



## DÜŞÜK MALİYETLİ İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI İÇİN UÇUŞ ÖNCESİ BLOK PLANLAMANNIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Sercan GÜLCİ<sup>1,\*</sup>, Hüseyin YURTSEVEN<sup>2</sup>, Mustafa AKGÜL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul

<sup>3</sup> İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, İstanbul

\*Sorumlu yazar: [sgulci@ksu.edu.tr](mailto:sgulci@ksu.edu.tr)

Sercan GÜLCİ: <https://orcid.org/0000-0003-3349-517X>

Hüseyin YURTSEVEN: <https://orcid.org/0000-0003-2469-9365>

Mustafa AKGÜL: <https://orcid.org/0000-0001-6387-5080>

**Please cite this article as:** Gülci, S., Yurtseven, H. & Akgül, M. (2021) Düşük maliyetli insansız hava araçları için uçuş öncesi blok planlamanın değerlendirilmesi, *Turkish Journal of Forest Science*, 5(1), 114-126.

### ESER BİLGİSİ / ARTICLE INFO

Araştırma Makalesi / Research Article

Geliş 10 Ocak 2021 / Received 10 January 2021

Düzeltilmelerin gelişi 9 Nisan 2021 / Received in revised form 9 April 2021

Kabul 16 Nisan 2021 / Accepted 16 April 2021

Yayınlanma 30 Nisan 2021 / Published online 30 April 2021

**ÖZET:** Son yıllarda geliştirilen düşük maliyetli insansız hava araçları (İHA) ve yazılımlar, çok yüksek konumsal çözünürlükte ve kullanıcı tarafından belirlenen aralıklarda düşük maliyetli görüntüleme imkanı sunmaktadır. Ormancılık ile ilgili ölçme ve haritalama kapsamında, dünyada olduğu gibi Türkiye'de de düşük maliyetli İHA talepleri önemli ölçüde artmaktadır. Buna bağlı olarak düşük maliyetli İHA ve sensörleri hızla piyasaya sürülmektedir. Sonuç olarak ürün çeşitliliği hızla artmaktadır. Kullanılan teknikler, yöntemler ve ölçüm araçları İHA ile üretilen verilerin hassasiyetini etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca, İHA ile elde edilen blok alım kalitesi ve hassasiyeti çevresel faktörlerin yanı sıra uçuş hızı, uçuş yüksekliği ve kullanılan görüntü algılayıcıların özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, *Structure-from-Motion* (SfM) tekniği ile kullanılan düşük maliyetli İHA'nın uçuş öncesi değerlendirilme ve blok alımı planlaması üzerinde durulmuştur. Bu nedenle, İHA'lar ile elde edilen blok alımın bilimsel araştırmalarda ve uygulamalarda istenilen hassasiyeti sağlayabilmek için uçuş öncesi planlama kapsamında irdelenmiştir. Piyasada düşük maliyetli olarak satılan bir İHA (Drone) için beş farklı uçuş öncesi plan hesaplanmıştır. İHA'nın uçuş kapasitesi, üzerindeki sensör özellikleri ve uçuş yükseklikleri arasındaki ilişkiler göz önünde bulundurulmuştur. Sonuç olarak, düşük maliyetli İHA ve üzerine monte edilmiş görüntü sensörünün maksimum ve minimum performansı, birkaç teknik bilgi yardımıyla tahmin edilebilmektedir. Böylece İHA ile elde edilecek veri hassasiyetinin tahmini ve uçuş güvenliği konusunda bilgi sağlanabilir. Bu makale, araştırmalarında düşük maliyetli İHA veya mikro İHA gibi yarı otomatik sistemleri fotogrametrik çalışmalarında kullanmak isteyen uzmanlar veya araştırmacılar için ön kontrol planlamalarına rehberlik etmeyi amaçlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Uzaktan algılama; Ormancılık; Drone; İHA Fotogrametrisi; uçuş öncesi planlama

## ASSESSMENT OF PRE-FLIGHT BLOCK PLANNING FOR LOW-COST UNMANNED AIR VEHICLES

**ABSTRACT:** Recent development in low-cost Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and software, which offer low-cost imaging at user defined the aerial photogrammetry is widely preferred for mapping and field measurement purposes because of its time and cost-benefit in various applications. Within the scope of forestry-related surveying and mapping, the demand for low-cost drones in Turkey and the world has increased dramatically. Accordingly, low-cost UAVs and its sensors are rapidly being introduced to the market. Consequently, product varieties increase rapidly. The techniques, methods, and measurement tools used are important factors affecting the sensitivity of the data obtained by the UAVs. Besides, the quality and sensitivity of the block acquisition obtained with UAVs varies depending on the environmental factors as well as the flight speed, flight altitude and the characteristics of sensors. In the present study, low-cost UAV used in the *Structure-from-Motion* (SfM) studies was evaluated and examined pre-flight block planning scenarios. Hence the block acquisition obtained by UAVs has been explored for the scope of pre-flight planning in order to provide the proper sensitivity in scientific research and applications. Five different pre-flight plans were calculated for a low-cost drone in the market, especially considering the UAV (Drone)'s flight capacity and its sensor feature and flight altitudes. The maximum and minimum performance of the low-cost UAV-mounted image sensor can be estimated with the help of a few technical information. Therefore, it is possible to predict and ensure data sensitivity and flight safety obtained by drones. This article aims to provide a pre-control plan for experts or researchers who tend to use semi-automated systems such as low-cost drones or micro drones in field surveys based on photogrammetry.

**Keywords:** Remote sensing; Forestry, Low-cost UAV; UAV photogrammetry; Pre-flight planning

### GİRİŞ

Hava fotogrametrisi doğal kaynakların yönetimi ve planlamasında, özellikle ormancılık alanında eski tarihlerden beri kullanılmaktadır (Erdin, 1992; Leckie ve Gillis, 1995). Son yıllarda hemen bütün mühendislik çalışmalarında kullanılan ve özellikle haritacılık çalışmalarında maliyet ve zaman açısından fayda sağlayan İnsansız Hava Aracı (İHA) platformları ve bu kapsamda kullanılan İHA sistemleri, teknolojinin gelişmesiyle her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Hava fotogrametrisi ile yapılan çalışmalarda bu gelişmelerden etkilenerek farklı boyutlar kazanmaktadır. Hava araçlarının savunma da olduğu gibi sivil kullanımında görülen artışında da birçok sebep bulunmaktadır. Bunların başında zamansal ve mekânsal verilerin temininde esneklik sağlanması, uygun maliyetlerde verinin elde edilmesi gelmektedir.

Yeni gelişen bu sektörde birçok algılayıcı tasarımı ve algılayıcı taşıyan platformları ticari olarak piyasada bulunmaktadır. Bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılacak hava aracının sahip olduğu donanıma göre maliyetleri değişmektedir. Harita yapımı ve jeodezik verilerin elde edilmesinde kullanılacak İHA maliyeti 1500 ile 60.000 \$ (USD) arasında değişmektedir (Gülci ve Akay, 2016). Hem yerli üretim hem de ithal ürünlerin ticari mallar olarak sergilenmesiyle rekabetçi ortamda farklı nitelikte "Drone", "Multikopter", "Delta kanat", "İnsansız hava aracı (İHA)" gibi örnek isimleri ile satışı gerçekleştirilmektedir (Coşkun, 2012). Bu gelişmeler

karşısında İHA ve benzeri hava araçlarının kullanımında uluslararası ve ulusal kuruluşlarca tanım, kapsam ve kanuni kısıtlamalar ortaya konmuştur. Türkiye'de İHA kullanımı ve denetimi Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmektedir (SHGM, 2020).

Genel olarak İHA'lar sahip oldukları teknik donanımlarına, özelliklerine ve uçuş kabiliyetlerine göre sınıflandırılmaktadır (Van Blyenburgh, 1999; Eisenbeiss, 2009; Watts ve ark., 2012; Dudek ve ark., 2013). Doğal kaynakların yönetimi ve araştırmalarında farklı model ve boyutlarda araştırmanın ihtiyacını karşılayacak verilerin temininde tek veya çok rotorlu helikopter, uçak ve jet tipi tasarıma sahip çeşitleri kullanılmaktadır. Örnek olarak, ekolojik araştırmalarda düşük hızda hareket edebilen 20 kg'dan hafif İHA sınıfları tercih edilmektedir (Hardin ve Jensen, 2011; Gülci ve Akay, 2016). Küçük ölçekli ormancılık çalışmalarında ise mikro veya mini sınıfta yer alan dikey kalkış yapabilen ve kısa süreli havada kalabilen çok pervaneli hava araçları tercih edilmektedir (Tang ve Shao, 2015; Torresan ve ark., 2017). Türkiye'de tanımlı İHA sınıflandırmaları SHGM (2020) talimatlarında belirtilmektedir.

Araştırma konusu odaklı araç ve gereçlerin belirlenmesinde elektronik bilgilerin kullanıcılar tarafından detaylı şekilde bilinmesine gerek yoktur. Ancak, tercih edilen İHA sistemlerinin sahip olduğu özelliklerin kullanımında bilgi sahibi olunması gerekmektedir. Zira hava platformu ve görüntü algılayıcı ekipmanlar arasındaki temel matematiksel ilişkilerin anlaşılması şarttır. Fotogrametri çalışmalarda kullanılan fotoğraf bloklarının alımı ve değerlendirmeleri kontrolsüz (otonom sistemler yardımıyla) veya kontrollü olarak gerçekleştirilebilmektedir. Otonom sistemlerin kullanılması, kontrollü olarak gerçekleştirilecek çalışmalara göre daha hassas ancak ürün maliyeti oldukça yüksek olmaktadır. Mevcut imkânların öngördüğü düşük maliyetli İHA ile fotogrametrik çalışmalar sonucunda elde edilen verinin kalitesi ve doğruluğu için kusursuz bir planlama ve ön hazırlık gerekmektedir (Eisenbeiss, 2009).

Günümüzde maliyet oldukça önemli bir husus olarak karşımıza çıkmakta ve en uygun maliyetli İHA ve görüntü algılayıcılar tercih edilmektedir. Otonom sistemleri ile donatılmış teknolojik olarak gelişmiş tam otomatik (otonom) İHA türlerinden ziyade daha basit ve temel ihtiyaçları karşılayan yarı-otomatik kontrollü araçlar da fotogrametrik veriler sağlamaktadır (Grenzdörffer ve ark., 2008; Pérez ve ark., 2013; Wing ve ark., 2014). Söz konusu araçların ormancılık çalışmalarında kullanımı da hızla artmaktadır (Akgül ve ark., 2016). Bu artışı hızlandıran, LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) benzeri 3B nokta bulutlarının üretiminde kullanılan "Structure-from-Motion" (SfM) tekniğinin etkisi büyüktür. Hassas ölçüm sonuçlarının elde edildiği LiDAR benzeri 3B nokta bulutu üretilebilmekte olup farklı çalışmalarda (orman, jeoloji, arkeoloji, tarım gibi) sayısal veriler üretilmektedir (Akgül ve ark., 2016; Wallace ve ark., 2016).

Ormancılık kapsamında kullanılan İHA destekli SfM çalışmaları 5 yaygın ana başlık altında toplanabilir (Tang ve Shao, 2015; Torresan ve ark., 2017). Bu başlıklar; 1) meşcere ve tek ağaç parametrelerinin elde edilmesi, 2) ormanlık alanlarda ağaç türlerinin belirlenmesi, 3) orman zararlıları ile mücadele (böcek arızı, orman yangınları, çığ ve toprak kayması gibi biyotik veya abiyotik faktörlerin etkilerinin değerlendirilmesi), 4) ekolojik çalışmalar (orman içi ve kenarı alanlarda yaban hayatı, endemik tür araştırmaları gibi) ve 5) orman inşaatı (kazı, dolgu ve yol yapımı gibi) ve harita yapım işleri ile ilgili olarak gerçekleştirilmektedir (Aktürk ve Altunel, 2019; Akgül ve ark., 2016; 2018; Buğday, 2018; Eker ve ark., 2018; Eker ve Aydın, 2020; Gülci ve Akay, 2016; Gülci, 2019; Oğuz ve Gülci, 2019; Yurtseven ve ark., 2019; Yurtseven, 2019; Zeybek ve Şanlıoğlu, 2020).

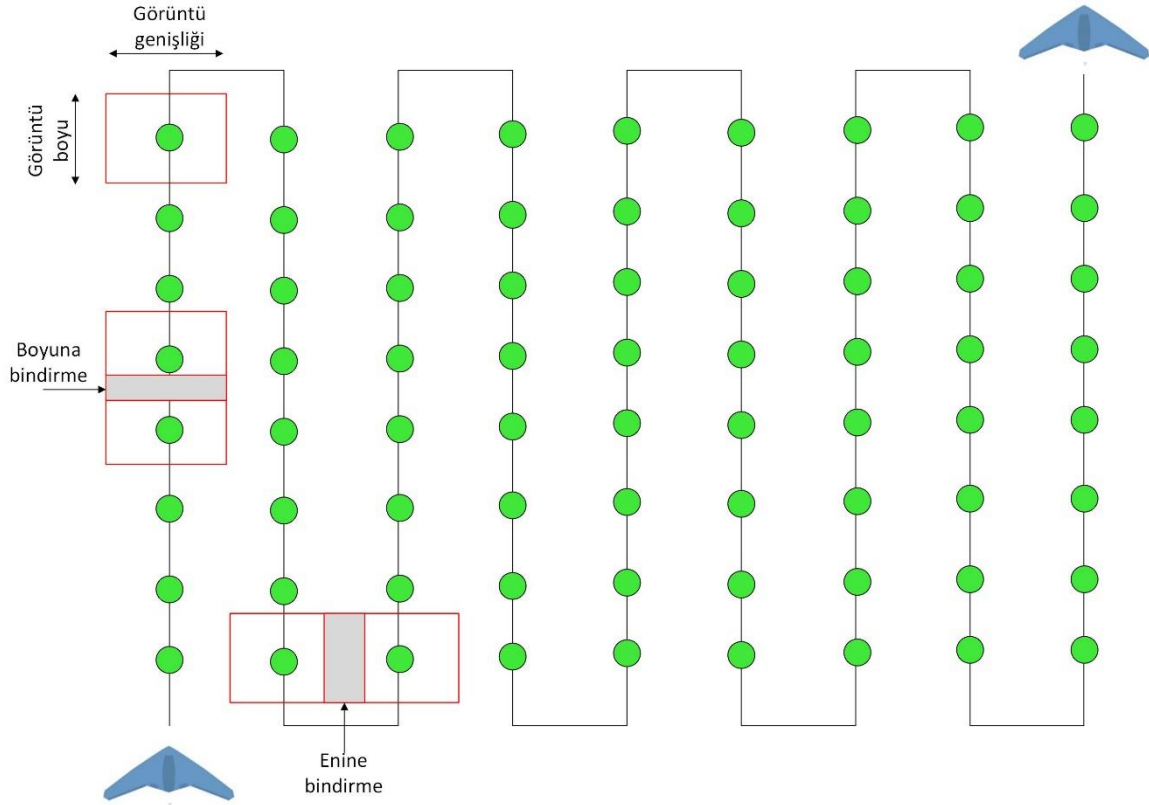
İHA destekli SfM ile gerçekleştirilen çalışmalardan üretilen verilere ait doğruluklar farklı olabilmektedir. SfM algoritması ile çalışan birçok ticari ve açık kaynak kodlu yazılımın ortaya koyduğu sonuçlara ait hassasiyet ve performans çok büyük farklılıklar göstermemektedir. Ancak kullanılan hava platformu, sensör ve uçuş planının oluşturulması farklı doğrulukta veri üretimine neden olmaktadır. Çalışma hassasiyetinde etkili olan taşıyıcı platformun özelliği yanında uçuş yüksekliği, fotoğraf bindirme oranı ve çevresel faktörlerde etkili olmaktadır (Dandois ve ark., 2015; Yundong ve ark., 2008; Pepe ve ark., 2018). Genel hatları ile veri üretim aşamaları bilinen bir uygulama olan İHA destekli SfM çalışmaların belirli bir standartta olması gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında yaygın olarak kullanılan düşük maliyetli bütünleşik mikro-İHA sınıfı kapsamında ele alınabilecek sistemlere ve özelliğe sahip DJI Inspire One Pro ticari marka ile satışa sunulan hava platformu (Quadcopter) için uçuş öncesi hazırlık blok alım planlamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada; uçuş hızı, uçuş yüksekliği, mekânsal çözünürlük, uçuş hattı sayısı ve 500 x 500 m'lik bir alan içerisinde hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

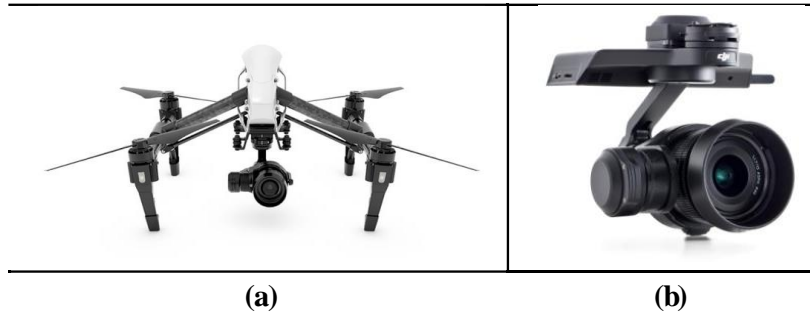
### *Materyal*

Haritalama çalışmaları kapsamında deniz seviyesinden 500 m yükseltide, 500x500 m'lik alan içerisinde kalan, kurgusal proje sahası için uçuş öncesi hazırlıklar tasarlanmıştır. Fotogrametrik olarak değerlendirmek amacıyla % 80 ileri (boyuna) ve % 50 yanal (enine) bindirme oranları öngörülmüştür. Uçuş yüksekliğini engelleyen yapı nedeniyle minimum uçuş yüksekliği ise 55 m olarak kararlaştırılmıştır. Çalışma alanı seyrek bitki örtüsüne sahip, daha çok açık alanlar ve kısmen ot-çalı formunda bitki toplulukları ile kaplı açık bir arazi olarak değerlendirilmiştir (Şekil 1). Söz konusu alan içerisinde planlanması düşünülen yol için jeodezik amaçlı sayısal yüzey modeli (SYM) oluşturulması hedeflenmiştir.



Şekil 1. İHA Platformu ile Bindirme Oranlarına Göre Örnek Alım Senaryosu

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde kullanılacak DJI Inspire One Pro ve üzerine standart olarak monte edilmiş görüntü algılayıcı Zennuse X5'e ait teknik özelliklerden faydalanılmıştır (Şekil 2). Söz konusu İHA platformu uçuş mesafesi 10 km'den az, uçuş süresi 1 saatten az, görüş mesafesinde uçuş yapabilen doğrudan radyo kontrolle veya belirlenen uçuş rotası ile hareket edebilen mikro-İHA sınıfındadır. Gerekli teknik özellikler Tablo 1'de verilmiştir (Dji, 2016a; Dji, 2016b).



Şekil 2. (a) DJI Inspire One Pro ve (b) Zennuse X5' ait Görüntü

**Tablo 1.** DJI Inspire One Pro ve Zenmuse X5'e ait Bilinmesi Gereken Bazı Temel Özellikler

DJI Inspire One Pro	
Ağırlık	3400 gr (Pil, pervaneler ve Zenmuse X5 dahil)
Maksimum kalkış ağırlığı	3500 g
Maksimum yer hızı	18 m / s (Rüzgarsız ortamda)
Uçuş yüksekliği	4.500 m (Varsayılan yükseklik sınırı: kalkış noktasının üzerinde 120 m)
Maksimum uçuş süresi	Yaklaşık 15 dakika
Zenmuse X5	
Boyutlar	120mm (W) x 135mm (H) x 140mm (D)
Ağırlık (Standart lens, Dengeleme yüzüğü, Lens başlığı, Micro SD kart dahil)	526 gr
Çalışma sıcaklığı	104 ° F ile 32 ° 40 ° C (0 °)
Algılayıcı	4/3-inç CMOS sensör
Etkin Piksel	1600 M
Maksimum çözünürlük	4608x3456
ISO Aralığı	100 / 25600
Elektronik perde hızı (shutter speed)	1/8000
Fotoğraf modu	Tek çekim / Çoklu çekim: 3/5/7 kare / Zaman atlamalı (5/7/10/20/30 sn)
Odak uzaklığı	f = 15 mm (35 mm film kamerası eşdeğeri: 30 mm)
Odak mesafesi	∞ 0,2 m (odak mesafesi referans hattından)
Görüş alanı (FOV)	72 °
Maksimum çap	Yaklaşık. 57,5 mm
Toplam uzunluk	Yaklaşık. 36 mm

### Metod

Çalışmada en uygun uçuş hattının belirlenmesinde en uygun mekânsal çözünürlük ve doğruluk oranının bulunmasına özellikle dikkat edilmiştir. Bu nedenle araştırmada kullanılan dijital kamera için mekânsal çözünürlük (*GSD*) hesaplamaları aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla gerçekleştirilmiştir (Denklem 1). Eşitlikte belirtilen *hg* uçuş yüksekliğini, *ck* kamera asal uzaklığını (focal length) ve *ps* ise piksel boyutunu ifade etmektedir.

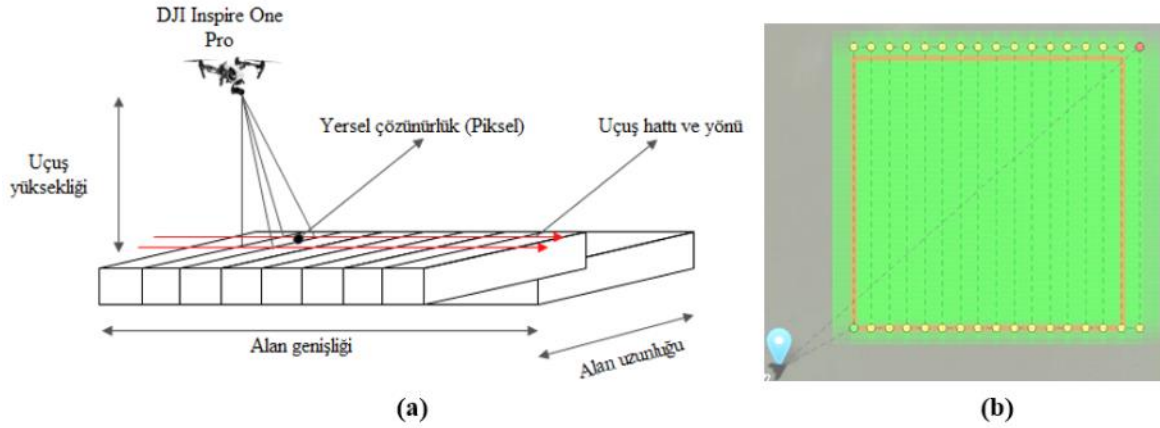
$$GSD = \frac{hg}{ck} \times ps \quad (1)$$

Mekânsal çözünürlük ve konumsal doğruluk hassasiyetinin değerlendirilerek uçuş öncesi planlamada kullanılan ve sayısal olarak ifade edilen değişkenler aşağıda verilmiştir. Bunlar;

1. Kamera lensinin asal uzaklığı;
2. Uçuş yüksekliği;
3. Piksel boyutu;
4. Algılayıcı (sensör) boyutu;
5. Fotoğraflanacak alanın büyüklüğü ve şekli;
6. Boyuna ve enine bindirme oranları;
7. Uçuş haritasının ölçeği;
8. Uçuş hızı;

Proje alanının geometrik yapısı 500 m (uzunluk) ve 500 m (genişlik) ölçülere sahip kare şekildedir. Kullanılan kamera ve mini hava aracı özellikleri dikkate alınarak uçuş hattı ve blok hesaplamaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Uçuş hızı 5 m/sn olmak üzere Zenmuse X5 marka kamera çekimi için planlanmıştır. Bu nedenle, mekânsal çözünürlük ve coğrafi doğruluk

oranlarının yüksek tutulması amacıyla uçuş öncesi parametrik hesaplamalar Ms-Excel ortamında teorik olarak hesaplanmıştır. Çalışmalarda 8 GB GPU ram, Windows 7 işletim sistemi ve 500 GB hafızaya sahip dizüstü bilgisayar kullanılmıştır.



**Şekil 2.** Mikro-İHA ile Proje Alanı Üzerindeki Temsili (a) Uçuş Planı ve (b) Fotoğraf Blokları

Uçuş yüksekliğinin belirlenmesi için Denklem 1 kullanılmıştır. Her bir görüntünün ifade ettiği alan metrik boyutu ( $GS$ ) için asal düzlem boyutlarının ( $FPA_x$ ,  $FPA_y$ ) 0,1 m ile çarpımı sonucunda ortaya çıkartılmıştır. Uçuş hatları arasındaki mesafe ( $SoFP$ ) için tespit edilen her bir görüntünün ifade ettiği alan metrik boyutları ( $GS$ ) ile enine bindirme oranının ( $SO$ ) matematiksel ilişkisi ile bulunmuştur (Denklem 2). Toplam uçuş hattı sayısı ( $NoFP$ ) ise hesaplanan alanın genişliğinin ( $x$ )  $SoFP$  'ye oranının bir fazlası ile elde edilmiştir (Denklem 3). Yine, uçuş hattı boyunca boyuna bindirme oranı ( $FO$ ) ile araştırma alanı uzunluğu ( $y$ ) kullanılarak Denklem 4 yardımıyla, bir kolonda (ardışık fotoğraflar dizisi) çekilen fotoğraflar arası mesafe ( $SP$ ), ve her bir uçuş hattı boyunca dönüşlerde dâhil olmak üzere bir kolonda çekilen fotoğraf adedi ( $NoP$ ) Denklem 5 yardımıyla hesaplanmıştır.  $NoP$  sonucuna dönüşlerdeki hesaplamalardan dolayı oluşabilecek boşlukları kapatmak amacıyla 4 fotoğraf daha eklenerek değerlendirilmiştir. Tüm uçuş boyunca elde edilecek fotoğraf adedi ( $TNoP$ ) ise Denklem 6 yardımıyla hesaplanmıştır. Aynı zamanda fotoğraf çekimlerinde netlik ile ilgili problemlerin ortadan kaldırılması amacıyla perde-örtücü (shutter) hızının ayarlanması ( $SS$ ) ve gözden geçirilmesi kamera için mekânsal çözünürlüğün ( $GSD$ ) yarısı ile uçuş hızına ( $FS$ ) (m/sn) oranlanmasıyla elde edilmiştir (PSU, 2015). (Denklem 7). İHA'nın kat ettiği uçuş mesafesinin  $FS$  ile oranlanması ile dakika cinsinden tahmini uçuş süresi ( $Ft$ ) tahmin edilmiştir (Denklem 8).

$$SoFP = GS_x \times \frac{(100 - SO)}{100} \quad (2)$$

$$NoFP = \frac{x}{SoFP} + 1 \quad (3)$$

$$SP = G_y \times \frac{(100 - FO)}{100} \quad (4)$$

$$NoP = \frac{y}{SP} + 4 \quad (5)$$

$$TNoP = NoFP \times NoP \quad (6)$$

$$SS = \frac{GSD}{2} / FS \quad (7)$$

$$Ft = \frac{(X \times NoFP) + ((NoFP - 1) \times SoFP)}{Fs \times 60} \quad (8)$$

Yukarıda belirtilen matematiksel denklemler yardımıyla beş (5) farklı senaryo için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu hesaplamalarda platformun yer hızı 5 ve 10 m/sn ve uçuş yüksekliği ise 55, 90 ve 100 m değişken olarak kullanılmıştır. Hesaplamaların sonucunda ortaya çıkan değerler uçuş öncesi planlamada kullanılan değişkenler ve senaryolar olarak özet bir tablo haline getirilmiştir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında Fotoğraf blokları alımı için kullanılan mikro-İHA aracı için farklı uçuş yüksekliğinde ve hızında istenilen hesaplamalar 5 farklı uçuş senaryosu için gerçekleştirilmiştir. Talep edilen özellikte İHA fotogrametri çalışması kapsamında teknik planlamada karşılaşılabilecek değişkenler ve sabitler eldeki mevcut veriler yardımıyla ortaya çıkartılmıştır. Uçuş senaryolarında zaman kısıtlamasını ortadan kaldırmak için çalışmada 1) uçuş yüksekliği ve 2) uçuş hızı değişkenleri ile optimizasyon değerlendirmeleri yapılmıştır. Proje kısıtları için kesin değerler belirtildiğinden bindirme oranları ve proje alanı boyutları ile teknik mikro-İHA özellikleri değiştirilemez. Bu kapsamda en uygun blok planlama çalışması için 5 ve 10 m/sn hızlarda 55, 90 ve 100 m uçuş yüksekliklerinde çalışma değerleri sayısal olarak ortaya konmuştur (Tablo 2).

Fotogrametrik değerlendirme amacıyla istenilen nitelikte fotoğraf blokları elde edilebilmesi için ilk senaryo için uçuş hızımızı 5 m/sn. ve uçuş yüksekliğini 55 m olmak üzere uçuş süresi normal şartlarda yaklaşık 24 dak.'nın üzerinde hesaplanmıştır. Bu senaryo dâhilinde gerçekleştirilecek olan çalışmanın sonuçlandırılması tek uçuş için imkansız görünmektedir. Ancak, mevcut mikro-İHA donanımında değişiklik yapılması halinde uygun şartlar oluşturulabilir. İkinci senaryo için uçuş hızımızı 5 m/sn. ve uçuş yüksekliğini 90 m olarak tahmin ettiğimiz durumda uçuş süresi normal şartlarda 15 dak.'nın üzerine çıkmıştır. Üçüncü senaryo için uçuş hızımızı 10 m/sn. ve uçuş yüksekliğini 55 m olmak üzere uçuş süresi normal şartlarda 11 dak.'nın üzerinde hesaplanmıştır. Dördüncü senaryo için uçuş hızımızı 10 m/sn. ve uçuş yüksekliğini 90 m olmak üzere uçuş süresi normal şartlarda yaklaşık 8 dak. olarak hesaplanmıştır. Beşinci senaryo için uçuş hızımızı 10 m/sn. ve uçuş yüksekliğini 100 m olarak tahmin ettiğimiz durumda uçuş süresi normal şartlarda 7 dak.'nın üzerinde hesaplanmıştır.

Bu çalışmada en önemli kısıt mikro-İHA'ya ait toplam uçuş süresi kabiliyeti olarak karşımıza çıkmıştır. Tablo 1' de standart bir DJI Inspire One Pro marka mikro-İHA'ya ait teknik özelliklere bakıldığında öngörülen toplam uçuş süresi maksimum 15 dak. olduğu anlaşılmaktadır (Dji, 2016a). CMOS sensörlü fotoğraf makinelerinde mikro-İHA araçları için 50 m yükseklikte ve 10 m/sn'lik uçuş hızı senaryosu başarılı olarak değerlendirilmektedir (Vautherin ve ark., 2016). Ancak, mevcut projenin tamamlanması için eldeki donanım buna izin vermemektedir. Artan uçuş yüksekliği mekânsal çözünürlüğü azaltmış, uçuş hattı arası mesafeler artmış, proje alanı için planlanan uçuş hattı sayısı azalmış, fotoğraf bloklarına ait değerler azalmış ve fotoğraf alım mesafeleri ise artmıştır. Kısaca, daha az çözünürlükte ve daha az sayıda işlenecek fotoğraf elde edilmiştir. Uçuş yüksekliğinde meydana gelen artma veya azalma UAV fotogrametri çalışmalarında oldukça etkili faktörlerdendir (Mesas-Carrascosa ve ark., 2015). Buna ek olarak senaryoda dış ve öngörülemeyen etkilerin olumsuzluğuna maruz



kalınması durumunda senaryolarda bahsedilen değerlerde kısmi farklılıklar oluşacağı göz önünde bulundurulmalıdır (Pepe ve ark., 2018).

**Tablo 2.** Uçuş Öncesi Planlamada Kullanılan Değişkenler Ve Senaryolar

Kamera ve lens değerleri	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo	4. Senaryo	5. Senaryo
Piksel genişlikleri**			4,608		
Piksel uzunlukları**			3,456		
<b>Asal uzaklık bilgileri</b>					
Genişlik** (mm)			22.12		
Yükseklik** (mm)			16.59		
Piksel boyutu (mm)			0.0048		
Lens odak uzaklığı** (mm)			15		
Perde hızı (sn.'de)	0.00176	0.00288	0.00088	0.00144	0.0016
<b>Görüntü alımı için uçuş değerleri</b>					
Platformun yer hızı (m/sn.)*	5	5	10	10	10
Uçuş yüksekliği (m)*	55	90	55	90	100
Görüntüye ait mekânsal çözünürlük (m)	0.0176	0.0288	0.0176	0.0288	0.032
<b>Görüntüye ait alan bilgisi ve bindirme oranları</b>					
Genişlik (m)	81.1008	132.71	81.1067	132.71	147.46
Uzunluk (m)	60.83	99.53	60.83	99.53	110.59
Boyuna bindirme oranı** (%)			80		
Enine bindirme oranı** (%)			50		
<b>Proje alanı büyüklüğü</b>					
Alan genişliği** (m)			500		
Alan uzunluğu** (m)			500		
Uçuş hattı arası mesafeler (m)	40.55	66.36	40.55	66.36	73.73
Proje alanı için planlanan uçuş hattı sayısı	13	9	14	9	8
Görüntüler arası mesafeler (m)	16.22	26.54	16.22	26.54	29.49
Her bir uçuş hattındaki görüntü adedi***	35	23	35	23	21
Proje alanı için toplam görüntü adedi***	464	195	464	195	163
Tahmini uçuş süresi (dak.)	23.88	15.89	11.94	7.95	7.32

\*Değiştirilebilir değerler, \*\*Talep edilen ve donanım için sabit tutulması gereken değerler, \*\*\*Değerlerin yuvarlanmasından dolayı  $\pm 2$  adet fark çıkabilir.

Çalışma kapsamında planlamalarda farklı mekânsal çözünürlükler ortaya konmuştur. En düşük piksele sahip 1. ve 3. senaryo (1.76 cm) için daha doğru ve kaliteli haritalama ve üç boyutlu (3B) modelleme işlemi yapılabilecekken, 2. ve 4. senaryoda çözünürlük değerleri ile 1. ve 3. senaryo ile karşılaştırıldığında çözünürlüğün 2.88 cm'ye düştüğü görülmüştür. Alternatif olarak 5. senaryoda çözünürlük değeri diğer senaryolara göre elde edilecek görüntülerin çözünürlüğünün azaldığı görülmüştür. Yükseklik artışına bağlı olarak gerçekleşen bu değişim yapılacak olan iş veya araştırmanın mahiyetine göre değerlendirilmelidir. Çünkü yüksekliğin artması blok görüntülerin çözünürlüklerinde azalmaya neden olmakta ve dolayısıyla işlenen görüntülerden elde edilecek veri kalitesini düşürmektedir. Farklı araştırmalarda farklı tipte kullanılan mikro-İHA ve algılayıcıları göz önünde bulundurularak istenilen mekânsal çözünürlüğe 50 m veya 100 m'de ulaşılabilmektedir (Papakonstantinou ve ark. 2016). Burada diğer önemli bir değişkenin de perde-örtücü hızı olduğu dikkate alınmalıdır. Kullanılan görüntü algılayıcımızın özelliğine bakılarak planlamanın uygun olup olmadığı değerlendirilmelidir. Aksi halde perde hızının artması veya azalması görüntülerdeki netliği etkilemektedir. Bu nedenle perde hızının her 5 planlamada da hesaplanan değerden aşağıda olmaması gerekmektedir.

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada temel fotogrametrik formüller hareket tabanlı yapılaştırma çalışmalarında kullanılan mikro-İHA'lar ile alımı yapılacak blokların kontrollü olarak planlanabileceği ortaya

konmuştur. Kontrollü uçuşlar ile küçük çapta arazi ölçümlerinde arazi planlamasının maliyeti yüksek otonom sistemlere ihtiyacın nasıl ortadan kaldırılabileceğine yol göstermiştir. Bu araştırma kapsamında kullanılan örnek mikro-İHA ve üzerindeki kamera için tahminler yapılabildiği gibi diğer ek donanımlar içinde kullanılabilir. Uçuş süresi ve toplam uçuş mesafeleri hız zaman formülleri kullanılarak olası aksaklıkların yaşanmaması için değerlendirilmiştir. Planlamada 250.000 m<sup>2</sup>'lik proje alanı blok alım optimizasyonu için uçuş süresi kısıtlayıcı olduğundan en uygun uçuş planı 90 m yükseklikte 10 m/dak için 2.88 cm çözünürlükte 9 uçuş hattında teorik olarak toplamda 7.95 dak. süren uçuş için uygun bulunmuştur.

Bu hesaplamalara, meteorolojik ve lokal engelleyici kısıtlar da göz önünde bulundurularak maksimum uçuş süresinin yarısı kadar uçuş süresi uygun görülmüştür. Yüksek maliyetli tam otomasyonlu uçuşlarda elde edilecek blok görüntü alımları için bu tür hesaplamalara gerek yoktur. Ancak düşük maliyetli bir mikro-İHA kullanılması durumunda bu hesaplamalar yardımıyla uçuş öncesi uçuş ve blok planlamaları yapılmalıdır. Planlamada kısıtlayıcı önemli diğer bir faktör olarak mikro-İHA'nın sahip olduğu maksimum uçuş süresi yani sahip olduğu pil gücü ön plana çıkmıştır.

Araştırmada ortaya konulan planlamalarda uçuşların gerçekleştirilerek test edilmesi ve elde edilen fotoğraf bloklarının işlendikten sonraki kalitesi ortaya konulmalıdır. Bundan sonraki araştırmalarda bu uçuş planı dâhilinde mikro-İHA yardımıyla üretilen ortofoto ve üç boyutlu (3B) arazi modellerin doğruluk analizleri gerçekleştirilecektir. Ayrıca, ormancılıkta dijital fotogrametri çalışmalarına ilgi duyan araştırmacıların burada belirtilen hesaplamalar ile arazi veri üretimi ve modellemelerde kullanacakları düşük maliyetli İHA ve üzerinde bulunan sistemleri seçerken yol gösterici çerçeve ortaya koyacağı düşünülmüştür.

## YAZAR KATKILARI

Bu çalışmanın ortaya konulmasında, **Sercan GÜLCİ** literatürün taranması, araştırmanın kurgulanması, verilerin kullanılmasında ve makalenin yazımında, **Hüseyin Yurtseven** makalenin yazım aşamasında, makale düzeni ve verilerin kontrol edilmesinde, **Mustafa AKGÜL** makale düzeni, veri ve literatür değerlendirmesinde makalenin yazımı ve son kontrollerde katkılar sağlamıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı değerlendiren hakemlere katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## KAYNAKLAR

- Akgül, M., Yurtseven, H., Demir, M., Akay, A.E., Gülci, S., & Öztürk, T., (2016) Usage opportunities of generating digital elevation model with unmanned aerial vehicles on forestry. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 66(1), 104-118.
- Akgül, M., Yurtseven, H., Gulci, S., & Akay, A.E., (2018) Evaluation of UAV-and GNSS-based DEMs for earthwork volume. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1893-1909.

- Akturk, E., & Altunel, A. O., 2019. Accuracy assessment of a low-cost UAV derived digital elevation model (DEM) in a highly broken and vegetated terrain. *Measurement*, 136, 382-386.
- Banu, T. P., Borlea, G. F., & Banu, C., (2016) The use of drones in forestry. *Journal of Environmental Science and Engineering B*, 5(11), 557-562.
- Buğday, E., (2018) Capabilities of using UAVs in forest road construction activities. *European Journal of Forest Engineering*, 4(2), 56-62.
- Coşkun, M.Z., (2012) Today and future of mobile mapping via low cost UAV (Unmanned Aerial Vehicles). *Electronic Journal of Map Technologies*, 4(2), 11-18. [Turkish]
- Dandois, J. P., Olano, M., & Ellis, E. C. (2015) Optimal altitude, overlap, and weather conditions for computer vision UAV estimates of forest structure. *Remote Sensing*, 7(10), 13895-13920.
- Dji (2016a) Specifications of DJI Inspire One Pro. <http://www.dji.com/product/inspire-1-pro-and-raw> (Ziyaret tarihi: 10.04.2016)
- Dji (2016b) Specifications of Zenmuse x5. <http://www.dji.com/product/zenmuse-x5s/info#specs> (Ziyaret tarihi: 10.04.2016)
- Dudek, M., Tomczyk, P., Wygonik, P., Korkosz, M., Bogusz, P., & Lis, B., (2013) Hybrid fuel cell-battery system as a main power unit for small Unmanned Aerial Vehicles (UAV). *International Journal of Electrochemical Science*, 8(6), 8442-63.
- Eisenbeiss, H., (2009) UAV photogrammetry. Dissertation ETH No. 18515, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland, Mitteilungen 105.
- Eker, R., Aydın, A., & Hübl, J., (2018) Unmanned aerial vehicle (UAV)-based monitoring of a landslide: Gallenzerkogel landslide (Ybbs-Lower Austria) case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(1), 28.
- Eker, R., & Aydın, A., (2020) The use of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for tracking stock movements in forest enterprise depots. *European Journal of Forest Engineering*, 6(2), 68-77.
- Erdin, K., (1992) Fotogrametri. İstanbul Üniversitesi Matbası, İstanbul.
- Grenzdörffer, G. J., Engel, A., & Teichert, B., (2008) The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31(B3), 1207-1214.
- Gülci, S., 2019. The determination of some stand parameters using SfM-based spatial 3D point cloud in forestry studies: an analysis of data production in pure coniferous young forest stands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 495.
- Gülci, S., & Akay, A.E., (2016) Using thermal infrared imagery produced by unmanned air vehicles to evaluate locations of ecological road structures. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University* 66 (2): 698-709. doi:10.17099/jffiu.76461 [Turkish]
- Hardin, P.J., & Jensen, R.R., (2011) Small-scale unmanned aerial vehicles in environmental remote sensing: challenges and opportunities. *GIScience and Remote Sensing*, 48(1), 99-111.
- Leckie, D. G., & Gillis, M., (1995) Forest inventory in Canada with emphasis on map production. *Forestry Chronicle*, 71: 74-88.
- Mesas-Carrascosa, F. J., Torres-Sánchez, J., Clavero-Rumbao, I., García-Ferrer, A., Peña, J. M., Borra-Serrano, I., & López-Granados, F., (2015) Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management. *Remote Sensing*, 7(10), 12793-12814.

- Oğuz, H., & Gülci S., (2019) The use of unmanned aerial vehicles Kahramanmaras-Turkey. (Proceedings) *III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium*, November 30, Kahramanmaras, Turkey. 139-144 pp.
- Papakonstantinou, A., Topouzelis, K., & Pavlogeorgatos, G., (2016) Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV Spatial Data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(6), 75.
- Pepe, M., Fregonese, L., & Scaioni, M., (2018) Planning airborne photogrammetry and remote-sensing missions with modern platforms and sensors. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 412-436.
- Pérez, M., Agüera, F., & Carvajal, F., (2013) Low cost surveying using an unmanned aerial vehicle. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W2, 2013 UAV-g2013, 4 – 6 September, Rostock, Germany.
- PSU (2015) <https://www.e-education.psu.edu/geog892/node/658> (Ziyaret tarihi: 19 Nisan 2015)
- SHGM (2020) (Sivil Havacılık Genel Müdürlüğü) [http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2020/SHT-IHA\\_Rev-04.pdf](http://web.shgm.gov.tr/documents/sivilhavacilik/files/mevzuat/sektorel/talimatlar/2020/SHT-IHA_Rev-04.pdf) (Ziyaret tarihi: 07 Nisan 2021)
- Tang, L., and Shao, G. (2015) “Drone Remote Sensing for Forestry Research and Practices: Review Article.” *Journal of Forestry Research* 26 (4): 791-7.
- Torresan, C., Berton, A., Carotenuto, F., Di Gennaro, S. F., Gioli, B., Matese, A., ... & Wallace, L., (2017) Forestry applications of UAVs in Europe: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8-10), 2427-2447.
- Van Blyenburgh, P., (1999) UAVs: an overview. *Air & Space Europe*, 1(5/6), 43-47.
- Vautherin, J., Rutishauser, S., Schneider-Zapp, K., Choi, H. F., Chovancova, V., Glass, A., & Strecha, C., (2016) Photogrammetric accuracy and modeling of rolling shutter cameras. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 3(3).
- Wallace, L., Lucieer, A., Malenovskè, Z., Turner, D. & Vopěnka, P., (2016) Assessment of forest structure using two UAV techniques: a comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7, 1-16.
- Watts, A.C., Ambrosia, V.C., & Hinkley, E.A., (2012) Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: classification and considerations of use. *Remote Sensing*, 4, 1671-1692.
- Wing, M.G., Burnett, S., Johnson, S., Akay, A.E., & Sessions, J., (2014) A Low-cost unmanned aerial system for remote sensing of forested landscapes. *International Journal of Remote Sensing Applications*, 4(3), 113-120.
- Yundong, W.U., Qiang, Z., & Shaoqin, L., (2008) A contrast among experiments in three low-altitude unmanned aerial vehicles photography: Security, quality & efficiency. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(B1), 1223–1227.
- Yurtseven, H., (2019). Comparison of GNSS-, TLS-and different altitude UAV-generated datasets on the basis of spatial differences. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(4), 175.
- Yurtseven, H., Akgul, M., Coban, S., & Gulci, S., (2019) Determination and accuracy analysis of individual tree crown parameters using UAV based imagery and OBIA techniques. *Measurement*, 145, 651-664.

Zeybek, M., & Şanlıoğlu, İ., (2020) Investigation of landslide detection using radial basis functions: a case study of the Taşkent landslide, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(4), 1-19.

## Kısaltmalar

Makalede kullanılan kısaltmalar:

İHA: İnsansız hava aracı  
USD: Amerikan doları  
KSÜ: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi  
ck: Kamera asal uzaklığı  
CMOS: Complementary metal oxide semiconductor  
FO: Boyuna bindirme oranı  
FPA: Asal düzlem boyutu  
FS: Uçuş hızı  
Ft: Tahmini uçuş süresi  
GS: Alan metrik boyutu  
GSD: Mekânsal çözünürlük  
hg: Uçuş yüksekliği  
NoP: Bir kolonda çekilen fotoğraf adedi  
NoFP: Toplam uçuş hattı sayısı  
ps: Piksel boyutu  
SO: Enine bindirme oranı  
SoFP: Uçuş hatları arasındaki mesafe  
SP: Çekilen fotoğraflar arası mesafe  
SS: Örtücü hızı  
TNoP: Uçuş boyunca elde edilecek fotoğraf adedi  
3B: Üç boyutlu