

# 3B ŞEHİR MODELLERİ VE KADASTRO VERİ ÜRETİMİNDE TAMAMLAYICI VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sedat BAKICI<sup>1</sup>, Fuat Volkan PASİNLİ<sup>2</sup>, Hürcan ATAY<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Danışman., Atay Mühendislik, Ankara, sbakici@ataymuhendislik.com  
<sup>2</sup>Fotogrametri Koordinatör, Atay Mühendislik, Ankara, vpasinli@ataymuhendislik.com  
<sup>3</sup>CEO, Atay Mühendislik, Ankara, hurcan@ataymuhendislik.com

## ÖZET

Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğümüz tarafından ürettiği kent merkezlerinde sürdürülen 3B Şehir Modelleri ve Kadastro projesi, bir uçak ve oblik (eğik) kamera ile veri toplamak sureti ile devam etmektedir. Bu çalışma ile, sonuçları ülkemize büyük faydalar sağlayan ve çok fazla kurum ve kişi tarafından kullanılacak olan Proje kapsamında il merkezlerinin yanı sıra alternatif yöntemler kullanarak kapasite artırımı ile ilçe merkezlerinde de 3B veri toplama platform ve sensörleri (algılayıcı) araştırılmıştır.

Fotogrametrik üretimlerde insanlı uçaklar büyük alanlar için uygun olmakla birlikte ilçeler gibi nispeten küçük yerleşim alanlarında dronlar ile görüntü almak daha uygulanabilir. 3 boyutlu şehir modelleri üretiminde drone kullanımı, hızlı ve ayrıntılı veri toplama yetenekleri sayesinde oldukça yaygın hale gelmiştir. İşte bu süreçte kullanılan oblik kameralar, LIDAR ve geniş formatlı sensörler 3B kadastro projelerine zaman ve maliyet açısından büyük katkı sağlayacaktır. Dronlar, özellikle ulaşılması zor veya tehlikeli bölgelerde veri toplama açısından büyük avantaj sağlar. Yüksek irtifalarda uçabilme yetenekleri, geniş alanların hızlı ve etkili bir şekilde taranmasını mümkün kılar. Geleneksel hava fotoğrafçılığı veya yersel ölçüm yöntemlerine kıyasla, dronlar daha düşük maliyetle yüksek kaliteli veriler toplayabilir.

Oblik kameralar, farklı açılardan görüntü alarak daha detaylı ve kapsamlı 3 boyutlu modeller oluşturulmasına olanak tanır. Bu kameralar, özellikle bina cephelerinin ve sokakların ayrıntılı modellenmesinde kullanılır. Bu kameralar, yüksek çözünürlüklü görüntüler sağlayarak modelleme sürecinde daha fazla ayrıntının yakalanmasını sağlar. Önceleri uçaklar için üretilen oblik kameralar, son yıllarda İHA lar içinde üretilmiş ve başarılı biçimde kullanılmaktadır.

LIDAR (Light Detection and Ranging) LIDAR, lazer ışınları kullanarak çok yüksek doğrulukta mesafe ölçümleri yapar. Bu, özellikle topografik detayların ve bina yüksekliklerinin doğru bir şekilde modellenmesi için kritik öneme sahiptir. LIDAR, düşük ışık koşullarında ve hatta gece bile çalışabilir, bu da veri toplama sürecini hava ve ışık koşullarından bağımsız hale getirir. LIDAR, bitki örtüsü altındaki arazi yapısını ortaya çıkarabilir, bu da ormanlık alanların ve şehir içi yeşil alanların modellenmesi için önemli bir avantajdır.

Dronlarda kullanılan metrik olmayan kameraların dışında Geniş Formatlı ve Metrik Kameralar, daha geniş alanların tek bir uçuşta görüntülenmesine olanak tanır, bu da veri toplama sürecini hızlandırır. Yüksek çözünürlüklü geniş formatlı sensörler, şehir modellemesi için gerekli olan detayları yakalayabilir.

Toplanan verilerin işlenmesi ve entegre edilmesi için DJI Terra ve Modify gibi gelişmiş yazılım araçları kullanılır. Bu yazılımlar, farklı veri kaynaklarını (oblik kamera görüntüleri, LIDAR verileri, geniş formatlı sensör verileri) bir araya getirerek, hassas ve gerçekçi 3 boyutlu şehir modelleri oluşturur. Veri işleme sürecinde otomasyon ve yapay zekâ teknikleri kullanılarak, veri analizinin hızlandırılması ve doğruluğunun artırılması sağlanır.

Bu teknolojiler, 3 boyutlu şehir modellerinin oluşturulmasında büyük bir dönüşüm yaratmıştır ve şehir planlama, altyapı yönetimi, afet

yönetimi gibi birçok alanda önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu amaçla Polatlı ilçemizin güney tarafında kentleşmenin olduğu bölgede platform olarak DJI İHA ve sensör olarak oblik kamera, L2 LIDAR ve geniş formatlı metrik kamera ile veri toplanmış ve işlenmiş olup, bu bildiri dahilinde toplanan verilerin 3B şehir modelleri kadastro kapsamında tek başına ya da entegre kullanımının teknik, zamansal ve maliyet boyutları araştırılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** 3B Kadastro, 3B şehir modelleri, dron, İHA, LIDAR, oblik kamera

## ABSTRACT

### EVALUATION OF COMPLEMENTARY DATA COLLECTION METHODS IN 3D CITY MODELS AND CADASTRE DATA PRODUCTION

The 3D City Models and Cadastre Project, which continues to be produced in city centers by our General Directorate of Land Registry and Cadastre, is ongoing through data collection with an aircraft and an oblique camera. With this study, 3D data collection platforms and sensors were researched in district centers by increasing capacity using alternative methods, as well as in provincial centers, within the scope of the Project, the results of which will provide great benefits to our country and will be used by many institutions and people.

*Although manned aircrafts are suitable for larger areas in photogrammetric data acquisition, it is more feasible to acquire images with drones in relatively small residential areas such as district centers. The use of drones in the production of 3D city models has become quite widespread due to their fast and detailed data collection capabilities. In this process, oblique cameras, LIDAR, and large-format sensors will significantly contribute to 3D cadastre projects in terms of time and cost. Drones provide a great advantage in data collection, especially in difficult or dangerous areas. Their ability to fly at high altitudes enables the rapid and effective scanning of large areas. Drones can collect high-quality data at a lower cost compared to traditional aerial photography or terrestrial measurement methods.*

*Oblique cameras allow the creation of more detailed and comprehensive 3D models by capturing images from different angles. These cameras are particularly used in the detailed modeling of building facades and streets. They provide high-resolution images, capturing more details in the modeling process. Oblique cameras, which were previously produced for aircraft, have been produced and used successfully in UAVs in recent years.*

*LIDAR (Light Detection and Ranging) uses laser beams to make highly accurate distance measurements. This is crucial for accurately modeling topographic details and building heights. LIDAR can operate in low light conditions and even at night, making the data collection process independent of weather and light conditions. LIDAR can reveal the terrain structure beneath vegetation, which is an important advantage for modeling forested areas and urban green spaces.*

*In addition to non-metric cameras used on drones, large-format and metric cameras allow the imaging of larger areas in a single flight, speeding up the data collection process. High-resolution large-format sensors can capture the details necessary for city modeling.*

*Advanced software tools such as DJI Terra and Modify are used to process and integrate the collected data. These software tools combine different data sources (oblique camera images, LIDAR data, large-format sensor data) to create precise and realistic 3D city models. Automation and artificial intelligence techniques are used in the data processing process to accelerate data analysis and increase accuracy. These technologies have created a major transformation in 3D city models and provide significant contributions in many areas such as urban planning, infrastructure management, and disaster management.*

*For this purpose, data has been collected and processed with a DJI drone and sensors such as an oblique camera, L2 LIDAR, and a large-format metric camera in the urbanized area on the southern side of our Polatlı district. Within the scope of this paper, the technical, temporal, and cost aspects of the use of the collected data alone or in integrated form within the scope of 3D city models and cadastre have been researched.*

**Keywords:** 3D Cadastre, 3D City Models, Drone, UAV, LIDAR, Obliq camera

## 1. GİRİŞ

Polatlı Ankara'nın 75 km güneybatısında yer alan en büyük ilçelerinden biridir, Eskişehir/Afyon yolu üzerinde olup özellikle tarım ve sanayi anlamında oldukça gelişmiştir. Ankara'dan güney ve batıya yapılan yolculuklar için de bir geçiş noktasıdır ( Eskişehir-Bursa-Antalya- İzmir-vs).

Gelişen dron ve kamera teknolojileri ile birlikte sektörümüze hergün yeni bir ürün sunulmaktadır, bu ürünler hem hızlı hem de hassas veri toplama noktasında büyük kolaylık sağlamaktadırlar. Ülkemizde son yıllarda özellikle Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün (TKGM) yaptığı yatırım ve çalışmalar sayesinde 3 Boyutlu (3B) kadastro projeleri üretilmeye başlanmış ve bu projelerin içinde oblik kameralarla toplanılan verilerden oluşturulan 3 boyutlu şehir modelleri kullanılmıştır.

TKGM bu projelerde Vexcel tarafından üretilen Osprey1 Oblik kameralarını kullanmaktadır, Osprey 1 tanesi nadir 4 tanesinde 45 derecelik açılarla yerleştirilmiş 5 adet kameradan oluşmuş bütünsel bir sistemdir ve özellikle 3B şehir modeli üretimlerinde kullanılabildiği gibi sadece nadir sensörü aktif bırakılarak normal fotogrametrik veri de toplayabilmektedir.



**Şekil 1.** Vexcel Osprey1 Fotogrametrik Oblik Kamera

## 2. TAMAMLAYICI VERİ TOPLAMA YÖNTEMLERİ

Bu bölüme çalışmanızın sonuçlarını mümkün olduğunca anlaşılır ve net şekilde kısaca yazmanız ve çalışmanızın kaynaklara olan katkısının özellikle belirtilmesi beklenmektedir. Ayrıca çalışmanın eksik yönlerini ve ileriye dönük çalışmalara da yer verilebilir.

Oblik kameralar sadece Osprey’de olduğu gibi sadece büyük formatta üretilmemektedir, dronlarla uyumlu, fotoğraf formatı daha küçük ama daha hafif ve son derece etkili kullanılabilen oblik kameralar da mevcuttur.

Atay Mühendislik olarak Riebo firması tarafından üretilen D2M oblik kamera’nın yoğun meskun alandaki performansını test etmek istedik ve Ankara/ Polatlı bölgesinde ortalama 600 Ha alanı kapsayan alanda DJI M300 RTK drone ve D2M oblik kamerayı ve DJI Zenmuse L2 LIDAR sensörünü kullanarak bir test çalışması gerçekleştirdik. Bu test’in amacı hem mevcut konfigürasyonun uyumunu görmek hem de toplanan verilerden farklı üretimler yaparak konum hassasiyeti ve veri kalitesini gözlemlemektir. Bunu yaparken farklı yazılımların performanslarını da test ettik.

Bu projede kullanılan ekipmanın teknik detayları aşağıdaki gibidir;

**Tersus Luka GNSS Alıcısı:** Küçük ve hafif, taşınması ve çalıştırması kolay yeni nesil bir GNSS RTK sistemidir. Kalibrasyon gerektirmeden, manyetik bozulmalardan etkilenmeden eğik ölçüm yapabilirsiniz. Düzece ihtiyaç yoktur. Dahili yüksek performanslı çoklu frekans GNSS kartı ile cors cihazı LUKA GNSS Alıcısı, dengeli ve yüksek doğrulukta sinyal algılama sağlar. Yüksek performanslı anten, ilk düzeltme süresini (TTFF) hızlandırır ve parazit önleme performansını iyileştirir. 7000 mAh kapasiteli dahili bataryası sayesinde 4G/ 3G/ 2G ağlarda ve Gezici Radyo modunda 19 saate kadar saha çalışmasına olanak sağlar. Yerleşik UHF radyo modülü uzak mesafe iletişimi destekler. Sağlam taşıma çantası cihazı zorlu ortamlardan korur. LUKA GNSS Alıcısı, kullanıcıların farklı ihtiyaçları için tasarlanmış 4 versiyona sahiptir.



Şekil 2. TersusLuka GNSSAlıcısı

### Teknik Özellikler:

- Çoklu uydu ve frekans desteği:
  - GPS L1/L2/ L5
  - GLONASS L1/ L2
  - BeiDou B1i/ B2i/ B3i/ B1C/ B2a Galileo E1/ E5a/ E5b
  - QZSS L1/ L2/ L5
- 1568 kanal desteği.
- 410-470MHz UHF radyo(1), 4G, WI-FI, Bluetooth, NFC.
- Kalibrasyon gerektirmeyen, manyetik bozulmalardan etkilenmeyen eğik ölçme yeteneği.
- Kullanımı kolay, kompakt tasarım.
- 8 GB dahili hafıza.
- 19 saate kadar pil ömrü(2).
- Zorlu saha koşulları için IP68 derecesinde suya ve toza dayanıklılık.

Tersus Luka alıcısı Polatlı projesinde hem RTK uçuş sırasında base istasyonu olarak hem de proje kapsamında tesis edilen yer kontrol noktalarının TUSAGA-AKTİF destekli koordinat okumalarında kullanılmıştır.

- 1.2 Riebo D2M Oblik Kamera:** Riebo 20MP’den 100MP’ye kadar farklı odak uzaklıklarına sahip metrik drone kameraları üreten bir firmadır D2M Riebo firmasının özellikle 3D şehir modellemesi için ürettiği bir kameradır, hem konum hassasiyeti hem de radyometrik çözünürlük olarak son derece üst düzey bir üründür, döner kanat ve sabit kanat dronlarda

kullanılabilmektedir.



Şekil 3. Riebo D2M Oblik Kamera

#### Teknik Özellikler:

- 26 MP/ 31 MP Lens Başına Piksel
- 130 MP/ 155 MP Toplam Piksel
- 610g / 605g Ağırlık
- APS-CCMOS
- 105 mm \* 105 mm \* 89 mm Boyut
- 0.5 s Enstantane Aralığı
- Mekanik Küresel Deklanşör (500.000 kez)
- M210 V2 serisi, M300 serisi ve diğer ana akım İHA'lar ile uyumlu
- -20°C- 65°C Çalışma Sıcaklığı
- Dronlar için birleşik güç kaynağı
- >300MB/s Veri Aktarım Hızı
- Skyscanner (veri ön işleme yazılımı)
- Orto 25 mm/ 30 mm Odak Uzaklığı
- Eğik 35/ 45 mm Odak Uzaklığı

**DJI M300 RTK Döner Kanatlı Drone:** MATRICE 300 RTK dünyanın en büyük drone üreticisi DJI tarafından modern havacılık sistemlerinden ilham alınarak tasarlanmıştır. Yeni bir endüstriyel drone platformudur, 55 dakikaya kadar uçuş süresi vardır. Gelişmiş konumlandırma yetenekleri 6 yönlü algılama ve daha fazlasını sizlere sunar. Yeni OcuSync Enterprise, 15 km uzaklığa kadar iletim sağlar. Üç kanallı 1080p videoyu destekler. 2,4 GHz ve 5,8 GHz4 arasında gerçek zamanlı otomatik geçiş, yüksek parazitli ortamların yakınında güvenilir uçuş sağlarken, AES-256 şifreleme güvenli veri iletimi sunar , sahip olduğu hassas gimbal ve gelişmiş RTK yetenekleri ile güvenilir yöneltme bilinmeyenleri elde etmenizi sağlamaktadır.



Şekil 4. DJI Matrice 300 RTK

### Teknik Özellikler:

- Boyutlar: Katlanmamış, pervaneler hariç, 810×670×430 mm, Katlanmış, pervaneler dahil, 430×420×430 mm
- Çapraz Dingil Mesafesi : 895 mm
- Ağırlık (aşağıya doğru tek gimbal ile) : Yaklaşık 3,6 kg (pilsiz), Yaklaşık. 6,3 kg (iki TB60pil ile)
- Tek Gimbal Maksimum Yüku: 930g
- Maksimum Kalkış Ağırlığı :9 kilo
- Çalışma Frekansı:2,4000-2,4835GHz,5,725-5,850 GHz
- Gezinme Doğruluğu (GPS ile Pmodu) Dikey:
  - ±0,1 m (Görüş Sistemi etkin)
  - ±0,5 m (GPSetkin)
  - ±0,1 m (RTK etkin) Yatay:
  - ±0,3 m (Görüş Sistemi etkin)
  - ±1,5 m (GPSetkin)
  - ±0,1 m (RTK etkin)
- RTK Konumlandırma Doğruluğu: 1 cm+1 ppm (Yatay), 1,5 cm + 1 ppm (Dikey)
- Maksimum Açıl Hız: Eğim: 300°/sn, Sapma: 100°/sn
- Maksimum Pitch Açısı: 30° (Pmodu, İleri Görüş Sistemi etkin: 25°)
- Maksimum Çıkış Hızı: Smodu: 6 m/sn, Pmodu : 5 m/sn
- Maksimum İniş Hızı (dikey): Smodu: 5 m/sn, Pmodu : 4 m/sn
- Maksimum İniş Hızı (eğim): SModu: 7 m/s
- Max hız: Smodu: 23 m/sn, Pmodu : 17 m/sn
- Deniz Seviyesinden Yüksek Hizmet Tavanı: 5000 m (2110 pervaneli, kalkış ağırlığı ≤ 7 kg) / 7000 m (2195 pervaneli, kalkış ağırlığı ≤ 7 kg)
- Maksimum Rüzgar Direnci: 15 m/sn (kalkışta veya inişte 12 m/sn)
- Maksimum Uçuş Süresi : 55 dakika
- Desteklenen Gimbal Yapılandırmaları: Tekli Aşağı Gimbal, Çift Aşağı Gimbal, Tek Yukarı Gimbal, Yukarı ve Aşağı Gimbal, Üçlü Gimbal
- Giriş Koruma Derecesi: IP45
- GNSS: GPS+GLONASS+BeiDou+Galileo
- Çalışma sıcaklığı: -20°C ila 50°C (-4°F ila 122°F)

**DJI ZENMUSE L2:** Zenmuse L2 yine DJI tarafından insansız hava araçları için üretilmiş yeni nesil bir LIDAR sensörüdür, DJI'nın geliştirdiği yüksek doğruluğa sahip bir IMU sistemini ile donatılmıştır, coğrafi veri toplama işlemini son derece hassas, verimli ve güvenilir şekilde yerine getirir. DJI Terra ile birlikte kullanıldığında, 3D veri toplama ve yüksek doğrulukta son işleme için komple bir çözüm sunar. Entegre LIDAR çözümü olan DJI Zenmuse L2, güçlü donanımı sayesinde karmaşık nesnelerin hassas bir şekilde taranmasını ve hızlı nokta bulutu edinimini destekler. Kullanıcılar, operasyonlar sırasında DJI Terra tarafından oluşturulan Görev Kalitesi Raporları ile nokta bulutu modellerini kolayca önizleyebilir, oynatabilir işleyebilir, bu da genel verimliliği artırmalarına yardımcı olur. Bu sayede kullanıcılar, işlem sonrası yüksek hassasiyetli nokta bulutu sonuçlarına tek bir noktadan ulaşabilirler. L2 aynı zamanda 20 MP lik bir RGB kamera donanımına da sahiptir, bu sayede toplanılan nokta bulutlarının RGB renklerde oluşturulmasına olanak sunar.



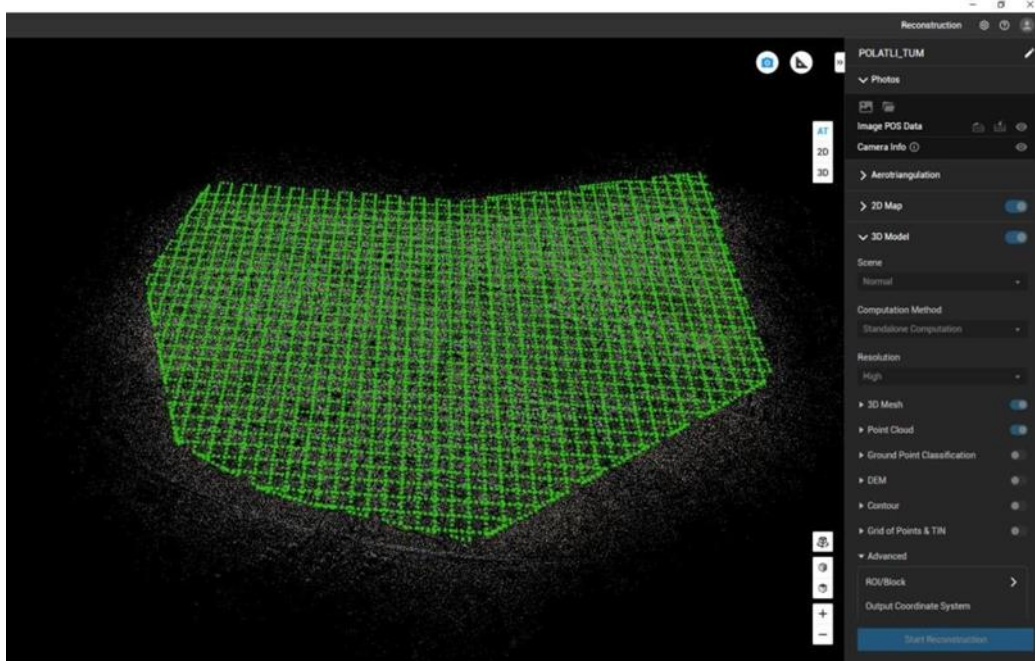
Şekil 5. DJI ZENMUSE L2 LIDAR Sensörü

### 3. PROJE HAZIRLIK VE UYGULAMALARI

Proje Bölgesi olarak Polatlı'nın seçildiğini belirtmiştik, proje alanı yaklaşık 600 Ha (6Km<sup>2</sup>) olarak belirlendi, seçilen alanda meskun alanda Havai Nirengi / Dengeleme, üç boyutlu model ve LIDAR veri performanslarının değerlendirilebilmesi için yoğun yapılaşma olmasına dikkat edildi. Proje kapsamında izlenecek iş adımları aşağıdaki gibi planlandı ve uygulandı;

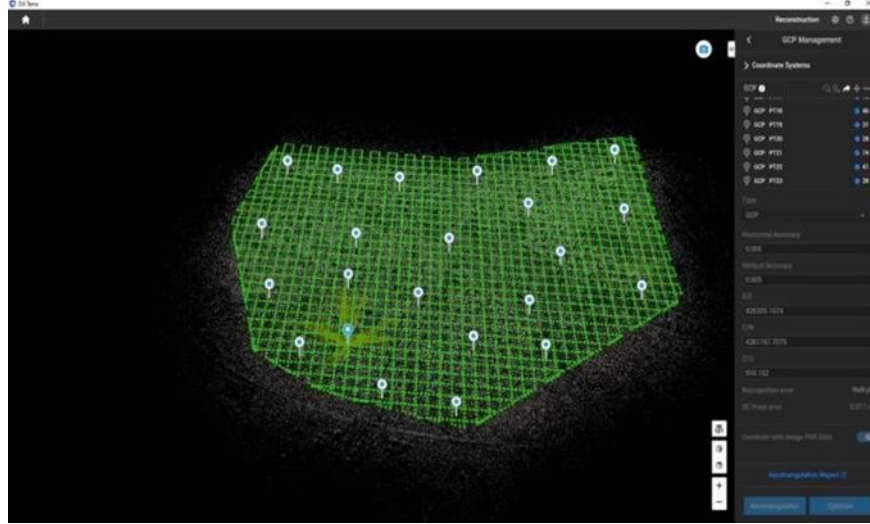
1. UçuşPlanlaması
2. YKNİstikşaf ve Tesisi
3. Uçuş(LIDAR / RGBveri toplama)
4. Havai Nirengi ve Dengeleme
5. True (Gerçek) Ortofoto Üretimi
6. Nokta Bulutu Üretimi
7. Mesh Model Oluşturulması
8. LIDAR Verilerinin Prosesleri

**Uçuş Planlamaları:** Polatlı projesinde RGB oblik ve LIDAR veri toplama için iki ayrı uçuş planı yapıldı, RGB oblik veri toplama için 3 cm'lik bir GSD planlandı ve bunun için ortalama uçuş yüksekliği 200 mt seçildi. Uçuş double grid olarak adlandırılan çapraz uçuş modunda yapıldı yani aynı alan hem doğu batı hem de kuzey güney yönlerinde uçularak veri toplandı. Proje sonunda elde edilen ortalama GSD=2.99 cm idi. LIDAR veri toplama için ortalama 100 mt yükseklik öngörüldü ve m<sup>2</sup> ye ortalama 80 nokta düşmesi hedeflendi.



Şekil 6. Double Grid Uçuş Görüntüsü

**YKN istikşaf ve Tesisi:** Polatlı projesinde proje alanına düzgün dağılmış 23 adet yer kontrol noktası atılması planlandı, yaklaşık baz 1000 mt olarak düşünüldü ve 23 adet YKN araziye tesis edildi, daha sonra bu noktalar Tersus LUKA GNSS alıcıları ile TUSAGA ağına bağlanarak ölçüldü. YKN dağılımı Şekil7'de görülebilir.



Şekil 7. Polatlı Projesinde TesisEdilen YKN'lerin Dağılımı

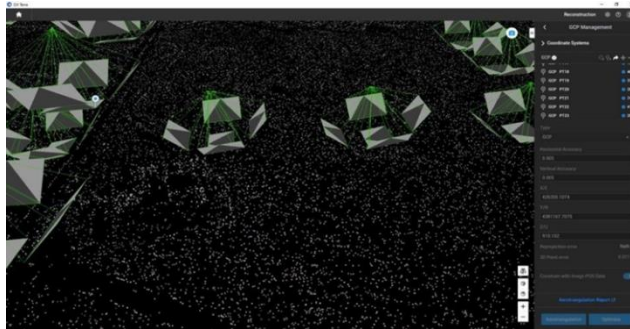
**Uçuş (RGB ve LIDAR Veri Toplama):** Proje kapsamında iki farklı sensör kullanıldığı için uçuş da iki aşamada yapılmıştır, her iki uçuşta da taşıyıcı olarak DJI Matrice 300 RTK Dron'u kullanılmıştır. RGB veri toplama 6 oturumda, LIDAR veri toplama ise 3 oturumda gerçekleştirilmiştir. RGB uçuşlar sırasında ışık ve güneş açısı koşulları dikkate alınarak uçuşlar 11.00-16.00 saat aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Tarafımızca yapılan kontrollerde RGB görüntülerin kalitesinin son derece iyi olduğu gözlemlenmiştir.

**Havai Nirengi / Dengeleme:** Her iki veriyi işlemek için de ( RGB / LIDAR) DJI firması tarafından üretilen DJI TERRA yazılımı kullanılmıştır. Terra yazılımı Hem LIDAR Hem de RGB verilerin işlenmesi için üretilmiş ve bütünleşik çözüm sunan oldukça gelişmiş bir yazılımdır. Aynı yazılım içinde hem ham LIDAR verilerini işleme hem de RGB verilerin dengelenmesinden 3 boyutlu model oluşumuna kadar tüm işlem adımlarını gerçekleştirebilen tek örnektir. Aynı zamanda yine bünyesindeki MODIFY modülü sayesinde 3D mesh modellerde de otomatik/ manuel edit yapma imkanı sunmaktadır.

Oblik RGB uçuşu sonucunda yaklaşık 37 bin hava fotoğrafı toplanmıştır ( Tüm sensörlerde), Şekil 8'de görülebileceği gibi her istasyondan nadir, sağ, sol, ilerive geri pozisyonlarında 5 adet görüntü alınmıştır ( Buradaki çalışma prensibi Osprey ile aynıdır). 37000 hava fotoğrafı tek blokta dengelemek için oldukça yüksek bir sayı olmasına rağmen DJI Terra'da havai nirengi ve YKN'ler okunduktan sonra havai nirengi işlemi tek blokta gerçekleştirilmiştir. Kısa bir bilgilendirme yapmak gerekirse bu işlem toplam 30 saat sürmüştür. Kullanılan Bilgisayar AMD Ryzen 9 5950X 16 Core işlemcili ve 128 GB fiziksel belleğe sahiptir, ayrıca CUDA özelliğine sahip yine 128 GB belleğe sahip NVIDIA GeForce TRX390 grafik kartla desteklenmiştir. Havai nirengi işlemi sırasında 11.541.464 adet tie point toplanmış ve ortalama reprojection hatası (RMS)=1.112 pixel, ortalama konum hatası (RMSE)= 0.137 cm hesaplanmıştır.

YKN ortalama hatalar XY=3.5 cm, Z=6.0 cm olarak hesaplanmıştır her bir ykn için hesaplanan kalıntı hatalar dengeleme çıktısında görülebilirler.

D2M daha önce de belirttiğimiz gibi 5 adet kameradan oluşmaktadır, Terra yazılımında yapılan dengeleme sonucunda her bir kamera için iç yönelme bilinmeyenleri ile Radyal/ teğetsel distorsiyon miktarları yeniden ayrı ayrı hesaplanmış ve dengeleme sonuç raporuna yazılmıştır.



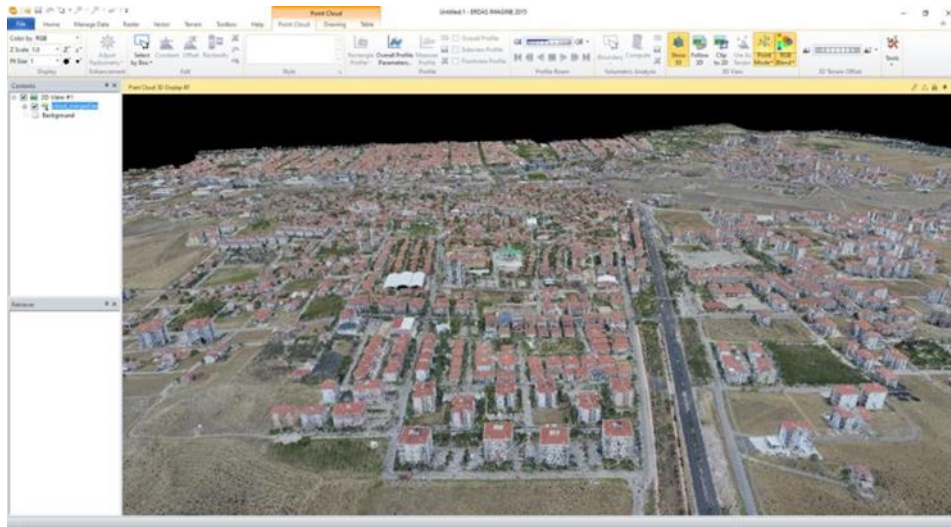
Şekil 8. Oblik Görüntü Alımı

**True (Gerçek) Ortofoto Üretimi:** Terra yazılımı oldukça etkili bir ortofoto üretim yeteneğine sahiptir, diğer yazılımlara göre daha değişik bir algoritma ile çalışır, geleneksel fotogrametri yazılımlarının işlem sırasında ortofoto üretiminden önce mutlaka DEM verisi toplama zorunluluğu vardır oysa Terra yazılımındaki iş adımlarında nokta bulutu ve dem toplama ortofoto üretiminden sonra gelmektedir. Terra yazılımı gerçek ortofotoyu nokta bulutlarından değil havai nirengi sırasında topladığı yoğun bağlama noktalarını (tie point) kullanarak üretmektedir. Bu alışlageldik yöntemlere göre oldukça farklı ve etkili bir yöntemdir. Terra tarafından polatlı projesinde üretilen ortofotoyu incelediğimiz zaman gerçek ortofoto ürettiği net olarak görülmüştür, Şekil 9’da bir kısmı görülen ortofoto incelenirse hiçbir binanın yan cephesinin görülmediği ve çatı kenarlarında bir deformasyon oluşmadığı, çatı kenarlarının derece keskin olduğu gözlemlenebilir.



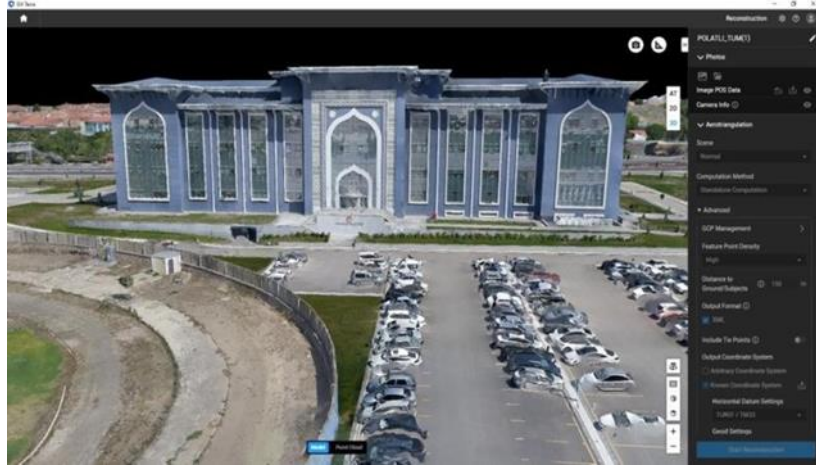
Şekil 9. Polatlı Projesi Gerçek Üretilen Gerçek Ortofoto

**Nokta Bulutu Üretimi:** Daha önce bahsettiğimiz gibi nokta bulutu toplama işlemi Terra yazılımında ortofoto üretiminden sonra gelmektedir. Polatlı projesi için biz nokta bulutu yoğunluğunu yüksek tutuk ve en yoğun veriyi toplamayı planladık. Nokta bulutu toplama işlemi 37000 görüntü için yaklaşık 6 saat sürdü (Sınıflandırma dahil). Las üretimi bittikten sonra yaptığımız kontrollerde double grid uçuşunun da etkisi ile neredeyse her açıdan oldukça detaylı bir nokta bulutu üretildiğini gördük. Özellikle nadir uçuşlarda karşılaşılan binaların yan cephelerindeki veri toplanamamış bölgelerin minimumda kaldığı gözlenmiştir. Elde edilen edilen las verisi bu projenin ekinde sunulmuştur.



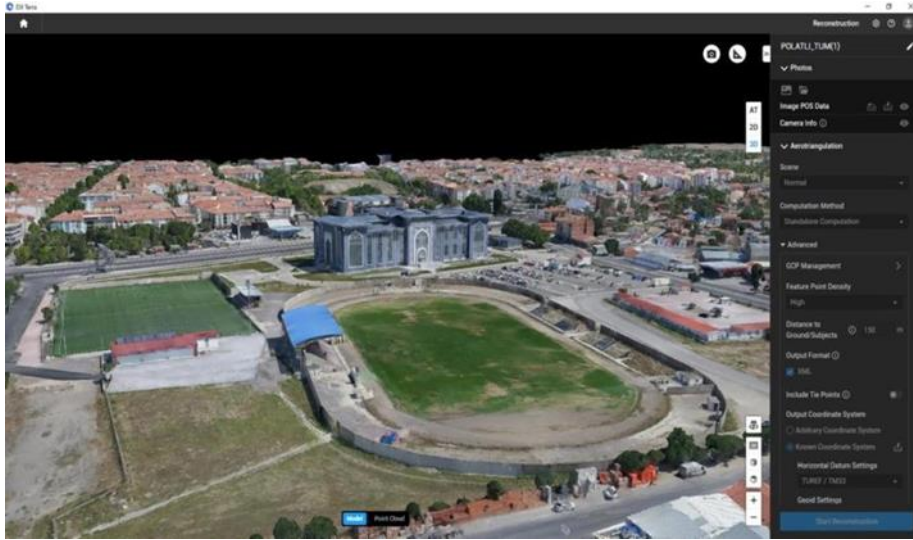
Şekil 10. Terra Yazılımında Oblik Görüntülerden Toplanmış Nokta Bulutu Verisi

**Mesh Model Oluşturulması:** Nokta bulutu toplandıktan sonra mesh model oluşturulma aşamasına gelinmiştir, mesh nokta bulutu ve oblik/ nadir fotoğraflar kullanılarak oluşturulan 3 boyutlu modeldir.



Şekil 11. Terra Tarafından Oluşturulan Mesh Model Çözünürlüğü

TKGM tarafından oluşturulan 3D şehir modellerinden daha farklı bir mantıkla oluşturulur. Mesh modeller herhangi bir vektör veriye ihtiyaç duymadıkları için oldukça hızlı oluşturulabilir bu anlamda oldukça avantajlıdır. Genellikle mesh modeller oluşturulurken yazılımlar fotoğraflardan piksellerin RGB verilerini kullanırlar ve oluşan mesh modeller çözünürlük olarak biraz düşük kalabilir fakat Terra yazılımı farklı bir sistemle çalışır ve oluşan mesh modellerin çözünürlüğü oldukça yüksektir, neredeyse fotoğrafın orijinaline yakındır (Şekil 11).

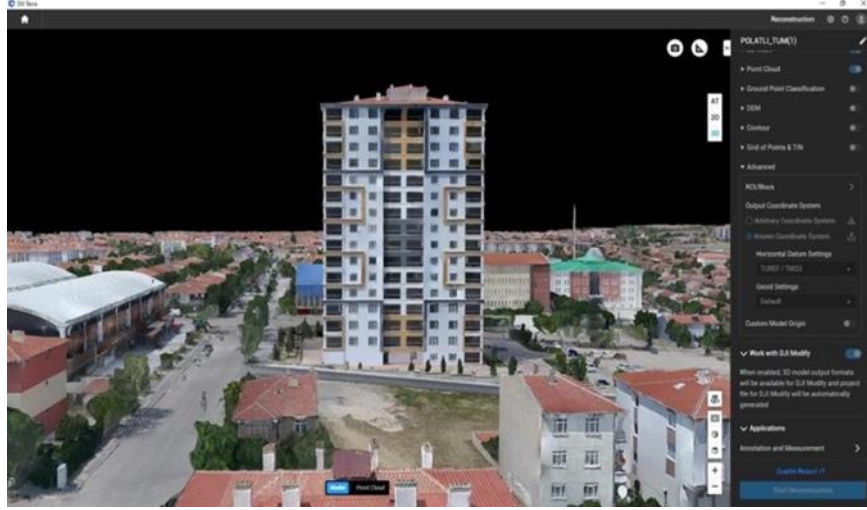


Şekil 12. Mesh Model Genel Görünüş

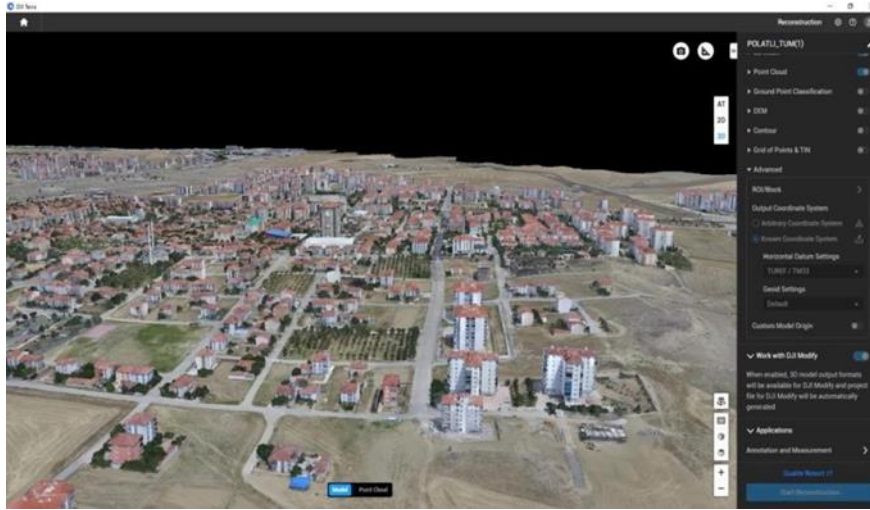
Oluşan mesh model kontrol edildiğinde zaman/ emek kriterleri göz önüne alındığında oldukça başarılı bir sonuçla karşılaşılmıştır, üretim sırasında herhangi bir ara işlem uygulanmamış ve tüm süreç tamamı ile otomatik olarak ilerlemiştir, 600Ha alan ve 37000 fotoğraf için toplam üretim süresi 48 saat sürmüştür ve ykn ölçümü dışında yazılıma herhangi bir müdahalede bulunulmamıştır.

Terra yazılımının Modify modülü kullanılarak Mesh model üzerinde Otomatik/ Manuel edit işlemleri yapılabilmektedir, bu modül ile Floating Object denilen havada kalan objeler otomatik olarak silinebilmekte, istenmeyen bozuk objeler çıkarılabilmekte, istenilen objeler seçilerek kopyalama yöntemi ile eklenebilmekte, boşluk kalan yerler doldurulabilmekte, su alanları bozuk gelmişse düzeltilebilmektedir istenirse eklenilebilmektedir.

Genel olarak bakıldığında oblik kamera ile uçulmuş olsa da double grid uçuş tekniğinin daha gelişmiş bir model oluşmasında faydalı olduğu gözlenmiştir, uçuş süresi ve veri miktarı artmakla birlikte elde edilen sonuçta tatmin edici olmuştur. Aşağıdaki şekillerde mesh modelden alınan bazı görüntü örnekleri bulunmaktadır.



Şekil 13. Yüksek Katlı Bina Modellemesi



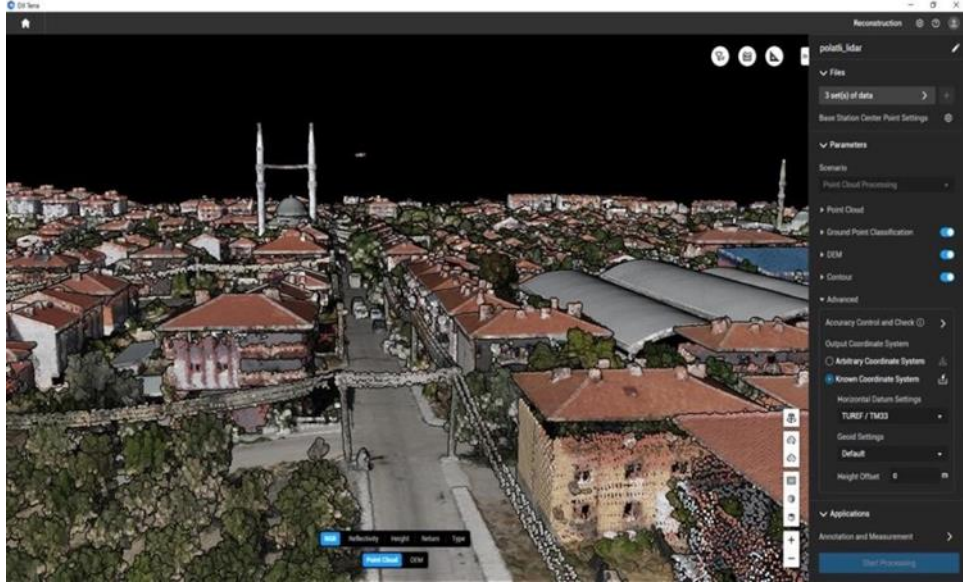
Şekil 14. Genel Görünüm

**LİDAR Verilerini Prosesleri:** Daha önce de belirttiğimiz gibi aynı bölgede DJI Zenmuse L2 sensörünün performansını test etmek için ayrı bir uçuş daha yapılarak LİDAR verisi toplanmıştır, 5 return'e kadar destekleyen L2 sensörünün teknik özellikler aşağıdaki gibidir;

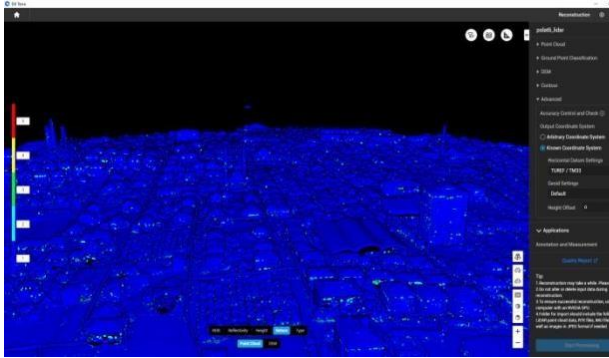
- Aralık Doğruluğu (RMS1 $\sigma$ ): 2 cm @150 m
- Desteklenen Maksimum Return: 5
- Tarama Modları: Tekrarlanmayan tarama modeli, Tekrarlanan tarama modeli
- Görüş açısı: Tekrarlayan tarama modeli: Yatay 70°, Dikey 3°
- Tekrarlanmayan tarama modeli: Yatay 70°, Dikey 75°
- Minimum Algılama Aralığı: 3 m
- Lazer Işını Sapması: Yatay 0,2 mrad, Dikey 0,6 mrad, Yarı maksimum (FWHM) koşullarda tam genişlikte ölçülmüştür. 0,6 mrad, mesafedeki her 100 metrelik artışta lazer ışınının çapının 6 cm genişlediği anlamına gelir.
- Lazer Dalga boyu: 905 nanometre
- Lazer Nokta Boyutu: Yatay 4 cm, dikey 12 cm @100 m (FWHM)
- Lazer Darbe Emisyon Frekansı: 240 kHz
- Lazer Güvenliği: Sınıf 1 (IEC60825-1:2014)
- Erişilebilir Emisyon Limiti (AEL): 233,59 nJ
- Referans Açıklığı: Etkin Açıklık: 23,85 mm (dairesele eşdeğer)
- Nanosaniyede Maksimum Lazer Darbe Emisyon Gücü: 46.718 W
- Boyutlar: 155×128×176 mm (U×G×Y)
- Ağırlık: 905±5 gr
- Güç: 28 W (tipik),58 W (maks.)
- IP derecelendirme: IP54

- Desteklenen Drone: Matrice 300 RTK(DJI RCPlus gerektirir), Matrice 350 RTK

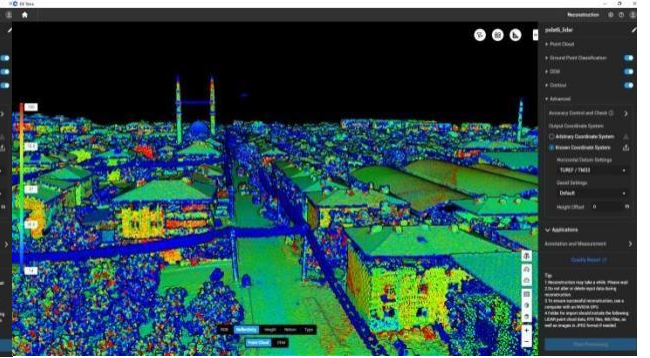
Terra yazılımı L2 sensöründen galan ham verileri okuyarak işleme özelliğine sahiptir, bu sebeple toplanan LIDAR verileri Terra yazılımda işlenmiştir, proses sonrası üretilen kalite kontrol raporu ekte yer almaktadır. LIDAR verilerini incelediğimizde de elektrik tellerine kadar görülebilen oldukça yoğun bir veri toplandığı gözlenmiştir.



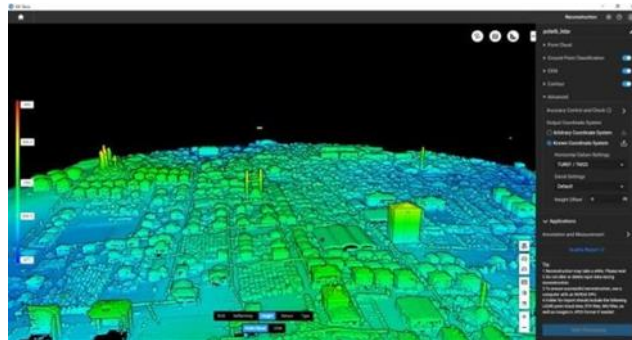
Şekil 16. Toplanılan LIDAR verisi



Şekil 18. Return (Dönüş Sayısı)



Şekil 17. Reflectivity (Yansıma)



Şekil 19. Height (Yükseklik)

### 3. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Polatlı Projesi uçuş ve veri toplama dahil olmak üzere toplam 6 gün sürmüştür, bunun 3 günü uçuş (RGB+LIDAR), 3 günü de veri derleme ile geçmiştir. İşlem adımları tamamı ile otomatik olarak gerçekleştirilmiş ve herhangi bir müdahale de bulunulmamıştır, proje sonunda elde edilen veriler;

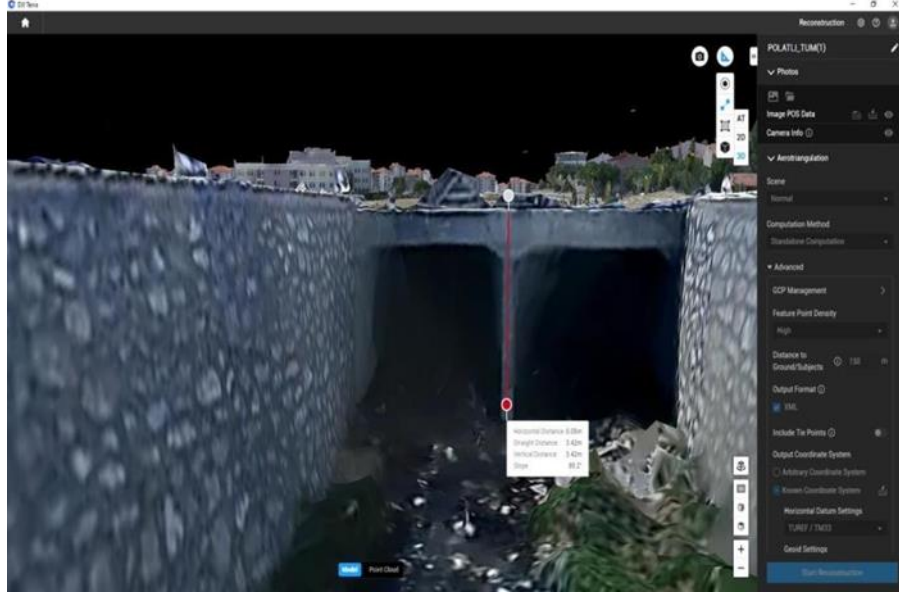
- Yöneltilme bilinmeyenleri ve iç yöneltilme parametreleri hesaplanmış 37000 adet nadir/ oblik hava fotoğrafı
- 600 HA'lık alan için oluşturulmuş gerçek ortofoto
- Korelasyonla oluşturulmuş yoğun nokta bulutu (Sınıflandırılmış)
- Proje alanının Mesh (3B) modeli
- Proje alanının LIDAR verisi (Sınıflandırılmış)

İlk etapta toplanan verilerin konumsal hassasiyetleri dikkatle irdelenmiştir, YKN ölçümleri sırasında binalardan kontrol amaçlı cephe ölçümleri alınmış daha sonra oluşturulan mesh model üzerinden yapılan ölçümlerde gelen farkların 10cm'nin altında kaldığı gözlenmiştir. Bu projede toplanan 37 bin görüntü TKGM Harita Dairesine teslim edilmiş ve onlar tarafından Pix4D yazılımında yapılan havai nirengi ve dengeleme sonucu yer kontrol noktalarının kalıntı hataları ve karesel ortalama hata sonuçları oldukça iyidir (Şekil20).

GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
PT1 (3D)	0.030/0.050	-0.052	0.063	0.023	0.409	7 / 7
PT2 (3D)	0.030/0.050	0.006	0.059	-0.050	0.438	10 / 10
PT3 (3D)	0.030/0.050	0.004	0.008	0.025	0.854	9 / 9
PT5 (3D)	0.030/0.050	0.018	0.029	0.015	0.915	8 / 8
PT6 (3D)	0.030/0.050	-0.028	0.046	-0.024	0.878	9 / 9
PT7 (3D)	0.030/0.050	-0.000	-0.028	-0.003	0.791	10 / 10
PT8 (3D)	0.030/0.050	0.004	-0.014	0.018	0.689	11 / 11
PT9 (3D)	0.030/0.050	-0.013	-0.009	0.078	0.617	9 / 9
PT10 (3D)	0.030/0.050	-0.013	-0.043	0.002	0.428	10 / 10
PT11 (3D)	0.030/0.050	-0.013	-0.057	0.074	0.949	12 / 12
PT12 (3D)	0.030/0.050	-0.008	-0.037	0.065	0.795	11 / 11
PT13 (3D)	0.030/0.050	-0.005	-0.042	0.056	0.946	10 / 10
PT14 (3D)	0.030/0.050	0.011	-0.025	0.020	1.161	13 / 13
PT15 (3D)	0.030/0.050	0.011	-0.070	-0.002	0.745	11 / 11
PT16 (3D)	0.030/0.050	0.034	-0.007	0.042	1.089	11 / 11
PT17 (3D)	0.030/0.050	-0.004	-0.017	0.045	0.602	12 / 12
PT18 (3D)	0.030/0.050	0.036	0.000	-0.000	0.630	14 / 14
PT19 (3D)	0.030/0.050	0.027	0.008	-0.086	0.507	12 / 12
PT20 (3D)	0.030/0.050	0.006	0.034	-0.057	0.692	10 / 10
PT21 (3D)	0.030/0.050	-0.020	0.026	-0.070	0.755	11 / 11
PT22 (3D)	0.030/0.050	-0.010	0.059	-0.108	0.490	10 / 10
PT23 (3D)	0.030/0.050	-0.000	0.029	-0.050	0.853	11 / 11
Mean [m]		-0.000464	0.000558	0.000696		
Sigma [m]		0.019642	0.038072	0.051114		
RMS Error [m]		0.019648	0.038076	0.051119		

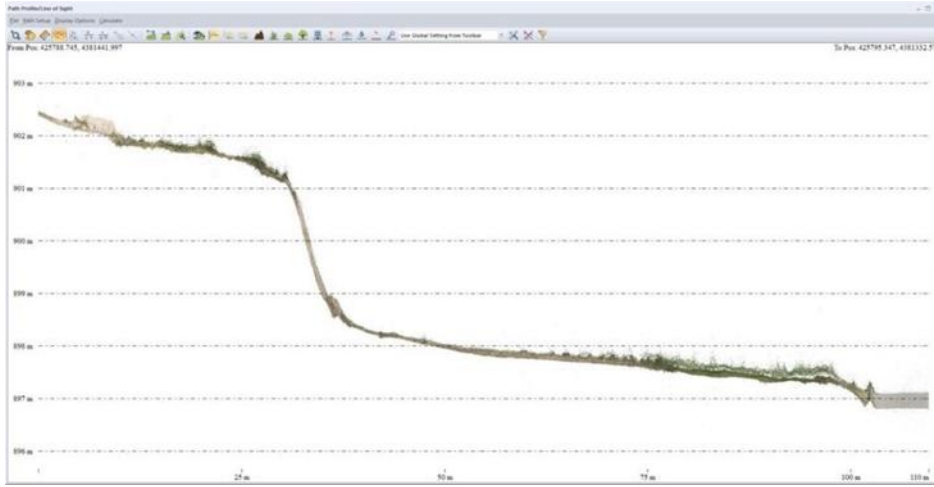
Şekil 20. TKGM tarafından yapılan dengeleme sonucu YKN'lerin kalıntı ve karesel ortalama hataları

Yine TKGM Harita Dairesinde bu dengelemeden gelen yöneltilme bilinmeyenleri ile oluşturulan 3B modellerde 3 boyutlu yapılan kontrollerde yapılan karşılaştırmada hataların ortalama  $XY \leq 5\text{cm}$ ,  $Z \leq 10\text{cm}$  olduğu gözlenmiştir. Bu bölgede Dere Islah Çalışmaları kapsamında Tarım bakanlığı, Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yaptırılan ölçümler vardır, bu bölgede yapılan bir çalışma verileri özellikle menfez ölçülerinin röper krokileri alınarak mesh modelden ölçülen yükseklik ve cephe ölçüleri ile karşılaştırılmış ve orada da hata miktarları ortalaması (RMS) 10 cm altında kalmıştır.



Şekil 21. Mesh Model Alınan Yükseklik Ölçümü

Proje kapsamında toplanan verilerden oluşturulan iki farklı nokta bulutu (RGB/ LIDAR) Global Mapper yazılımında üst üste açılmış ve alınan profilde (Enkesit) iki verinin arasında bir fark gözlenmemiştir.



Şekil 22. RGB ve LIDAR Verilerinden Oluşturulan Bindirilmiş Nokta Bulutu Verisinden Alınan Profil

Tüm bu bilgilerin ve kontrollerin ışığında yapılan projenin konumsal hassasiyeti ile ilgili herhangi bir tereddütümüz kalmamıştır Üretim hızı, veri hassasiyeti ve kalitesi göz önüne alındığında özellikle 5000 HA ve daha ufak alanlarda bu yöntem ve kullanılan donanımla ile TKGM'nin ihtiyacı olan Nokta Bulutu, Gerçek Ortofoto, 3B gibi verileri model verilerinin çok hızlı ve hassas bir şekilde üretilebileceğini düşünüyoruz. Daha büyük alanlarda aynı yöntemlerle kapatılabilir ama bu durumda TKGM'ni zaten büyük alanlar için kullanabileceği geniş format bir kamerası ve uçağı mevcuttur. Biz kullanılan donanım ve izlenen üretim metodu ile daha ufak alanlarda çok hızlı, etkili ve kaliteli veri toplanacağını düşünmekteyiz.