

POST PROCESSING KİNEMATİK DONANIMLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARINDAN ELDE EDİLEN FOTOGRAMETRİK ÜRÜNLERİN DOĞRULUĞUNUN İNCELENMESİ

T. Türk ^{a,*}, T. Öcalan ^b

^a Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas- tarikturk@gmail.com

^b Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, İstanbul - tocalan@yildiz.edu.tr

KEYWORDS: Unmanned Aerial Vehicle, Photogrammetry, Post Processing Kinematic

ABSTRACT:

Today, products such as high accurate ortho-images, point clouds and Digital Surface Model (DSM) can be generated by Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry using Ground Control Point (GCP). In addition to this, even with using UAVs equipped with Post Processing Kinematic (PPK)/Real Time Kinematic (RTK) to obtain directly precise point positions, high accurate ortho-images, point clouds and DSMs can be produced without requiring any GCP.

In this study, after establishing and marking 9 GCPs in the campus of Sivas Cumhuriyet University, a photogrammetric flight was performed by UAV equipped with PPK. Images obtained from this flight were processed by Pix4D, a photogrammetric processing software, following two different strategies as: with GCPs and without GCPs. The accuracy of the ortho-image produced using GCPs was obtained as 3.6 cm in horizontal and 5.0 cm in vertical. Since the accuracy of the ortho-image produced from the without GCPs strategy by considering the permanent GNSS station located in the study area as reference (relatively short baseline), was computed as 4.5 cm horizontally and 9.0 cm vertically, the accuracy of the ortho-image produced from the same strategy by using CORS-TR GNSS station, namely SIVS, as reference (relatively long baseline) was computed as 9.1 cm horizontally and 8.9 cm vertically. As a result, it was determined that without requiring any GCPs in the study area, high-accurate photogrammetric products (≤ 10 cm) can be provided. In this concept, this study shows that UAVs equipped with PPK can be used effectively for generating high accurate photogrammetric products depending on the accuracy requirement of the studies such as geomatic, precise agriculture and forestry without using optionally any GCPs.

ANAHTAR KELİMELER: İnsansız Hava Aracı, Fotogrametri, Post Processing Kinematik

ÖZET:

Günümüzde, İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametrisi ile Yer Kontrol Noktası (YKN) kullanılarak yüksek doğrulukla orto-görüntü, nokta bulutu ve Sayısal Yüzey Modeli (SYM) gibi ürünler üretilmektedir. Bununla birlikte, Post Processing Kinematik (PPK)/Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic-RTK) donanımlı İHA'lar yardımıyla da herhangi bir YKN'ye gereksinim duyulmadan doğrudan hassas konum belirleme ile yüksek doğruluklu orto-görüntüler, nokta bulutları ve SYM'ler üretilmektedir.

Bu çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesi sınırları içerisine 9 adet YKN tesis edilip işaretlendikten sonra, PPK donanımlı İHA ile fotogrametrik amaçlı uçuş gerçekleştirilmiştir. Uçuş sonucunda elde edilen görüntüler Pix4D fotogrametrik değerlendirme yazılımında YKN'li ve YKN'siz olmak üzere iki farklı strateji ile değerlendirilmiştir. YKN kullanılarak üretilen orto-görüntünün doğruluğu yatayda 3,6 cm, düşeyde ise 5 cm olarak elde edilmiştir. Çalışma alanındaki sabit GNSS istasyonu referans alınarak (görece kısa baz) YKN'siz yapılan değerlendirme sonucunda üretilen orto-görüntünün doğruluğu yatayda 4.5 cm, düşeyde ise 9 cm iken; SIVS isimli TUSAGA-Aktif GNSS istasyonu referans alınarak (görece uzun baz) YKN'siz yapılan değerlendirme sonucunda ise orto-görüntünün doğruluğu yatayda 9.1 cm, düşeyde 8.9 cm olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, PPK donanımlı İHA'lar kullanılarak çalışma alanında herhangi bir YKN'ye ihtiyaç duyulmadan yüksek doğruluklu (≤ 10 cm) fotogrametrik ürünler elde edilebileceği tespit edilmiştir. Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışma geomatik, hassas tarım ve ormancılık gibi alanlarda çalışmanın amacına uygun olarak istenen yüksek doğruluklu fotogrametrik ürünlerin elde edilmesinde, seçenek olarak YKN kullanılmadan PPK donanımlı İHA'nın etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.

1. GİRİŞ

İnsansız Hava Aracı (İHA) sistemleri her geçen gün hızlı bir şekilde gelişmekte, bu kapsamda İHA-fotogrametrisi klasik fotogrametri ile uzaktan algılama yöntemlerine önemli bir alternatif haline gelmektedir. Bu sistemler, yalnız fotogrametrik ve uzaktan algılama uygulamalarında değil, tarımsal ve çevresel uygulamalar (Zarco-Tejada, vd., 2012), istihbarat, takip ve keşif görevleri (Molina, vd., 2012), havadan gözlemler (Merz and Chapman, 2011), kültürel miras (Rinaudo, vd., 2012),

geleneksel haritalama, fotogrametrik kadaströ uygulamaları (Manyoky, vd., 2011) gibi farklı alanlarda da etkin biçimde kullanılmaktadır (Birdal vd., 2016). Dünya'nın birçok ülkesinde bu sistemlerin yaygın olarak kullanımına yönelik hukuki ve teknik altyapılar hazırlanmaktadır. Bu kapsamda, ülkemizde de 26 Haziran 2018 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe giren güncellenen Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği'nin 45. maddesi uyarınca Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) ile Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG) tarafından kullanılacak haritaların

* Sorumlu Yazar: Tarık TÜRK. E-posta: tarikturk@gmail.com

İHA Sistemleri ile üretimine ve kontrol edilmesine yönelik mevzuatlar yayımlanmıştır.



Şekil 1. İHA türleri (Birdal, 2016'dan uyarlanmıştır)

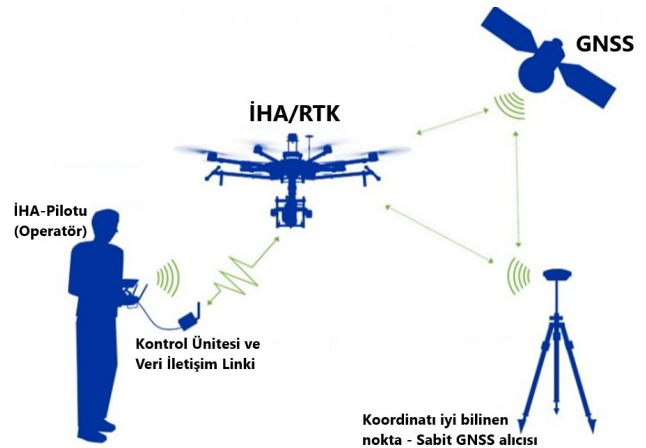
İHA sistemleri; genel olarak insansız hava platformları, yer istasyonları ve iletişim bağlantılarından oluşmaktadır. Bunlar, İHA sistemlerinin temel bileşenleri olarak kabul edilirler. İHA sistemleri uygulamalarında elde edilen görüntülerin coğrafi konumlandırma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Bu işlem, dolaylı olarak Yer Kontrol Noktalarının (YKN) (D'oleire-Oltmanns vd., 2012; Birdal, 2016) kullanımıyla ya da doğrudan konum belirleme sistemi yardımıyla (Turner vd., 2014; Nagai vd., 2009) gerçekleştirilebilmektedir. Orto-görüntülerin üretiminde YKN kullanımının zaman, maliyet ve işgücü gibi ölçütler açısından olumsuz bir unsur olması ve tam anlamıyla gerçek-zamanlı elde edilememesi, doğrudan konum belirlemeye yönelik bir eğilim oluşmasını sağlamıştır (Eling vd., 2014). İHA sistemlerinin gerçek zamanlı coğrafi konumlandırılmasında bir diğer yöntem ise bu sistemler için tasarlanmış olan Gerçek Zamanlı Kinematik (Real-Time Kinematic-RTK)/Ölçüm Sonrası Kinematik Değerlendirme (Post Processing Kinematic-PPK) GNSS bütünleştirilmesinin sağlanmasıdır. İHA'larda bu yöntemin kullanılması ile doğruluk, zaman, maliyet ve işgücü açısından en uygun sonuçlar elde edilebilmektedir.

Örneğin tek frekanslı kod (pseudorange) ölçülerinin kullanıldığı temel diferansiyel GNSS (DGNSS) tekniğinde birkaç desimetre civarında bir konum doğruluğu elde edilirken, çift frekans ve taşıyıcı faz (carrier phase) ölçülerinin kullanıldığı gerçek zamanlı kinematik (RTK) tekniklerde ise santimetre seviyesinde konum doğruluğu elde edilebilmektedir (Öcalan, 2015). Bu yönüyle klasik-RTK ve ağ-RTK teknikleri gerçek zamanlı jeodezik çalışmalarda kullanıcılar için vazgeçilmez olmuştur (Rizos vd., 2012). Bu durum son onbeş yıldır birçok devlet, organizasyon ve ticari kuruluş tarafından RTK kullanıcılarını desteklemek amacıyla CORS (Continuously Operating Reference Stations) olarak adlandırılan ve aktif olarak çalışan sabit GNSS referans istasyonu ağlarının kurulmasına ve ağ-RTK tekniğinin farklı matematiksel düzeltme modellerinin (VRS, FKP, MAC, PRS) geliştirilmesine katkıda bulunmuştur (Öcalan, 2015). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sayıları giderek artan bu ağların kullanımının yaygınlaşması tüm RTK kullanıcılarına önemli faydalar sunmaktadır. GNSS uygulamalarına yeni bir anlayış getiren, veri aktarım ve iletişim donanımlarının tümüyle gerçek zamanda, anlık ya da tanımlı küçük gecikme zaman dilimlerinde tüm kullanıcılara hizmet verecek şekilde düzeltme verilerini yayınlayan CORS ağları,

genellikle ulusal ya da yerel ölçekte faaliyet göstermektedir (Öcalan, 2015). Türkiye'de ise kısaca TUSAGA-Aktif ismiyle anılan ve Ağ-RTK ilkesine göre çalışan CORS sistemi gerçek zamanlı GNSS uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

1.1 Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) Değerlendirme Yöntemi

GNSS'e dayalı yüksek doğrulukta gerçek zamanlı konum belirleme uygulamaları temel olarak çift/çoklu frekans GNSS alıcıları kullanılarak, taşıyıcı faz (carrier phase) ölçüleri ile gerçekleştirilmektedir (Kahveci vd., 2011). RTK yöntemi temel olarak klasik-RTK ve ağ-RTK (CORS tekniği) olarak ikiye ayrılmaktadır. İHA ile gerçekleştirilen RTK tabanlı uygulamalar genel anlamda görece kısa baz uzunluğu kullanımı amaçlı klasik-RTK ile yapılmaktadır. Çalışma alanı içerisinde yada yakınında koordinatı iyi bilinen bir referans noktasına (base) kurulan sabit GNSS alıcısı, veri iletişim bağlantısı aracılığıyla İHA sistemindeki alıcıya düzeltme verisi göndermektedir. Böylece kinematik hareket sağlayan İHA sisteminin gerçek zamanda cm düzeyinde konumu belirlenebilmektedir. Çalışmada kullanılan sabit nokta aynı zamanda İHA'dan elde edilecek fotogrametrik ürünlerin datum tanımında da kullanılmaktadır. Şekil-2 temsili olarak İHA/RTK sisteminin kullanımını göstermektedir.



Şekil 2. RTK donanımlı İHA ve çalışma ilkesi (URL 1)

1.2 Ölçüm Sonrası Kinematik (PPK) Değerlendirme Yöntemi

GNSS literatüründe "post-processing" terimi, GNSS gözlemlerinin elde edilmesinden sonra farklı nitelikteki yazılımlarla (ticari, bilimsel, web tabanlı vb.) büro ortamında değerlendirilmesi ve analiz edilmesi işlemi olarak tanımlanırken, bu terim İHA sistemleri uygulamalarında kinematik GNSS verisinin büroda analizini ifade eden PPK olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde de aynı RTK uygulamalarına benzer şekilde çalışma alanı içerisinde yada yakınında koordinatı iyi bilinen bir referans noktasına (base) sabit GNSS alıcısı kurulmaktadır. Sabit alıcı statik gözlem yaparken, İHA üzerindeki alıcı kinematik gözlem yapmaktadır. Daha sonra İHA ile elde edilen kinematik GNSS verisi, bağıl (rölatif) konumlama ilkesine dayalı olarak sabit nokta koordinatına dayalı olarak epok epok analiz edilmektedir. PPK yöntemi bu bağlamda kısaca İHA ile kinematik GNSS gözlemlerinin toplanması ve bu gözlemlerin daha sonra büroda farklı nitelikteki yazılımlar ile değerlendirilerek, yüksek

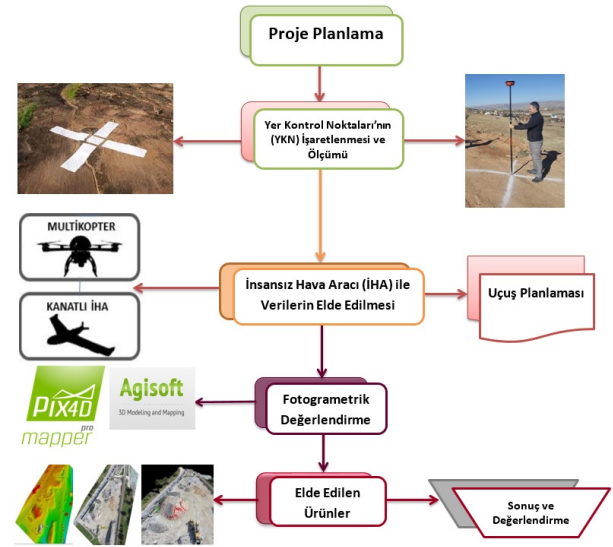
doğrulukta baz bileşenlerinin ve/veya nokta koordinatlarının elde edilmesidir (Kahveci vd., 2011).

Gerçek Zamanlı Hesaplama (RTK)	Büroda Analiz ve Hesaplama (Post-Processing)
Anında hassas konum belirleme olanaklıdır.	Ölçüm bittikten belirli bir süre sonra istenilen hassas konum belirlenebilir.
Özellikle tek epok ölçülerde kontrollü ve güvenilir sonuç sorunu söz konusu olup, referans istasyondan uzaklaşıldıkça düzeltme hatası artar ve konum doğruluğu düşer.	Kontrollü ve güvenilir yüksek doğruluk elde etmek her zaman olanaklıdır. Hassas atmosferik modelleme, iterasyonlu çözüm, hesaplama yöntemi (L1, L2, L3 vb.) seçimi, ağ dengelemesi yapılır. Veri değerlendirme ve analizinde farklı stratejiler kullanılabilir.
Yeterli sıklıkta referans istasyonu/istasyonları yoksa düzeltme almada sorunlar yaşanabilir. Klasik-RTK’da en yakın referans istasyonu verileri kullanılır. Ağ-RTK’da kullanılan matematiksel düzeltme modeli önemlidir.	Hesaplamalarda tek yada çok sayıda referans istasyonu verileri temin edilip, kullanılabilir.
Datum belirleme önemlidir. Dikkat edilmelidir.	Datum belirleme sorunu yoktur.
Hesaplamalar için ayrıca post-process yazılımı gerekmez.	Hesaplamalar için post-process yazılımı gereklidir.

Çizelge 1. Gerçek zamanlı kinematik (RTK) ve ölçüm sonrası kinematik değerlendirme (PPK) yöntemleri arasındaki temel farklar (Kahveci vd., 2011’den uyarlanmıştır)

2. KULLANILAN VERİLER VE YÖNTEM

Gerçekleştirilen bu çalışmada, PPK donanımına sahip İHA’lardan elde edilen verilerle üretilen Sayısal Yüzey Modeli (SYM), nokta bulutu ve orto-görüntü gibi fotogrametrik ürünlerin, farklı disiplinler yada disiplinlerarası çalışmalarda yüksek doğruluk gerektiren uygulamalar (≤ 10 cm) için kullanılabilirliği, kısa ve uzun baz PPK analizleri ile YKN’li ve YKN’siz yaklaşımlarla araştırılmıştır. Bu amaçla çalışma kapsamında izlenen işlem adımları Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 3. İHA fotogrametrisinde izlenen işlem adımları

2.1 Çalışma Alanı

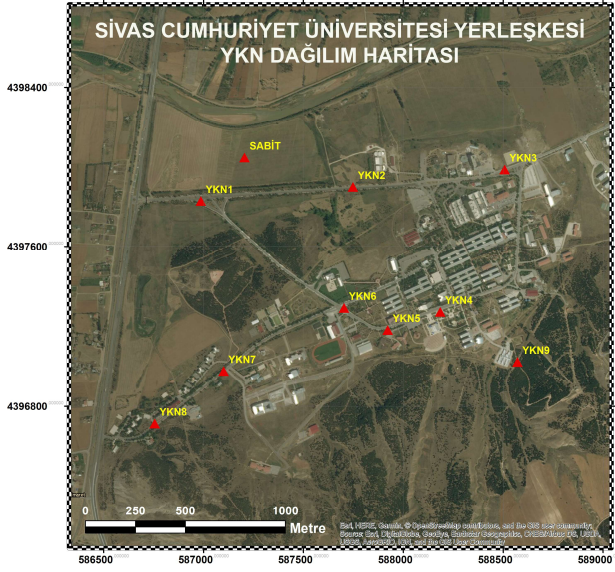
Bu çalışmada Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi uygulama alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 4). Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesi yaklaşık olarak 600 hektarlık bir alana sahiptir.



Şekil 4. Çalışma alanı: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Yerleşkesi

2.2 Arazi Çalışması ve Verilerin Elde Edilmesi

Çalışmada ilk olarak proje planlaması yapılmıştır. Bu kapsamda öncelikle çalışma alanına mümkün olduğunca homojen olarak dağılacak şekilde 9 adet YKN tesis edilmiştir (Şekil 5). Ardından bu YKN’lerin zemin işaretlemeleri yapılarak görüntü üzerinden kolaylıkla belirlenebilmeleri sağlanmıştır. Tesis edilen tüm YKN’lerin konumu TUSAGA-Aktif (CORS-TR) sisteminden faydalanarak GNSS ağ-RTK yöntemiyle elde edilmiştir. Elde edilen konum bilgileri Çizelge 2’de verilmektedir.



Şekil 5. Çalışma bölgesi için YKN dağılım haritası

Nokta No	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	Elipsoidal Yükseklik (m)
SABİT	4398021.562	587209.921	1289.331
YKN1	4397827.752	586986.888	1290.294
YKN2	4397898.062	587748.485	1292.221
YKN3	4397985.635	588507.865	1296.539
YKN4	4397272.510	588185.067	1314.208
YKN5	4397182.466	587922.730	1310.521
YKN6	4397292.382	587703.997	1300.111
YKN7	4396978.497	587100.978	1298.228
YKN8	4396713.017	586755.950	1295.922
YKN9	4397023.840	588572.293	1329.401

Çizelge 2. YKN ve sabit istasyon noktalarının konum bilgileri

Çalışma kapsamında kullanılan İHA sistemi marka/modeli C-Astral Bramor PPX'dir. Bu sisteme ait teknik bilgiler aşağıda sunulmuştur.

- PPK Modülü
- 24.3 MP çözünürlüklü RGB kamera (6000 x 4000 piksel)
- 3,5 saat havada kalma süresi
- 150 km teknik menzil
- Maksimum hız 23m/sn
- 15 m/s kadar rüzgara dayanımlı
- Kalkış ağırlığı yaklaşık 4 kg
- Bütünleştirilmiş IMU sistemi
- Güçlendirilmiş karbon yapı ve dayanıklı kompozit gövde
- Kolay kurulum ve hızlı göreve başlama
- %100 otonom
- Fırlatma rampası ile güvenli kalkış
- Paraşüt ile güvenli iniş
- Çalışma sıcaklığı -25°C / +40°

Çalışma alanında gerçekleştirilen uçuş 3.37 cm Yer Örnekleme Mesafesi (YÖM-GSD), % 80 boyuna bindirme oranı, % 60 enine bindirme oranı olacak şekilde planlanmış ve toplam 1170 adet görüntü elde edilmiştir.

2.3 Verilerin Değerlendirilmesi ve Analizi

Arazi çalışmalarından elde edilen görüntülerin değerlendirilmesinde Pix4D Mapper Pro 4.3.33 fotogrametrik değerlendirme yazılımı kullanılmıştır. Değerlendirme yapılırken aşağıda belirtilen iki farklı strateji uygulanmıştır.

- YKN ler kullanılarak fotogrametrik değerlendirme
- YKN ler kullanılmadan fotogrametrik değerlendirme
 - Çalışma alanı içerisine tesis edilen sabit referans noktası kullanılarak (kısa baz)
 - TUSAGA-Aktif SIVS sabit referans noktası kullanılarak (uzun baz)

YKN'ler kullanılarak yapılan değerlendirme esnasında standart İHA fotogrametrisi işlem adımları uygulanmıştır. YKN'ler kullanılmadan yapılan değerlendirmede ise İHA'dan elde edilen kinematik veriler ile çalışma alanındaki sabit istasyon statik gözlem verisi referans alınarak PPK çözümü gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ise İHA'dan elde edilen kinematik verilerle Sivas il sınırı içerisinde yer alan SIVS isimli TUSAGA-Aktif istasyonu referans alınarak PPK çözümü gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yukarıda belirtilen her iki stratejinin fotogrametrik değerlendirme yazılımında uygulanmasıyla çalışma alanına ait nokta bulutu, SYM (DSM) ve orto-görüntü (Şekil 6) elde edilmiştir.



Şekil 6. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi yerleşkesine ait orto-görüntü

İki farklı stratejinin uygulanması sonucunda elde edilen doğruluk değerleri Çizelge-3'de sunulmaktadır.

Değerlendirme Türü	Yatay doğruluk (cm)	Düşey doğruluk (cm)
YKN kullanılarak	3.6	5.0
YKN'siz (Kısa Baz Çözümü)	4.5	9.0
YKN'siz (Uzun Baz Çözümü) SIVS noktasına dayalı	9.1	8.9

Çizelge 3. Değerlendirme türüne göre elde edilen doğruluk değerleri

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kullanım ve uygulama alanı giderek artan GNSS teknolojisinde hassas ve yüksek doğrulukta konum bilgisinin elde edilmesi için geleneksel olarak bağıl konum belirleme tekniklerinin kullanıldığı bilinmektedir. Günümüzde mutlak anlamda yüksek doğruluk sağlayan GNSS-PPP (Precise Point Positioning) gibi alternatif konum belirleme teknikleri geliştirilse de, bağıl konumlamaya dayalı İHA uygulamaları geomatik/harita disiplini çalışmalarında etkinliğini sürdürmektedir.

Buna karşın önümüzdeki süreçte İHA uygulamalarında mutlak anlamda doğrudan konumlandırma yönteminin; kullanıcılar için zaman, maliyet, doğruluk ve işgücü gibi ölçütler dikkate alındığında sağladığı faydalar açısından ön plana çıkarak giderek yaygınlaşacağı da öngörülmektedir.

Bu kapsamda gerçekleştirilen bu çalışmada GNSS konumlama teknikleri açısından gelişim dinamikleri vurgulanarak, özelinde İHA-fotogrametrisi bağlamında elde edilecek ürün doğrulukları için YKN'li ve YKN'siz çözümlerin sonuçları PPK donanımlı İHA sistemi ile test edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Geleneksel klasik fotogrametrik kıymetlendirme uygulamalarında gerek datum tanımı, gerekse ürün doğrulukları açısından YKN kullanımı ve bunların doğruluğu hiç kuşkusuz son derece önemlidir. İHA sistemlerinin etkin kullanımıyla yaygınlaşan İHA-fotogrametrisi uygulamalarında da şüphesiz YKN kullanımı en uygun çözümler için kritik öneme sahiptir. Ancak gelişen ve değişen teknoloji, GNSS konum belirlemedeki yenilikler, uygulamanın niteliği ve elde edilecek ürünlerin doğruluğu açısından kullanıcılara alternatifler yaratmaktadır.

Bu nedenle bu çalışmada YKN'lere gereksinim duyulmadan doğrudan konumlandırma ile yüksek doğruluklu (≤ 10 cm) fotogrametrik ürünlerin elde edilmesindeki yaklaşımlar test edilerek sunulmuştur. Bulgular göstermiştir ki; PPK donanımlı İHA sistemleri ile YKN kullanmaksızın tarım, ormancılık vb. çalışmalarda gereksinim duyulan en uygun yüksek doğrulukta fotogrametrik ürünler bu yaklaşımla elde edilebilir.

KAYNAKLAR

Birdal AC. 2016. Determination of Tree Heights Using Unmanned Air Vehicles, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir.

D'Oleire-Oltmanns S., Marzloff I., Peter KD., Ries JB. 2012. Unmanned aerial vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. *Remote Sens.* 4, 3390–3416.

Eling, C, Klingbeil, L., Kuhlmann, H., 2014. Development of an RTK-GPS system for precise real-time positioning of lightweight UAVs, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52, 5.

Manyoky M., Theiler P., Steudler D., Eisenbeiss H., 2011. Unmanned aerial vehicle in cadastral applications, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XXXVIII-1/C22, 57-62.

Merz T., Chapman S. 2011. Autonomous unmanned helicopter system for remote sensing missions in unknown environments. *ISPRS, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inform. Sci.* XXXVIII-1/C22, 277-282.

Molina P., Pares M., Colomina I., Vitoria T., Silva P., Skaloud J., Kornus W., Prades R., Aguilera C., 2012. Drones to the Rescue! Unmanned aerial search missions based on thermal imaging and reliable navigation. *InsideGNSS* 7, 36-47

Rinaudo F., Chiabrando F., Lingua A., Spanò AT., 2012. Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer. *International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX n. B5, 583-588.

Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C. ve Grinter, T., 2012. FIG Working Week 2012 "Precise Point Positioning: Is the Era of Differential GNSS Positioning Drawing to an End?", Rome, Italy, (6-10 May 2012)

Kahveci, M., Karagöz, H., Selbesoğlu, M.O., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, hkm Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2011/1, Sayı 104.

URL 1, 2019. RTK/PPK donanımlı İHA ve çalışma ilkesi <https://www.heliguy.com/blog/2019/01/24/is-rtk-the-future-of-drone-mapping/>

Nagai, M., Chen, T., Shibasaki, R., Kumagai, H., Ahmed, A., 2009. UAV-borne 3-D mapping system by multisensor integration, *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 47, 701–708.

Öcalan, T., 2015. GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımlı Çözümler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, İstanbul.

Turner D, Lucieer A, Wallace L. 2014. Direct Georeferencing of Ultrahigh-Resolution UAV Imagery. *IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing*, 52, 2738–2745.

Zarco-Tejada PJ., 2012. González-Dugo V., Berni JAJ. Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera, *Remote Sensing of Environment*, 117, 322-337.