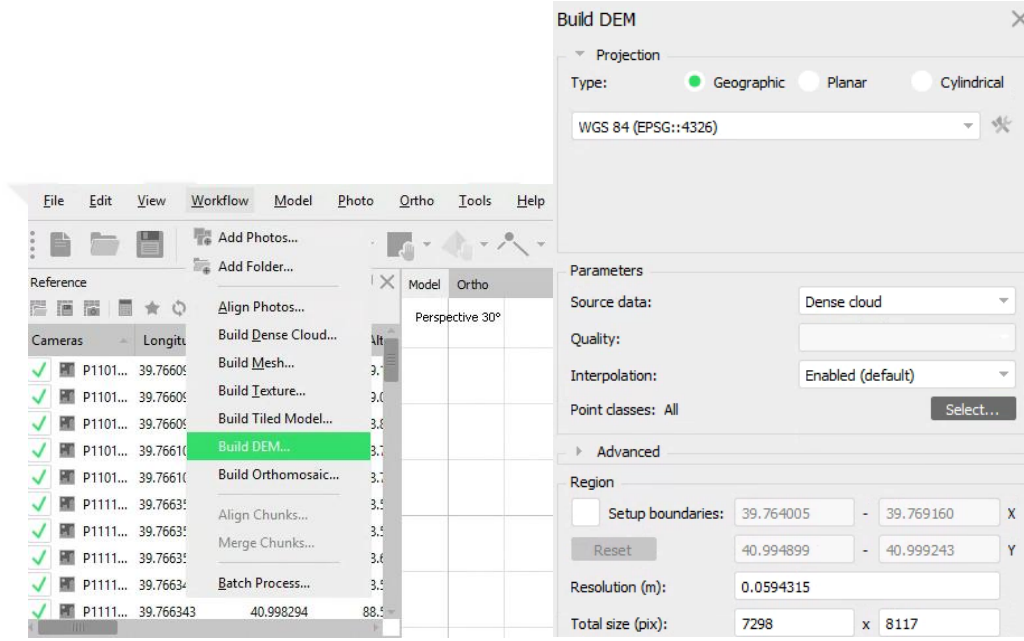
İletişim penceresindeki parametrelerin girilmesinden sonra üçgen modelinin üretimi işlemine geçilir. Analiz sonucu çalışma sahası için üretilen üçgen modeli doku modelin üzerinde aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 33.).



Şekil 33. Çalışma Sahasının Üçgen Model Görünümü

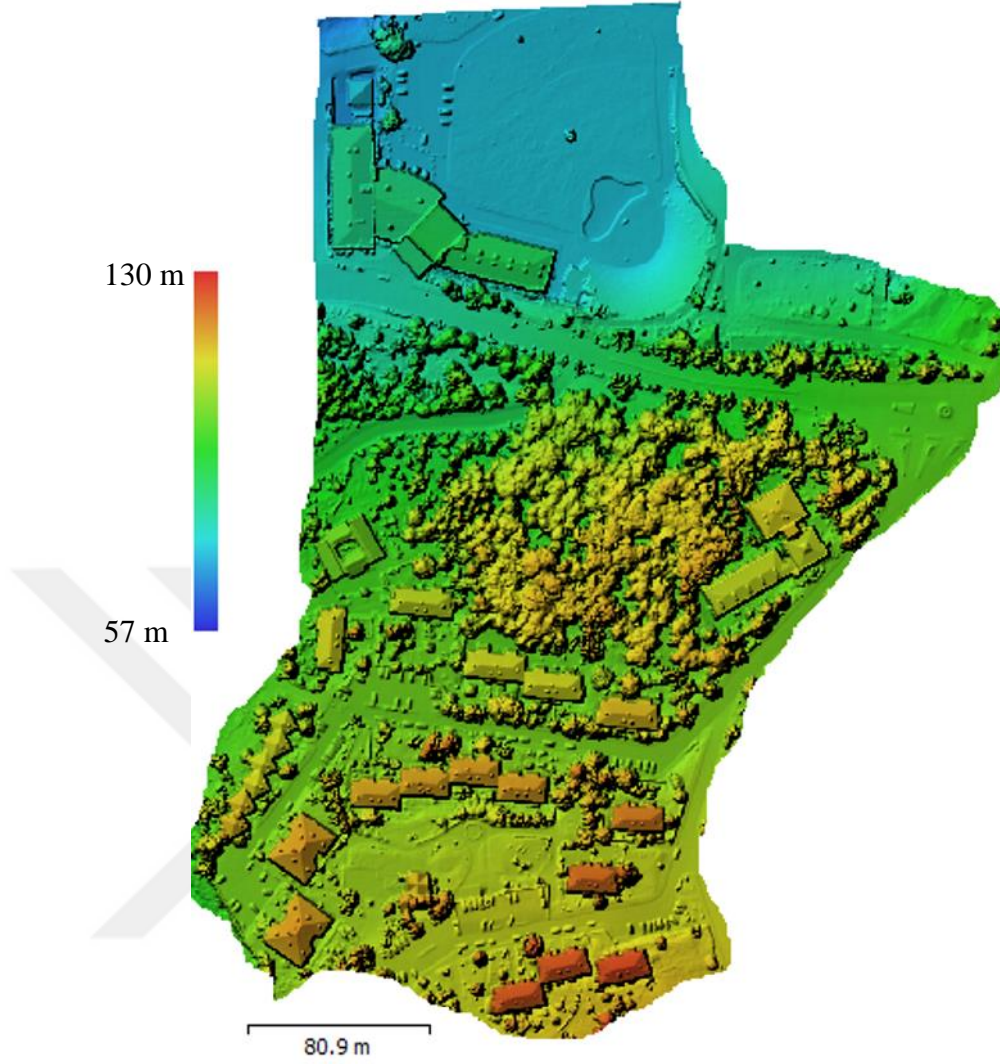
5.5.1.9. Sayısal Yükseklik Modelinin (SYM) Üretimi (Build DEM)

Geçmiş işlem adımlarında üretilen yoğun nokta bulutu kullanılarak sayısal yükseklik modeli program üzerinden elde edilmiştir. Bu bağlamda menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build DEM” komutu ile yeni bir iletişim penceresi açılır. Bu iletişim penceresinde gerekli parametreler seçildikten sonra işlem başlamış olur (Şekil 34.).



Şekil 34. Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturma İşlemi

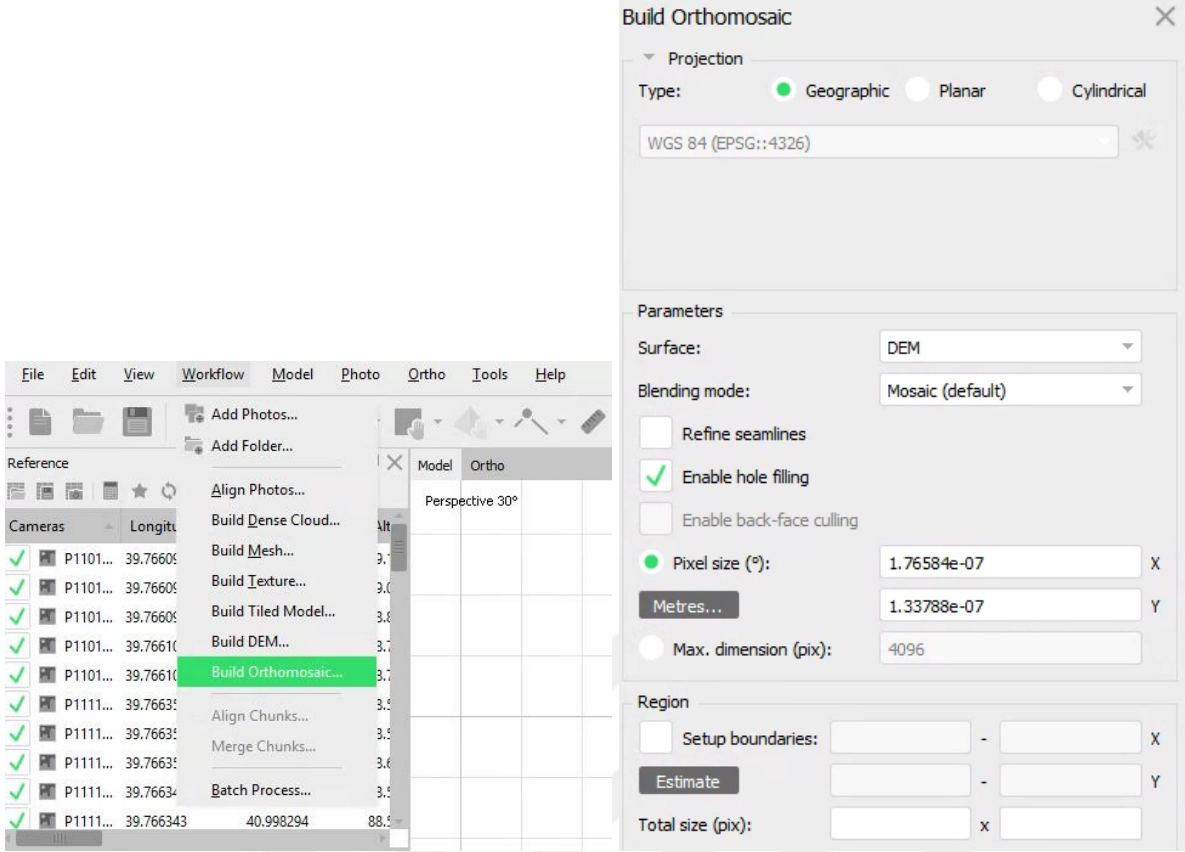
İletişim penceresindeki parametrelerin girilmesinden sonra sayısal yükseklik modeli üretimi işlemine geçilir. Analiz sonucu çalışma sahası için üretilen SYM aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 35.). İşlem sonucunda çıkartılan üretim raporuna göre; SYM'nin çözünürlüğü 5.94 cm/piksel olup, metrekareye düşen nokta sayısı ise 283'tür.



Şekil 35. Çalışma Sahasının Sayısal Yükseklik Modeli

5.5.1.10. Ortomozaik Üretimi (Build Orthomosaic)

Aynı ölçekli ve yatay halde yan yana sıralanmış çok sayıda ortofotonun birleşimi sonucu oluşan fotogrametrik ürüne ortomozaik denir (Nacar 2015; Saygılı 2019). Menü çubuğundaki “Workflows” sekmesinden “Build Orthomosaic” komutu ile yeni bir iletişim penceresi açılır. Bu iletişim penceresinde gerekli parametreler seçildikten sonra işlem başlamış olur (Şekil 36.).



Şekil 36. Ortomozaik Oluşturma İşlemi

İletişim penceresindeki parametrelerin girilmesinden sonra ortomozaik üretimi işlemine geçilir. Analiz sonucu çalışma sahası için üretilen ortomozaik aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 37.).



Şekil 37. Çalışma Sahasının Ortomozaik Görüntüsü

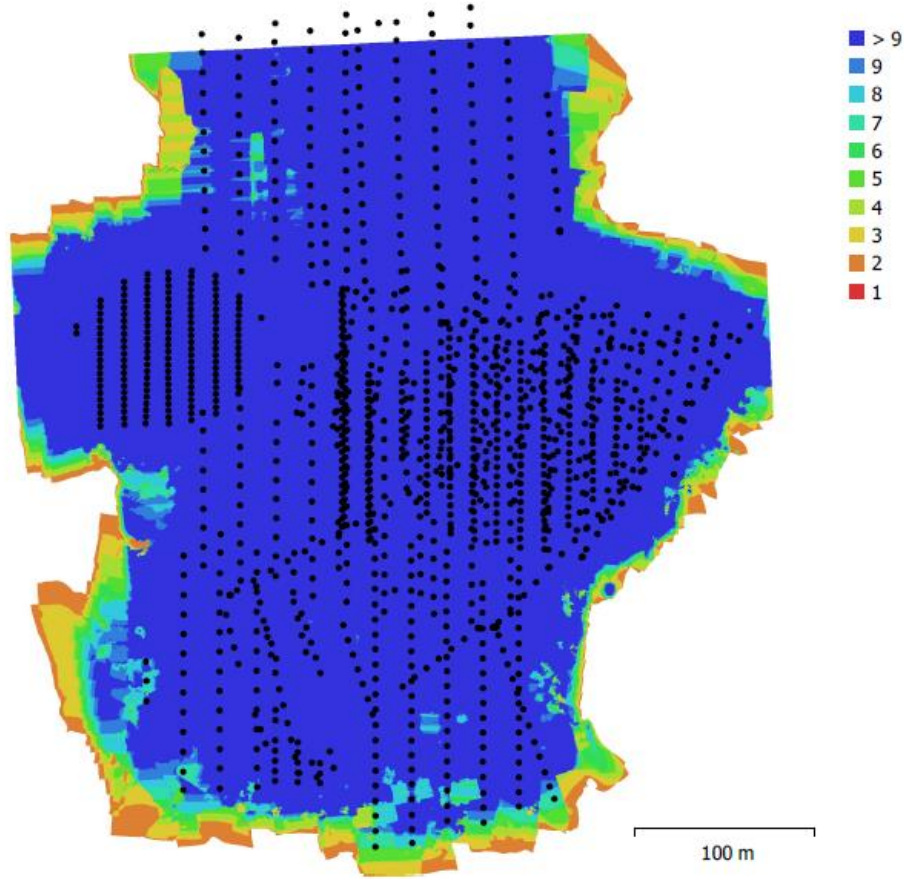
5.5.2. Ortofoto Üretim Raporu

Tez kapsamında son olarak Agisoft Photoscan Professional programı yardımıyla çalışma sahası için elde edilen ortofotonun üretim raporu oluşturulmuştur. Söz konusu bu rapor, üretilen ortofoto haritası için kullanılan parametreler ve ortaya çıkan ürünler hakkında

kullanıcıya detaylı bilgi sunmaktadır. Bu başlık altında elde edilen üretim raporu; tablolar ve şekiller halinde paylaşılacaktır.

5.5.2.1. Kamera Konumları ve Görüntü Bindirme Değerleri

Çalışma sahası sınırları içinde gerçekleştirilen uçuş işlemlerinde gerek kamera konum bilgileri gerekse görüntülerin bindirme değerleri aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 38.). Şekilde de görüldüğü üzere çalışma sahası sınırları içerisinde havadan çekilen fotoğrafların bindirme değerleri birkaç bölge dışında 9 değerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Görüntü bindirme değer parametresi, sonuç kısmında üretilen ortofotonun hassasiyetini doğrudan etkileyen önemli bir unsurdur.



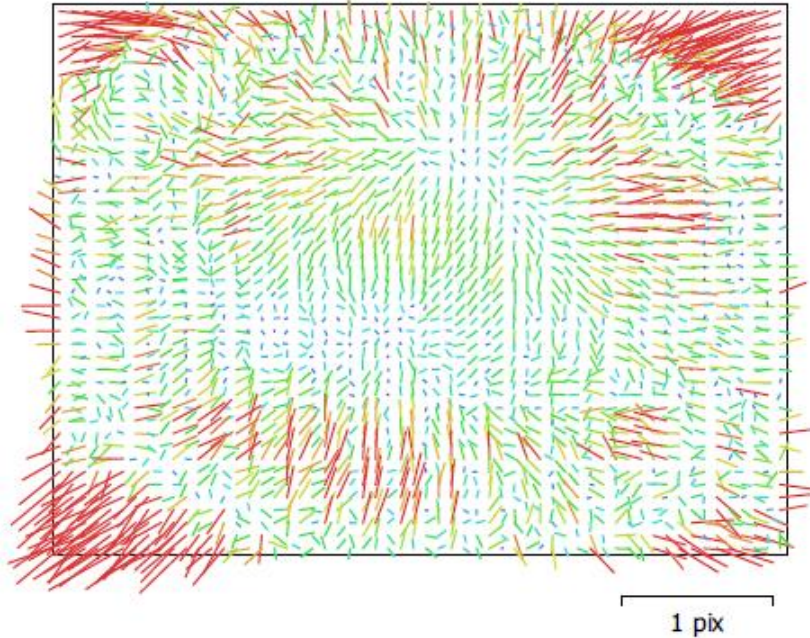
Şekil 38. Kamera Konum Bilgileri ve Görüntü Bindirme Değerleri

5.5.2.2. Kamera Bilgileri ve Kalibrasyon Değerleri

Gerçekleştirilen uçuşlara ait bilgiler ve kamera kalibrasyonunun şematik gösterimi aşağıdaki tablo ve şekilde belirtilmiştir (Tablo 5. ve Şekil 39.).

Tablo 5. Kamera ve Uçuş Bilgileri

Çekilen Toplam Görüntü Sayısı	1.390
Görüntü Çözünürlüğü	4608 x 3456
Odak Uzaklığı	4 mm
Piksel Boyutu	1.34 * 1.34 μm
Uçuş Yüksekliği	49.5 m
Yer Örnekleme Aralığı	1.49 cm/piksel
Toplam Alan	0.147 km ²
Kamera İstasyon Sayısı	1.341
Üretilen Nokta Sayısı	1,090.081



Şekil 39. Kamera Kalibrasyon Gösterimi

Buna ek olarak program tarafından üretilen korelasyon matrisi Tablo 6'da gösterilmiştir.

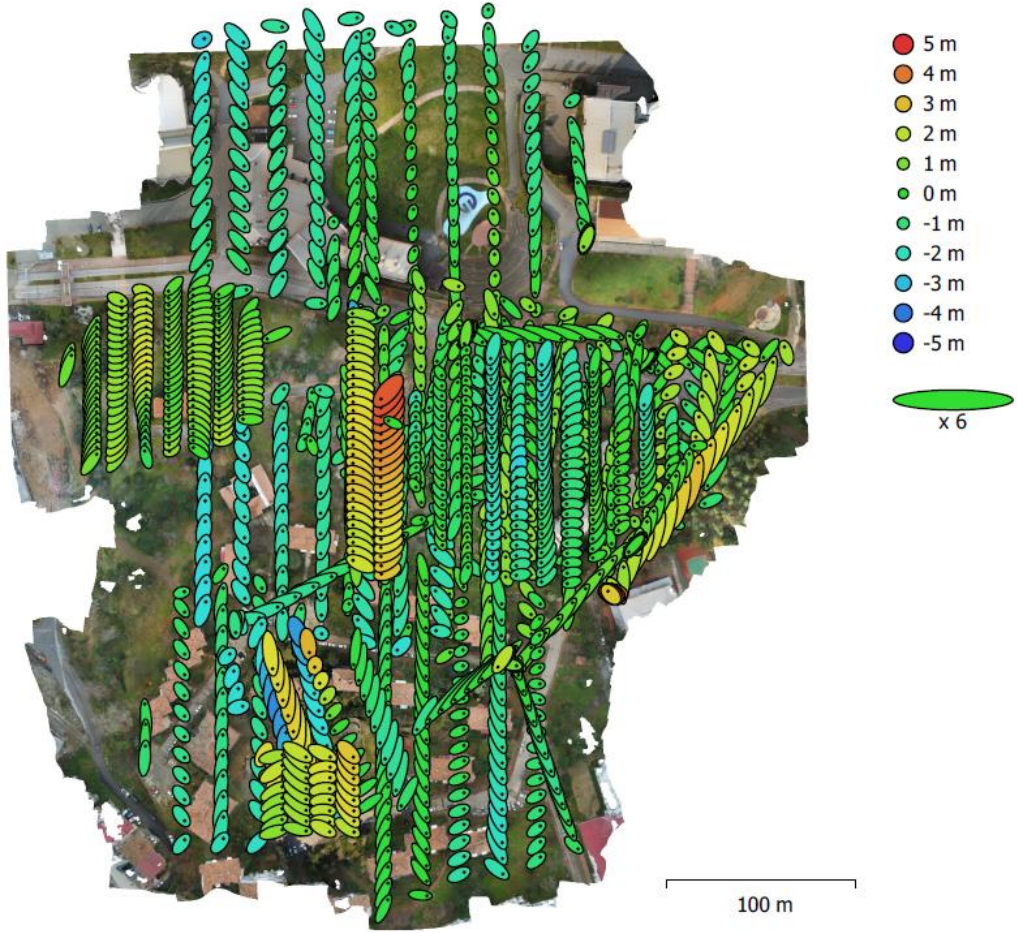
Tablo 6. Kalibrasyon Katsayıları ve Korelasyon Matrisi

	Değer	Hata	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2995.23	0.17	1.00	0.07	0.54	-0.12	0.13	-0.13	0.02	-0.01
Cx	7.97333	0.045		1.00	0.03	0.01	-0.01	0.01	0.87	0.01
Cy	-19.2407	0.045			1.00	-0.01	0.02	-0.02	0.00	0.59
K1	-0.00364683	6.7e-05				1.00	-0.97	0.91	0.02	-0.03
K2	0.015075	0.00018					1.00	-0.98	-0.02	0.03
K3	-0.0106544	0.00014						1.00	0.02	-0.03
P1	0.00166455	5.1e-06							1.00	0.00
P2	-0.0024539	4.3e-06								1.00

Tabloda sembolize edilen F odak uzaklığını, Cx ve Cy parametreleri asal nokta koordinatlarını, K1, K2 ve K3 parametreleri radyal distorsiyon değerlerini ve son olarak P1 ve P2 parametreleri ise teğetsel distorsiyon değerlerini temsil etmektedir.

5.5.2.3. Kamera Konumları ve Hata Kestirimleri

Kameraların fotoğraf çekim esnasındaki konumları şekilde siyah nokta olarak kaydedilmiştir. Ayrıca X, Y ve Z yönündeki hatalar çeşitli türlerde sembolize edilmiştir. Bu bağlamda şekildeki elipslerin rengi, Z yönünde meydana gelen hatayı, elipslerin şekli ise X ve Y yönündeki hataları temsil etmektedir (Şekil 40.).



Şekil 40. Kamera Konumları ve Hata Kestirimleri

Program yardımıyla hesaplanan tüm kamera konum hatalarının 3 eksene göre ortalaması Tablo 7’de gösterilmiştir.

$$\text{Toplam Hata} = \sqrt{(X_{Hata})^2 + (Y_{Hata})^2 + (Z_{Hata})^2} \quad (1)$$

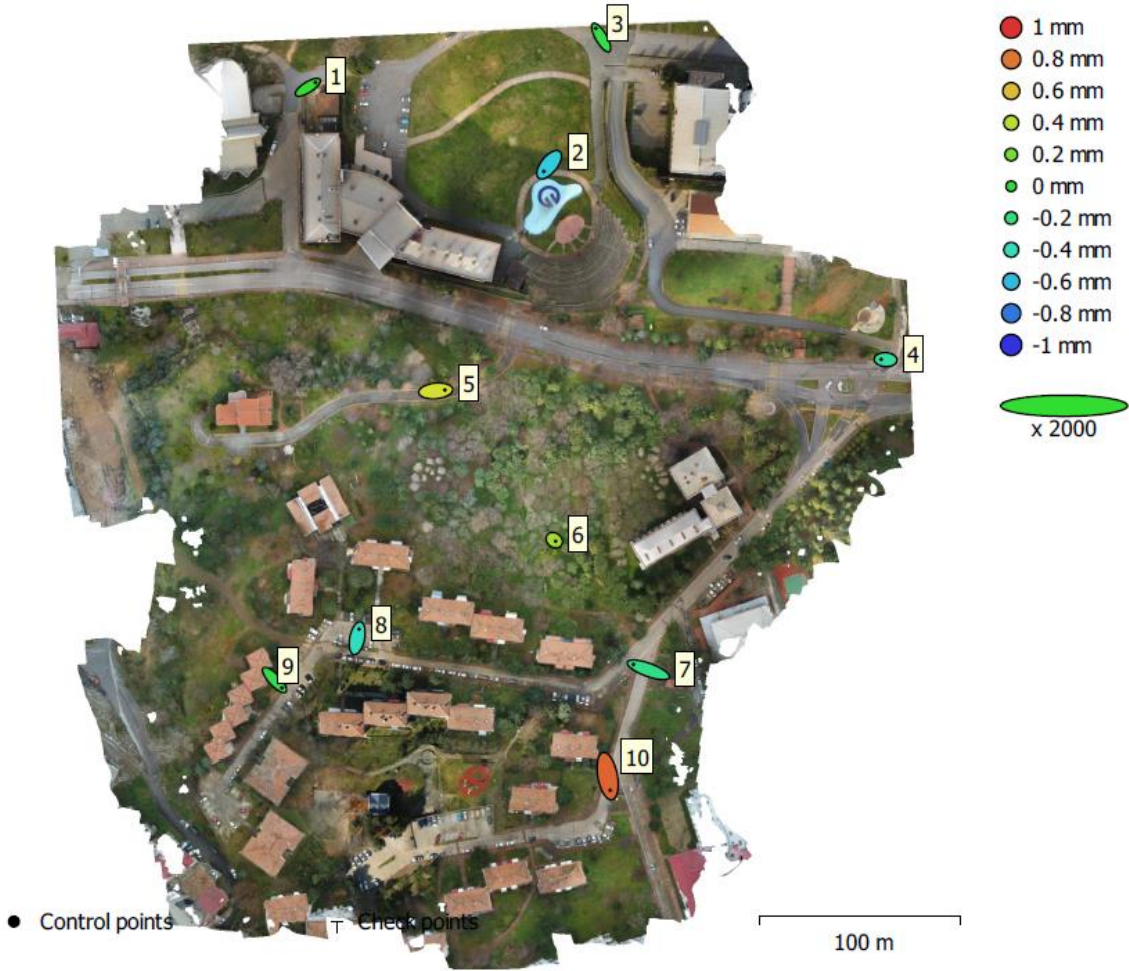
Tablo 7. Ortalama Kamera Konum Hataları

X Hata (m)	Y Hata (m)	Z Hata (m)	XY Hata (m)	Toplam Hata (m)
0.843076	1.51121	1.39902	1.73047	2.22526

5.5.2.4. Yer Kontrol Noktalarının Konumları ve Hata Kestirimleri

Uygulama başlangıcında programa tanımlanan yer kontrol noktalarının, gerçekleştirilen dengeleme sonucundaki karesel ortalama hata değerleri aşağıda belirtilmiştir (Şekil 41. ve Tablo 8.).

Tahmini yer kontrol noktalarının konumları şekilde siyah nokta olarak kaydedilmiştir. Ayrıca X, Y ve Z yönündeki hatalar çeşitli türlerde sembolize edilmiştir. Bu bağlamda şekildeki elipslerin rengi, Z yönünde meydana gelen hatayı, elipslerin şekli ise X ve Y yönündeki hataları temsil etmektedir (Şekil 41.).



Şekil 41. Yer Kontrol Noktalarının Konumları ve Hata Kestirimleri

Tablo 8. Yer Kontrol Noktalarının Karesel Ortalama Hatalarının Toplam Değerleri

Toplam YKN Sayısı	X Hata (cm)	Y Hata (cm)	Z Hata (cm)	XY Hata (cm)	Toplam Hata (cm)
10	3.55019	3.60245	0.415291	5.05781	5.07483

Tüm yer kontrol noktalarının karesel ortalama hata bilgileri ise aşağıda tablo halinde sunulmuştur (Tablo 9).

Tablo 9. Yer Kontrol Noktalarının Karesel Ortalama Hata Değerleri

YKN	X Hata (cm)	Y Hata (cm)	Z Hata (cm)	Toplam Hata (cm)	Görüntü (Piksel)
1	3.81867	2.42204	0.00387048	4.52201	8.847 (2)
2	-2.68346	-3.36607	-0.550888	4.33992	1.562 (14)
3	-2.64081	4.5698	-0.0661824	5.27838	4.561 (6)
4	-2.26222	0.134784	-0.32139	2.2889	2.111 (7)
5	4.58505	0.450224	0.479583	4.63199	0.777 (83)
6	0.69337	-0.501096	0.336362	0.919238	0.912 (17)
7	-7.3953	2.67657	-0.247547	7.86866	1.774 (25)
8	0.916223	4.49587	-0.411982	4.60674	1.742 (36)
9	3.66309	-3.92617	-0.0814471	5.37026	1.270 (29)
10	1.30852	-6.95937	0.85599	7.13287	3.264 (12)

5.5.2.5. İşlem Parametreleri

Bu başlıkta; uygulamanın başlangıcından bitimine kadar ki işlem adımlarına dair bilgiler sunan bir tablo oluşturulmuştur. Bu tabloda işlem süreleri, nokta yoğunluk sayısı, çeşitli hata değerleri vb. bilgiler bulunmaktadır.

Tablo 10. İşlem Parametreleri

Genel	
Çekilen Fotoğraf Sayısı	1390
Hizalanmış Fotoğraf Sayısı	1385
Yer Kontrol Nokta Sayısı	10
YKN Koordinat Sistemi	WGS 84
Dönüklük Açıları	Sapma, Yükselme ve Yalpa
Nokta Kümesi (Point Cloud)	
Nokta Sayısı	1,090.081
Karesel Ortalama Hata Değeri	0.192076 (1.00023 piksel)
Maksimum Hata Değeri	0.585657 (48.2809 piksel)
Ortalama Nokta Boyutu	5.02068 piksel
Hizalama İşlemi (Alignment)	
Hassasiyet	Yüksek
İşlem Zamanı	4 saat 15 Dakika
Optimizasyon Parametreleri	
Parametreler	f, cx, cy, k1, k3, p1, p2
İşlem Zamanı	2 dakika 6 saniye
Yoğun Nokta Bulutu Üretimi	
Nokta Sayısı	96,013.870
Nokta Kalitesi	Yüksek
İşlem Zamanı	19 saat 59 dakika

5.6. Karşılaşılan Sorunlar ve Getirilen Çözüm Yöntemleri

Tez kapsamında gerçekleştirilen çalışmada, karşılaşılan sorunlar ve bu sorunlara getirilen çözüm yöntemleri alt başlıklar halinde ele alınmıştır.

5.6.1. Kontrol ve Test Noktalarının Ölçümünde Yaşanılan Sorunlar

Çalışma sahası sınırları içinde ağaç yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde bulunan yer kontrol ve test noktalarının GNSS alıcısı yardımıyla uydu tabanlı ölçüm tekniğiyle ölçümü işleminde zorluklar yaşanmıştır. Ağaçların yoğun olduğu bölgelerde gerçekleştirilen ölçümlerde alıcının sinyal aldığı uydu sayısı yetersizliği ve kapalılık oranı faktörlerinden dolayı bölgedeki 37, 38, 39, 40 ve 41 numaralı test noktalarının ile 6 numaralı yer kontrol noktasının ölçüm işlemleri tekrarlanmıştır (Şekil 42).



Şekil 42. Çalışma Sahası Sınırları İçindeki Ağaç Yoğunluğunun Yüksek Olduğu Bölge

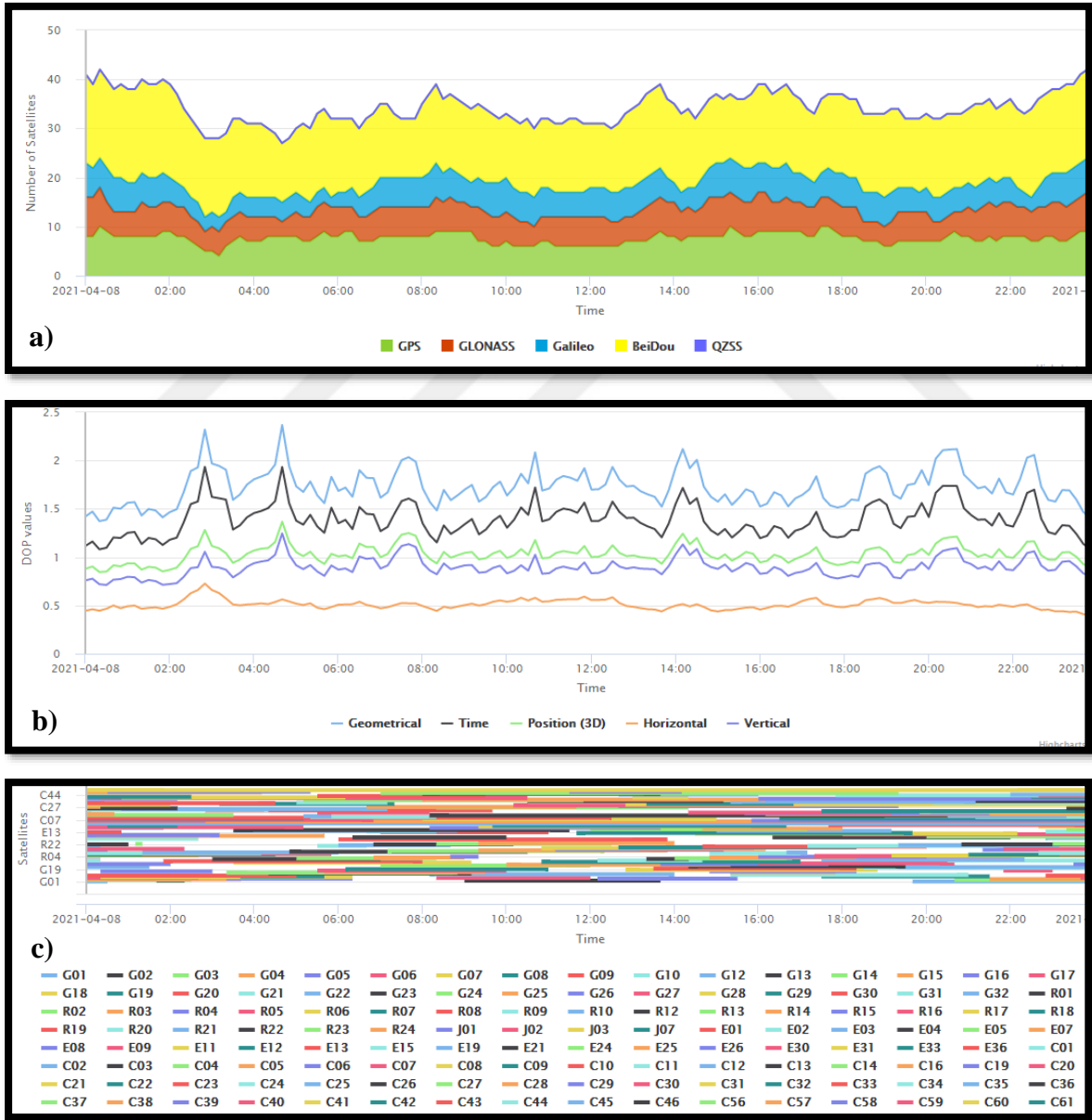
Yukarıda belirtilen bölgede uydu yoğunluğunun yüksek, dağılımının uygun olduğu zaman aralığının tespit edilmesinde Trimble firması tarafından geliştirilen internet tabanlı uygulamadan faydalanılmıştır (Şekil 43.).

Latitude:	<input type="text" value="N 40° 59' 49.4705"/>	°
Longitude:	<input type="text" value="E 39° 46' 2.9555"/>	°
Height:	<input type="text" value="50"/>	m
Elevation cutoff:	<input type="text" value="15"/>	°
Day:	<input type="text" value="08.04.2021"/>	Today
Start time:	<input type="text" value="10:00"/>	UTC +00:00
Period [hours]:	<input type="text" value="24"/>	
Time zone:	<input type="text" value="(UTC) Coordinated Universal Time"/>	
<input type="button" value="Apply"/>		

Şekil 43. Trimble Ölçüm Planlama Programı Veri Girişi Ekranı

Söz konusu uygulamada kullanıcıdan bir takım bilgilerin doldurulması istenmektedir. Bu bilgileri çalışma sahasının yaklaşık olarak konumu, ölçüm işleminin gerçekleşeceği gün ve saat aralığı, yükseklik açısı olarak sıralayabiliriz. İstenen bilgiler doldurulduktan sonra aşağıda maddeler halinde sıralanan veriler hakkında bilgi sahibi olunmaktadır. Bu verileri;

- Görünen toplam uydu sayısı ve içerik bilgileri (Şekil 44(a).),
- DOP değerleri (Şekil 44(b).),
- Uyduların görünebilirliği (Şekil 44(c).),
- Uyduların hareketleri şeklinde sıralayabiliriz.



Şekil 44. Trimble Ölçüm Planlama Programı Sonuç Ekranı

5.6.2. Uçuş Planlama Aşamasında Yaşanılan Sorunlar

Çalışma sahasının büyüklüğü dikkate alındığında tek bir uçuş planı üzerinden havadan fotoğraf çekimi insansız hava aracının maksimum havada kalma süresini aşması nedeniyle mümkün olmamıştır. Bu bağlamda çalışma sahası çeşitli bölgelere ayrılarak aynı parametre değerlerine (Uçuş yüksekliği, enine – boyuna bindirme oranları) sahip farklı uçuş planlamaları üzerinden uçuş işlemleri gerçekleştirilmiştir.

5.6.3. Ortofoto Üretim Aşamasında Yaşanılan Sorunlar

Tez kapsamında gerçekleştirilen uçuş planlamalarında uçuş yüksekliği 50 m ve enine-boyuna bindirme oranı ise %70 olarak tanımlanmıştır. Buna karşın çalışma sahasının bazı bölgelerinde arazinin karakteristik yapısı ve o bölgeye düşen hava fotoğrafı sayısının yetersizliği nedeniyle üretilen ilk ortofoto haritasında şekilde de görüldüğü gibi bir takım açıklıklar meydana gelmiştir (Şekil 45-a, 45-b).



Şekil 45. İlk Üretilen Ortofoto Haritasındaki Açıklıklar ve Çözüm Sonrası Görünümü

Çalışma sahası sınırları içinde gerçekleştirilen uçuş işlemlerinde üst üste binen hava fotoğraflarının yetersiz kalmasından dolayı meydana gelen bu tür açıklıklar, söz konusu bölgelerde gerçekleştirilen ilave uçuşların yapılmasıyla düzeltilmiştir (Şekil 45-c, 45-d).

5.7. Üretilen Ortofoto'nun Doğruluk Değerlendirmesi

Çalışma sahası sınırları içinde homojen bir şekilde dağılmış toplam 42 adet test noktasının arazide ölçülen koordinat değerleri “kesin koordinat değerleri” olarak kabul edilmiştir. Fotogrametrik tabanlı programlardan biri olan Agisoft Photoscan kullanılarak çalışma sahası için üretilen ortofoto haritasından üretilen koordinatlar ise “hesaplanan koordinat değerleri” olarak kabul edilmiştir. Kesin koordinat değerleri ile hesaplanan koordinat değerleri arasındaki bağıntılar aşağıdaki eşitliklerde (2,3 ve 4) belirtilmiştir.

$$V_y = Y_H - Y_K \quad (2)$$

$$V_x = X_H - X_K \quad (3)$$

$$V_h = h_H - h_K \quad (4)$$

Eşitliklerdeki Y_K , X_K ve h_K arazide GNSS alıcısı kullanılarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen koordinatları sembolize etmektedir. Tez kapsamında ITRF datumu GRS80 elipsoidi 39 diliminde elde edilen bu koordinatlar, referans koordinat verileri olarak kabul edilmiştir. Y_H , X_H ve h_H ise gerçekleştirilen analiz sonucunda üretilen ortofoto ve sayısal yükseklik modelinden okunan değerleri ifade etmektedir. V_y , V_x ve V_h ise sırasıyla X, Y ve Elipsoid yükseklik değerleri arasındaki koordinat farklarını temsil etmektedir.

Elde edilen bu farklar üzerinden karesel ortalama hatalar aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$m = \pm \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n-1}} \quad (5)$$

Eşitlikte (5) m ; karesel ortalama hatayı, V ; hesaplanan değer ile kesin değer arasındaki koordinat farkını, n ise ölçü sayısını ifade etmektedir.

Bu bağlamda üretilen ortofoto haritası üzerindeki tüm test noktalarının hata değerleri tabloda verilmiş olup, x, y ve h yönündeki karesel ortalama hatalar 5 numaralı eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır (Tablo 11).

Tabloda hesaplanan koordinat değerinden kesin koordinat değerinin çıkartılmasıyla elde edilen farklar değeri cm mertebesinde belirtilmiştir. Ayrıca çalışma sahası içindeki 4 farklı topoğrafik yapıya düşen test noktaları kendi içinde sınıflandırılmıştır. Bu gruplara ayırma işlemi tabloda yer alan test noktalarının renklerine göre sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda tabloda kırmızı renk ile temsil edilen test noktaları düz alan, yeşil renk ile temsil edilen test noktaları eğimli alan, siyah renk ile temsil edilen test noktaları ormanlık alan ve son olarak mavi renk ile temsil edilen test noktaları ise yerleşim alanı sınırları içinde yer almaktadır.



Tablo 11. Test Noktalarında Hesaplanan Farklar

Nokta No	Hesaplanan Koordinat Değerleri			Kesin Koordinat Değerleri			Farklar (cm)			
	X (m)	Y (m)	h (m)	X (m)	Y (m)	h (m)	ΔX	ΔY	Δh	
11	4540747.772	564415.708	57.631	4540747.762	564415.692	57.611	1.0	1.6	2.0	
12	4540750.330	564446.767	59.065	4540750.317	564446.753	59.043	1.3	1.4	2.2	
13	4540757.677	564466.582	59.233	4540757.663	564466.589	59.209	1.4	-0.7	2.4	
14	4540742.014	564432.182	59.080	4540742.005	564432.166	59.059	0.9	1.6	2.1	
15	4540736.190	564456.060	59.161	4540736.176	564456.039	59.138	1.4	2.1	2.3	
16	4540714.858	564454.631	59.329	4540714.846	564454.616	59.302	1.2	1.5	2.7	
17	4540693.420	564453.407	59.344	4540693.421	564453.390	59.319	-0.1	1.7	2.5	
18	4540716.975	564471.816	59.613	4540716.962	564471.828	59.592	1.3	-1.2	2.1	
19	4540735.919	564500.546	59.495	4540735.899	564500.567	59.477	2.0	-2.1	1.8	
20	4540743.432	564523.278	59.443	4540743.421	564523.284	59.428	1.1	-0.6	1.5	
21	4540741.600	564544.934	59.552	4540741.614	564544.946	59.568	-1.4	-1.2	-1.6	
22	4540741.736	564556.427	59.603	4540741.744	564556.445	59.617	-0.8	-1.8	-1.4	
23	4540730.833	564551.650	59.560	4540730.826	564551.662	59.540	0.7	-1.2	2.0	
24	4540723.058	564547.174	59.508	4540723.078	564547.190	59.531	-2.0	-1.6	-2.3	
25	4540689.085	564552.293	59.588	4540689.081	564552.301	59.577	0.4	-0.8	1.1	
26	4540669.629	564537.814	59.710	4540669.642	564537.828	59.725	-1.3	-1.4	-1.5	
27	4540672.477	564573.433	67.179	4540672.489	564573.442	67.197	-1.2	-0.9	-1.8	
28	4540658.431	564590.154	67.474	4540658.422	564590.166	67.455	0.9	-1.2	1.9	
29	4540657.217	564625.308	67.124	4540657.210	564625.308	67.112	0.7	0.0	1.2	
30	4540648.880	564571.984	69.578	4540648.898	564572.010	69.609	-1.8	-2.6	-3.1	
31	4540636.277	564582.752	71.197	4540636.283	564582.763	71.220	-0.6	-1.1	-2.3	
32	4540641.717	564591.317	70.293	4540641.722	564591.328	70.313	-0.5	-1.1	-2.0	
33	4540643.586	564611.607	70.440	4540643.602	564611.624	70.465	-1.6	-1.7	-2.5	
34	4540644.164	564629.784	70.549	4540644.156	564629.802	70.533	0.8	-1.8	1.6	
35	4540630.359	564511.535	71.638	4540630.373	564511.549	71.656	-1.4	-1.4	-1.8	
36	4540603.902	564501.792	73.505	4540603.940	564501.829	73.551	-3.8	-3.7	-4.6	
37	4540533.743	564542.436	84.342	4540533.788	564542.468	84.390	-4.5	-3.2	-4.8	
38	4540538.059	564566.604	83.514	4540538.103	564566.646	83.560	-4.4	-4.2	-4.6	
39	4540513.564	564556.919	86.510	4540513.526	564556.883	86.475	3.8	3.6	3.5	
40	4540492.481	564552.424	88.159	4540492.422	564552.379	88.110	5.9	4.5	4.9	
41	4540513.403	564566.002	86.005	4540513.436	564566.035	86.046	-3.3	-3.3	-4.1	
42	4540504.972	564608.336	89.111	4540504.967	564608.329	89.097	0.5	0.7	1.4	
43	4540441.335	564503.300	90.938	4540441.354	564503.280	90.913	-1.9	2.0	2.5	
44	4540456.638	564451.322	90.716	4540456.655	564451.304	90.687	-1.7	1.8	2.9	
45	4540450.246	564435.556	90.628	4540450.261	564435.569	90.592	-1.5	-1.3	3.6	
46	4540452.644	564412.837	90.629	4540452.630	564412.848	90.608	1.4	-1.1	2.1	
47	4540444.695	564412.292	91.682	4540444.685	564412.283	91.648	1.0	0.9	3.4	
48	4540357.117	564452.277	98.923	4540357.100	564452.262	98.910	1.7	1.5	1.3	
49	4540359.961	564461.780	99.107	4540359.943	564461.760	99.092	1.8	2.0	1.5	
50	4540354.993	564478.455	99.460	4540354.974	564478.430	99.439	1.9	2.5	2.1	
51	4540375.957	564505.103	99.673	4540375.967	564505.120	99.682	-1.0	-1.7	-0.9	
52	4540358.962	564501.572	99.809	4540358.997	564501.598	99.850	-3.5	-2.6	-4.1	
							$\Sigma(VV)$	185.60	173.39	294.20

Ortofoto haritası üzerindeki test noktalarının hata değerlerinin hesaplanması işleminden sonra x, y ve h yönündeki karesel ortalama hata değerlerinin hesaplanması işlemine geçilmiştir. Bu hesaplama işlemi için 4 numaralı eşitlik kullanılmıştır (Tablo 12). Eşitlikteki

$\Sigma(VV)$ değeri 10 numaralı tabloda hesaplanmış olup, ölçü sayısı (n) parametresi ise işleme katılan toplam nokta sayısını temsil etmektedir.

Tablo 12. Test Noktalarının Her Üç Bileşendeki Karesel Ortalama Hata Değerleri

$m_x (cm)$	$m_y (cm)$	$m_h (cm)$
± 2.10	± 2.03	± 2.65

Ayrıca test noktaları üzerinde buldukları topoğrafik yapıya göre sınıflandırılmıştır. Bu bağlamda test noktaları dört farklı grup halinde değerlendirilerek aşağıdaki tablolar oluşturulmuştur (Tablo 13.).

Tablo 13. Farklı Topoğrafik Bölgelere Göre Test Noktalarının Her Üç Bileşendeki Karesel Ortalama Hata Değerleri

Düz Alan			Eğimli Alan			Ormanlık Alan			Yerleşim Alan		
$m_x (cm)$	$m_y (cm)$	$m_h (cm)$	$m_x (cm)$	$m_y (cm)$	$m_h (cm)$	$m_x (cm)$	$m_y (cm)$	$m_h (cm)$	$m_x (cm)$	$m_y (cm)$	$m_h (cm)$
1.28	1.52	2.08	1.21	1.56	2.21	4.37	3.79	4.48	1.96	1.92	2.78

6. BULGULAR VE İRDELEMELER

Tez kapsamında gerçekleştirilen uygulamada çalışma sahasının ortofoto haritası, yapılan uçuşlardan elde edilen hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirilmesiyle üretilmiştir. Çalışma sahasına homojen bir şekilde dağılmış 10 adet yer kontrol noktası ile üretilen ortofoto haritasının doğruluk analizinde kullanılmak suretiyle 42 adet test noktası arazide tesis edilmiş ve GNSS alıcısı yardımıyla konum bilgileri ölçümler sonucunda hesaplanmıştır (Tablo 3.). Yer kontrol noktalarının ölçümler sonucu hesaplanan değerleri kesin değer olarak kabul edilmiş olup, tez kapsamında üretilen ortofoto haritasındaki test noktalarının okunan değerleri ise hesaplanan değer olarak tanımlanmıştır.

Bu bağlamda gerek yatay doğrultuda (ΔX , ΔY) gerekse düşey doğrultuda (Δh) oluşan farklar ile her üç bileşen için test noktalarının karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo 12.). Buna göre test noktalarının x yönündeki karesel ortalama hata değeri (m_x) ± 2.10 cm, y yönündeki karesel ortalama hata değeri (m_y) ± 2.03 cm ve düşey yöndeki karesel ortalama hata değeri (m_h) ise ± 2.65 cm olarak bulunmuştur. Ayrıca test noktaları 4 farklı gruba (Yerleşim sahası, ormanlık sahası, düz ve eğimli saha) ayrılan çalışma sahası üzerindeki konumlarına göre sınıflandırılarak her gruba ilişkin grafikler üretilmiştir (Şekil 46.). Her gruba düşen test noktalarının kendi içinde hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo 13.). Tabloya göre ormanlık alan üzerine düşen test noktalarının hata değerleri diğer bölgelere düşen test noktalarının hata değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın en düşük hata değerlerine sahip test noktaları ise düz alanda bulunmaktadır.

Büyük ölçekli harita ve harita bilgileri üretim yönetmeliğindeki fotogrametrik çalışmalar kısmında, tez kapsamında gerçekleştirilen uygulamanın standartlarından bahsedilmektedir. Söz konusu standartlarda, üretilen ortofoto haritasının doğruluğunun tespit edilmesi aşamasında kullanılan test noktalarında karesel ortalama hataların maksimum sınır değerleri belirtilmiştir. Yönetmelikte yer alan bu sınır değerleri x ve y koordinatlarında $\pm 1.5 * \text{Yer Örnekleme Aralığı (YÖA)}$ ve z koordinatında ise $\pm 2 * \text{YÖA}$ 'dan küçük bir değere sahip olmalıdır.

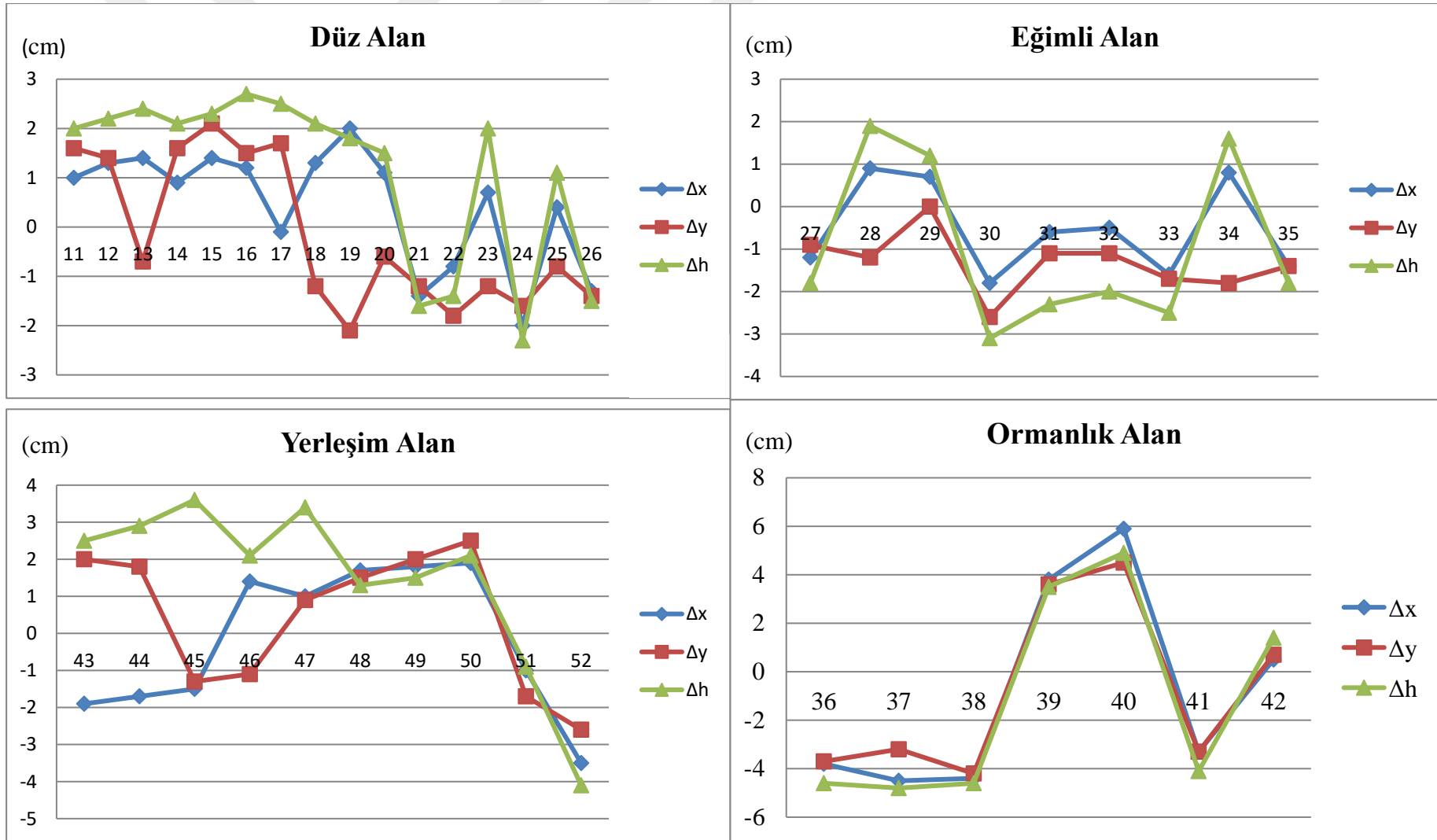
Tez kapsamında uçuş planlaması aşamasında yer örnekleme aralığı 1.49 cm/piksel olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda yönetmelikte yer alan sınır değer x ve y yönünde 2.24 cm ($1.5 * 1.49$) iken z yönünde ise 2.98 ($2 * 1.49$) cm olarak hesaplanmıştır.

Buna göre tez kapsamında test noktalarına ilişkin hesaplanan her 3 eksene ait karesel ortalama hata değerleri yönetmelikte yer alan sınır değer içinde olduğu gözlemlenmiştir.

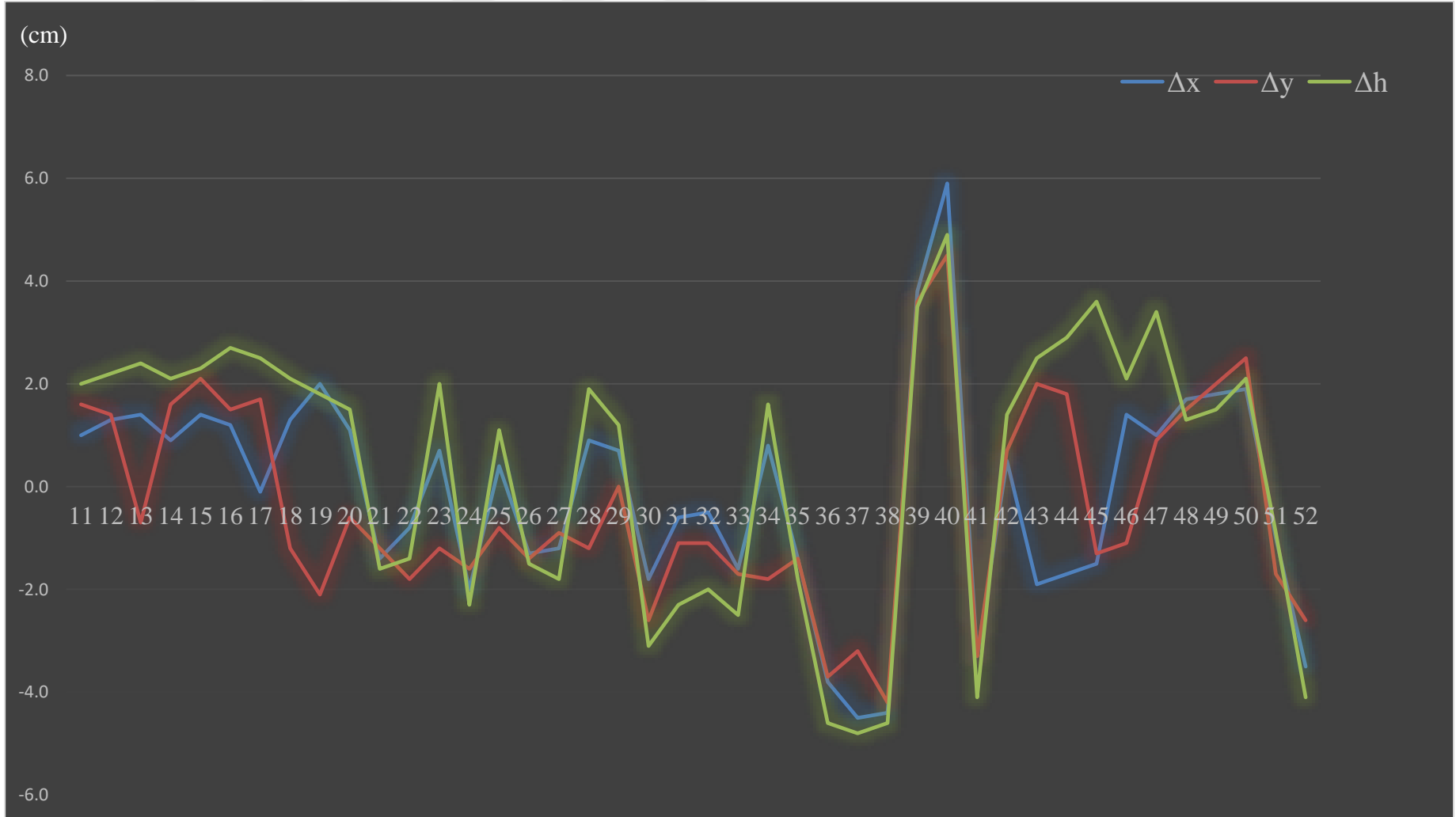
Ayrıca tüm test noktaları irdelendiğinde x, y ve h yönündeki en büyük farkların sırasıyla 5.9 cm, 4.5 cm ve 4.9 cm olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 11).

Koordinat farklarını içeren tablo dikkate alınarak her bir test noktasının her üç yöndeki fark vektörleri hesaplanarak grafiksel gösterimi elde edilmiştir (Şekil 47.). Bu grafiğe göre 36, 37, 38, 39, 40, 41, 52 numaralı test noktalarının hata değerleri, diğer noktaların hata değerlerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Buna ek olarak hata değerleri yüksek çıkan noktalardan 52 numaralı nokta dışındaki tüm noktaların ormanlık saha üzerinde yer aldığı, 52 numaralı noktanın ise yerleşim sahası üzerinde bulunduğu tespit edilmiştir.





Şekil 46. Test Noktalarındaki Hata Değerlerinin Topoğrafik Türlerine Göre Grafiksiz Gösterimi



Şekil 47. Test Noktalarındaki Hata Değerlerinin Grafikselsel Gösterimi

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İHA'nın kullanımıyla zaman, maliyet ve iş gücü faktörlerinin mümkün olduğu kadar minimum seviyelere indirgenebilmesi, diğer tüm mühendislik disiplinlerinde olduğu gibi haritacılık faaliyetleri açısından da oldukça önemli bir role sahiptir. Teknolojinin gelişmesiyle İHA'nın kullanıldığı uygulama alanları genişlemekte buna paralel olarak üretilen verinin doğruluğu önem kazanmaktadır.

Tez kapsamında İHA kullanılarak elde edilen hava fotoğraflarının fotogrametrik değerlendirilmesi sonucu çalışma sahasının sayısal yükseklik modeli ve ortofoto haritası üretilmiştir. Öncelikle her üç eksene ait karesel ortalama hata değerleri dikkate alındığında elde edilen ürünlerin doğruluk değerlerinin BÖHY'ne göre standartlara uygun olup olmadığı irdelenmiştir. İlgili standartlarda, üretilen ortofoto haritasının doğruluğunun tespit edilmesi aşamasında kullanılan test noktalarının karesel ortalama hatalarının maksimum sınır değerleri ifade edilmiştir. Yönetmelikte belirtilen bu sınır değerleri x ve y bileşenleri için $\pm 1.5 * YÖA$ ($1.5 * 1.49 = 2.24$), z bileşeni için ise $\pm 2 * YÖA$ ($2 * 1.49 = 2.98$)'dir. Bu bağlamda test noktaları için hesaplanan her 3 bileşene ait karesel ortalama hata değerleri yönetmelikte yer alan sınır değer içinde olduğu tespit edilmiştir (Tablo 12.).

Bu işlemten sonra üretilen ortofoto haritasının doğruluğunun irdelenmesi uygulamasına geçilmiştir. Tüm test noktaları incelendiğinde, x, y ve h bileşenlerindeki en büyük hata değerlerinin sırasıyla 5.9 cm, 4.5 cm ve 4.9 cm olduğu tespit edilmiştir (Tablo 11.) (Şekil 47.). Daha sonra çalışma sahası düz alan, eğimli alan, yerleşim alan ve ormanlık alan olmak üzere 4 ayrı gruba bölünerek her gruba düşen test noktalarının doğrulukları ayrı ayrı incelenip bölge bazlı ortofoto haritasının doğruluğu irdelenmiştir. Buna göre ormanlık alana düşen test noktalarındaki (36, 37, 38, 39, 40, 41) hata değerlerinin diğer bölgelere düşen test noktalarındaki hata değerlerine kıyasla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca yerleşim alan üzerinde bulunan 52 numaralı test noktasının da her üç bileşen için hata değerlerinin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun nedenleri; 52 numaralı nokta için binanın oldukça yakınında bulunması iken hata değerleri yüksek çıkan diğer noktaların (36, 37, 38, 39, 40, 41) ise kapalılığın yoğun olduğu ağaçlık sahalarda yer almasının yanı sıra hava fotoğrafları arasında test noktalarının bulunduğu zemin üzerinde yeterince ortak nokta tespit edilememesinden kaynaklı bu noktaların hata değerlerinin diğer noktalara nazaran daha yüksek çıktığı kanaatine varılmıştır.

Buna ek olarak çalışma sahası içinde her bir bölgeye düşen test noktalarının ayrı ayrı karesel ortalama hata değerleri incelendiğinde her üç bileşen (x, y ve h) için ormanlık alandaki test noktalarının karesel ortalama hata değerlerinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük hata değerlerine sahip test noktaları ise düz alan bölgesinde yer almaktadır (Tablo 13.). Her bir bölgeye düşen test noktalarına ait hata değerleri grafiksel biçimde gösterilmiştir (Şekil 46.).

Her ne kadar ormanlık alanlarda diğer alanlara kıyasla yüksek doğruluk yakalanmamış olsa da karesel ortalama hata değerlerinin BÖHY' nin belirlemiş olduğu sınır değerler içinde kalmasından dolayı ortofoto haritası üretimi için İHA tekniğinin iş gücü, zaman ve maliyet açısından diğer geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla daha avantajlı olduğu kanaatine varılmıştır.

8. KAYNAKLAR

- Aleshin, M., Larisa, G., Goryainov, I. ve Melnikov, A. 2020. DEM generation based on commercial UAV photogrammetry data. 19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development.
- Alladi, T., Naren, N., Bansal, G., Chamola, V. ve Guizani, M. 2020. SecAuthUAV: A Novel Authentication Scheme for UAV-Ground Station and UAV-UAV Communication, IEEE Transactions on Vehicular Technology.
- Alptekin, A., Çelik, M.Ö., Kuşak, L., Bünyan, Ü.F. ve Yakar, M. 2019. Anafi Parrot'un Heyelan Bölgesi Haritalandırılmasında Kullanımı, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 1, 1, 33-37.
- Arif, F., Maulud, K. ve Rahman, A. 2018. Generation of digital elevation model through aerial technique. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Ates, H. 2020. Tarım ve Ormancılık Sektöründe İnsansız Hava Aracı Kullanımı. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Avdan, U., Bilget, Ö., Cömert, R., Savaşlı, E. ve Önder, O. 2014. İnsansız Hava Araçları Yardımı ile Tarımsal Alanlarda Yeşil Band Kullanımıyla Normalize Edilmiş Bitki Örtüsü Hesaplanması. V. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu, Ekim 2014, İstanbul.
- Ayyıldız, E., Özer, E., Özmüş, L., Erkek, B. ve Bakıcı, S. 2015. İnsansız hava aracı (İHA) ve uçak platformlarından elde edilen görüntülerin ortofoto üretiminde karşılaştırılması, TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu, Mayıs, Konya.
- Bilgen, B. 2017. GNSS Tekniği İle Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Buğday, E. 2019. Orman yönetiminde insansız hava aracı uygulamaları. Conference: 2nd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences EurasianBioChem. Ankara.
- Bülbül, S. 2018. Tusaga-Aktif Noktalarında Renkli Gürültülerden Arındırılmış Hız Bileşenlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Comert, R., Avdan, U. ve Şenkal, E. 2012. İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Gelecekteki Beklentiler, IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim, Zonguldak.

- Comert, R., Avdan, U. ve Uça Avcı, Z. 2016. İnsansız Hava Aracı Verilerinden Nesne Tabanlı Bina Çıkarımı. 6. Uzaktan Algılama – Cbs Sempozyumu (UZAL – CBS), 5-7 Ekim, Adana.
- Costantino, D., Carrieri, M., Garofalo, A.R., Angelini, M.G., Baiocchi, V. ve Bogdan, A.M. 2019. Integrated survey for tensional analysis of the vault of the church of San Nicola in Montdoro, 2nd International conference of geomatics and restoration, Milan, Italy, pp. 455-460.
- Çallı, R. 2021. İha Sistemleri İle Elde Edilen Ortofoto Haritaların Doğruluk Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tokat.
- Çelik, M., Alptekin, A., Unel, F.B. Kuşak, L. ve Yakar, M. 2019. Effect Of Flight Height On Dem And Orthophoto, Cilicia International Symposium on Engineering and Technology, Mersin.
- Çiçekli, S.Y. 2015. Hava Fotogrametrisinde Otomatik Ve Operatör Tarafından Toplanan Sayısal Yükseklik Verilerinin Harita Üretim Doğruluğuna Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Döner, F., Ceylan, M. ve Özdemir, S. 2014. İnsansız Hava Aracı Sistemlerinin Veri Toplama Ve Haritalama Çalışmalarında Kullanımı. 5. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (Uzal-Cbs), 14-17 Ekim, İstanbul.
- Eisenbeiss, H. 2009. UAV photogrammetry.
- Ender, B. 2019. Orman Yönetiminde İnsansız Hava Aracı Uygulamaları. 2nd International Eurasian Conference on Biological and Chemical Sciences (EurasianBioChem), June 28-29, Ankara, Turkey.
- Erdoğan, A. 2016. Şeritvari haritaların insansız hava araçları ile üretimi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ersoy, N. 1977. İstanbul Nirengi Çalışmalarının Yersel ve GPS ile Değerlendirilmesi ve Analizi, Doktora Tezi, YTÜ, İstanbul.
- Gençerk, E.Y. 2016. İnsansız Hava Aracı Fotogrametrisi Uygulaması İle İnşaat Projesi İmalat Durumunun Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Gezgin, C. 2020. Gnss Ve Insar Teknikleri İle Tuz Gölü Fay Zonu'nun (Tgfz) Kinematik Analizi, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Gültekin, Y., Özemir, I., Uzar, M. ve Şimşek, M. 2016. İnsansız Hava Araçları İle Ortofoto Ve SYM Üretimi. 6. Uzaktan Algılama – Cbs Sempozyumu (UZAL – CBS), 5-7 Ekim, Adana.

- Gürbüz, M.F. 2016. Kentsel Alanlarda İha Görüntülerinden Ortofoto Oluşturma Ve Otomatik Ağaç Tespiti. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Hastaoğlu, K. 2009. GPS Hızlı Statik Yöntem İle Heyelanların İzlenebilirliğinin Araştırılması: Sivas Koyulhisar Heyelanı Örneği, Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Collins, J. 2001. Global Positioning System. Theory and Practice.
- Hoffmann–Wellenhof, B., Lichtenegger, H. ve Walse, E. 2008. GNSS:Global Navigation Satellite Systems – GPS, GLONASS, GALLILEO & more, Springer, Wien, New York.
- Idrees, M.A. ve Abulrahman, F.H. 2020. Evaluation Of Uav-Based Dem For Volume Calculation. Journal of Duhok University, 23, 1, 11-24.
- İnal, C., Bülbül, S. ve Yıldırım, Ö. 2014. Ağ RTK Ölçülerinin Tekrarlanabilirliği, Afyonkocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14. 1-7.
- Jacobsen, K. 2000. Combined Bundle Block Adjustment Versus Direct Sensor Orientation, Institute for Photogrammetry and Engineering Surveys University of Hannover, Germany.
- Kabadayı, A. ve Uysal, M. 2019. İnsansız Hava Aracı İle Elde Edilen Verilerden Binaların Tespiti, Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, 1, 1, 8-14.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F. 2001. Global konum Belirleme Sistemi (Teori-Uygulama). Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- Karakış, S. 2012. İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması, Harita Dergisi Ocak 2012 Sayı 147 13-20.
- Kılıç, Y., Ekinci, K. ve Kısa, A. 2017. İHA ve Hava Kameralı Uçak İle Havadan Alınan Görüntüler Sonucu Elde Edilen Ürünlerin Karşılaştırılması, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara.
- Koca, B. ve Ceylan, A. 2018. Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler, Geomatik, 3, 1, 63-73.
- Konya, O., Arıcan, D., Uzar, M., Soysal, H.O. ve Eken, V. 2017. Hava Fotogrametrisi ve Jeodezik Yöntemler ile Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi: Erzurum Aksu Köyü Örneği. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye, 03 Haziran, ss.1-6.
- Kun, M. ve Özcan, B. 2019. Maden ocaklarında insansız hava aracı kullanımı: örnek bir saha çalışması. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 554-564.

- Makineci, H., Karabörk, H. ve Durdu, Akif. 2020. Comparison of DEM based on Geodetic Methods and Photogrammetric Usage of UAV. 2. 58-69. Turkish Journal of Remote Sensing, 2, 2, 58-69.
- Mırdan, O. ve Yakar, M. 2017. Tarihi Eserlerin İnsansız Hava Aracı İle Modellenmesinde Karşılaşılan Sorunlar. Geomatik. 2. 118-125.
- Mokrane, A., Choukchou-Braham, A. ve Brahim, C. 2019. DEM Generation Based On UAV Photogrammetry, 1-5, International Conference on Advanced Electrical Engineering (ICAEE).
- Nacar, F. 2015. Türkiye'deki Kadastro Yenileme Çalışmalarında Ortofoto ve Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, T.C. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Ngadiman, N., Kaamin, M., Sahat, S., Mokhtar, M., Ahmad, N., Farah A., Kadir, A. ve Razali, S. 2018. Production of orthophoto map using UAV photogrammetry: A case study in UTHM Pagoh campus. AIP Conference Proceedings.
- Önal, O. 2016. Bir Dolgu Şevin İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Modellenmesi, Geoteknik Sempozyumu.
- Özbalmumcu, M. 2007. Fotogrametrik Yöntemle Ortofoto Harita Üretiminin Temel Esasları, Ortofotonun Yararları ve Kullanım Alanları. TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu, İstanbul.
- Özcan, O. 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Farklı Yüksekliklerden Üretilen Sayısal Yüzey Modellerinin (SYM) Doğruluk Analizi. Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi, 2, 1, 1-7.
- Öztürk, O., Bilgilioğlu, B., Çelik, M., Bilgilioğlu, S. ve Uluğ, R. 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) Görüntüleri ile Ortogörüntü Üretiminde Yükseklik ve Kamera Açısının Doğruluğa Etkisinin Araştırılması, Geomatik.
- Pajares, G. 2015. Overview and Current Status of Remote Sensing Applications Based on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 81, 4, 281-329.
- Palestini, C. ve Basso, A. 2019. 3D detection and reconstruction experiments in river basins. 8th International workshop 3D-Arch, Bergamo, Italy, pp. 543-550.
- Parrot, 2018. Anafi User Manual v2.2. pp.1-73.
- Rizos, C. 1999. Principles and Practice of GPS Surveying, version 1.1. The University New South Wales, Australia.
- Saygılı, B. 2019. İnsansız Hava Aracı İle Fotogrametrik Olarak Üretilen Verilerin Konum Doğruluklarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.

- Selek, E. 2019. İHA İle Üretilmiş Ortofoto, Sayısal Arazi Ve Yüzey Modeli Performanslarının İncelenmesi: Bursa ili örneği, Yüksek Lisans Tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Stalin, L. ve Gnanaprakasam, R.P.C. 2017. Volume Calculation form UAV based DEM. International Journal of Engineering Research.
- Sužiedelytė-Visockienė, J., Puziene, R., Stanionis, A.ve Tumeliene, E. 2016. Unmanned Aerial Vehicles for Photogrammetry: Analysis of Orthophoto Images over the Territory of Lithuania. International Journal of Aerospace Engineering.
- Şahin, İ. 2013. Yığın Ortofoto Üretiminde Süreç Optimizasyonu, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tekin, S. ve Tekir, F. 2020. İnsansız Hava Aracı (İHA) ile Ortofoto ve Sayısal Yükseklik Modeli Üretimi: Adıyaman Üniversitesi Merkez Kampüs Örneği. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi.
- Tercan, E. 2017. İnsansız Hava Aracı Kullanılarak Antik Kent Ve Tarihi Kervan Yolunun Fotogrametrik Belgelemesi: Sarıhacılar Örneği. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 5, 3, 633-642.
- Tezcan, C., Gundogdu, K. S., Bilgili, U. ve Yöner, F. 2016. İnsansız Hava Aracı ile Bitki Gelişimi Takibi. 13. Ulusal Kültür Teknik Kongresi.
- Toprak, A.S. 2014. Fotogrametrik tekniklerin insansız hava aracı ile mühendislik projelerinde kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Torun A. 2017. İnsansız Hava Aracı (İHA) Sektörü Ve İHA Fotogrametrisinin Ölçme Bağlamında Konumlandırılması, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.
- Tufan, T. 2011. Ortofoto Harita Üretimi ve Coğrafi Bilgi Sisteminde Veri Kaynağı Olarak Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Yaman, A. 2018. Farklı Yüksekliklerden Kayıt Edilen Sayısal Hava Görüntülerinden Üretilen Ortofotolarda Doğruluk Araştırması, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Aksaray.
- Yıldırım, Ö., Salgın, Ö. ve Bakıcı, S. 2011. The Turkish CORS Network (TUSAGA Aktif), FIG Working Week 2011 Bridging the Gap between Cultures Marrakech, Morocco, 18-22 May.
- Yıldız, F. ve Kahveci, M. 2010. GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri Teori ve Uygulama Kitabı, Nobel Yayınları, Ankara.
- Yılmaz, V., Akar, A., Akar, Ö., Güngör, O., Karşlı, F. ve Gökalp, E. 2013. İnsansız Hava Aracı ile Üretilen Ortofoto Haritalarda Doğruluk Analizi. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VII. Teknik Sempozyumu (TUFUAB), 23-25 Mayıs.

Yilmaz, V., Konakoglu, B., Serifoglu, C., Gungor, O. ve Gökalp, E. 2018. Image classification-based ground filtering of point clouds extracted from UAV-based aerial photos, Geocarto International, 33, 3, 310-320.



ÖZGEÇMİŞ

İlköğrenimi Vali Sabahattin Çakmaköđlu İlköğretim Okulu, orta öğrenimini Mehmet Fatih Deveci Ortaokulu ve lise öğrenimi de 19 Mayıs Anadolu Lisesinde tamamladı. 2011-2016 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2016 yılı itibariyle Rota Harita Mühendislik bürosunda harita işleri kapsamında 1 sene boyunca çalışmıştır. Daha sonra Trabzon Büyükşehir Belediyesinde Harita Mühendisi unvanıyla 6 ay görev yaptıktan sonra Çelebi Havacılık Holding bünyesinde planlama uzmanı olarak çalışmaya devam etmektedir. Evli olup, bildiği yabancı dil ise İngilizcedir.