

# İHA TABANLI HARİTA ÜRETİMİNDE PPP-AR YÖNTEMİNİN BLOK DENGELEME DOĞRULUĞUNA ETKİSİ

Burhaneddin BİLGEN<sup>1</sup>, Sercan BÜLBÜL<sup>2</sup>, Hasan Bilgehan MAKİNECİ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Bölümü, 06560, Yenimahalle, Ankara, burhaneddin.bilgen@hbv.edu.tr

<sup>2</sup>Doç. Dr., Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42100, Selçuklu, Konya, sbulbul@ktun.edu.tr

<sup>3</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42100, Selçuklu, Konya, hbmakineci@ktun.edu.tr

## ÖZET

Son yıllarda İnsansız Hava Araçları (İHA), pratik harita üretme kabiliyetleri nedeniyle fotogrametrik ürün elde etme amacıyla sıkça tercih edilmektedir. Yüksek konumsal doğrulukta blok dengeleme, genellikle Yer Kontrol Noktaları (YKN) kullanılarak mümkündür. Ancak, YKN'lerin GNSS ile konumlarının belirlenmesinde farklı görüşler bulunmaktadır. Hassas Nokta Konumlama (PPP), bu konuda değerlendirilmesi gereken alternatiflerden biridir. Bu çalışmada, Parrot ANAFI döner kanatlı İHA kullanılarak fotogrametrik görüntü alımı gerçekleştirilmiştir. Selçuk Üniversitesi kampüsü alanında 3B konum doğrulukları yüksek hassasiyetle belirlenmiş altı adet pilye ve sekiz adet YKN'de Javad Triumph1 GNSS alıcısı ile 5 saniye kayıt aralıklı 5 dakikalık GNSS ölçüleri yapılmıştır. Yapılan 5 dakikalık GNSS ölçüleri, raPPPI yazılımı ile PPP-AR yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve çalışma alanının üç boyutlu (3B) modeli üretilmiştir. Üretilen modelden, kontrol bazındaki pilyelerin koordinatları okunmuş ve bilinen koordinatlar arasındaki farklar hesaplanmıştır. Pilyelerin bilinen yatay konumları ile modelden alınan yatay konumları arasındaki farkların 21.68 cm ile 47.28 cm arasında değiştiği tespit edilmiştir. Aynı şekilde, bilinen ve modelden okunan koordinatlardan hesaplanan yükseklikler arasındaki farkların -14.51 cm ile -59.38 cm arasında değiştiği görülmüştür. Elde edilen veriler, yatay ve düşey konum doğruluklarının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen ilk bulgular, üretilen modelden alınan yatay koordinatların değişim aralığının daha dar, yüksekliklerin değişim aralığının ise daha geniş olduğunu göstermiştir. Bu durum, üretilen modelden yatay koordinatların yüksekliklere göre daha hassas okunabildiğini göstermektedir. Ayrıca, yatay mesafelerin 6.3 cm ile 52.1 cm arasında, düşey mesafelerin ise 3.3 cm ile 44.9 cm arasında değişen bir hata ile belirlenebildiği tespit edilmiştir. YKN'lerde 5 dakikalık GNSS ölçüleri yapılarak PPP-AR tekniğiyle değerlendirilerek üretilen modelin pratikte birçok uygulamada kullanılabilirliği, ancak hassas jeodetik çalışmalarda yetersiz kalabileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Sözcükler:** Hassas nokta konumlama (PPP), ışın demetleriyle blok dengeleme, raPPPI yazılımı, yatay ve düşey konum doğruluğu

## ABSTRACT

### EFFECT OF PPP-AR METHOD ON BLOCK ADJUSTMENT ACCURACY IN UAV-BASED MAPPING

In recent years, Unmanned Aerial vehicles (UAVs) have been frequently used for photogrammetric model generation due to their practical map generation capabilities. Block adjustment with high positional accuracy is usually possible by using Ground Control Points (GCPs). However, there are different opinions on determining the positioning of the GCPs with GNSS. Precise Point Positioning (PPP) is one of the alternatives to be considered in this regard. In this study, photogrammetric image acquisition was performed using a Parrot ANAFI rotary-wing UAV. In the Selçuk University campus, a Javad Triumph1 GNSS receiver made five-minute GNSS observations with five-second recording gaps. This was done at eight GCPs and six pillars, the 3D positions of which were determined with great accuracy. The five-minute GNSS observations were evaluated using the PPP-AR method with raPPPI software, and a three-dimensional (3D) model of the study area was generated. The coordinates of the control base pillars were taken from the model, and the differences between the known coordinates were calculated. It was determined that the differences between the known horizontal positions of the pillars and the horizontal positions taken from the model varied between 21.68 cm and 47.28 cm. Likewise, the differences between the heights calculated from the known coordinates and the coordinates read from the model were found to vary between -14.51 cm and -59.38 cm. The obtained data were used to evaluate the horizontal and vertical position accuracies. The study's preliminary findings showed that the range of the horizontal coordinates taken from the generated model is narrower, while the range of the heights is more comprehensive. This indicates that horizontal coordinates can be taken more accurately than heights from the generated model. Furthermore, measurements of heights from 3.3 cm to 44.9 cm and horizontal distances between 6.3 cm and 52.1 cm were found to be able to be made with error. After operating the PPP-AR method to analyse 5-minute GNSS readings at the GCPs, we concluded that while this model could be helpful in many real-world scenarios, it might not be precise enough for geodetic research.

**Keywords:** Bundle block adjustment, horizontal and vertical position accuracy, precise point positioning (PPP), raPPPI software

## 1. GİRİŞ

İnsansız Hava Aracı (İHA) fotogrametri çalışmalarında hız ve kolaylık avantajlarından dolayı tercih edilmekle birlikte üretilen sonuç haritalarının konumsal doğrulukları için içerisine girdiğinde jeodezik yöntemlere göre zayıflıklar göstermektedir (Agüera-Vega, vd., 2017). Özellikle Yer Kontrol Noktaları (YKN) kullanılmadan yapılan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ve ortomozaik gibi sonuç ürünlerde konumsal doğruluk yatayda ve düşeyde metre seviyesini geçememektedir. YKN kullanarak yapılan araştırmalar ise büyük ölçekli harita üretilmesine olanak sağlayabilecek doğrulukta sonuçlar elde edildiğine işaret etmektedir (Martínez-Carricondo, vd., 2018).

Mutlak konum belirleme yöntemlerinden biri olan Hassas Nokta Konumlama (PPP) ilk kez Zumberge vd., (1997) tarafından kullanılmıştır. Yöntem, tek bir GNSS alıcısı ile hassas konum bilgisi elde etmeyi amaçlamaktadır. PPP yönteminin en önemli dezavantajı yakınsama süresinin uzun olmasıdır (Kouba ve Héroux, 2011). Bu nedenle yöntemde günümüze kadar bazı iyileştirmeler yapılmış ve geleneksel PPP algoritmasından, Belirsizlik Çözümü ile Hassas Nokta Konumlama (PPP-AR) algoritmasına geçilmiştir. PPP-AR algoritması ile faz başlangıç belirsizliği geleneksel PPP yöntemindeki gibi kesirli olarak belirlenmeyip tam sayı olarak kestirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı İHA ile fotogrametrik görüntü almından üretilen sonuç ürünler için yatay ve düşey konum doğruluklarının artırılmasının PPP-AR yöntemi ile sağlanmasıdır. Seçilen test alanında yer alan altı pilye ve tesis edilen sekiz YKN ile doğruluk analizleri gerçekleştirilmiştir.

### 1.1 Yöntem

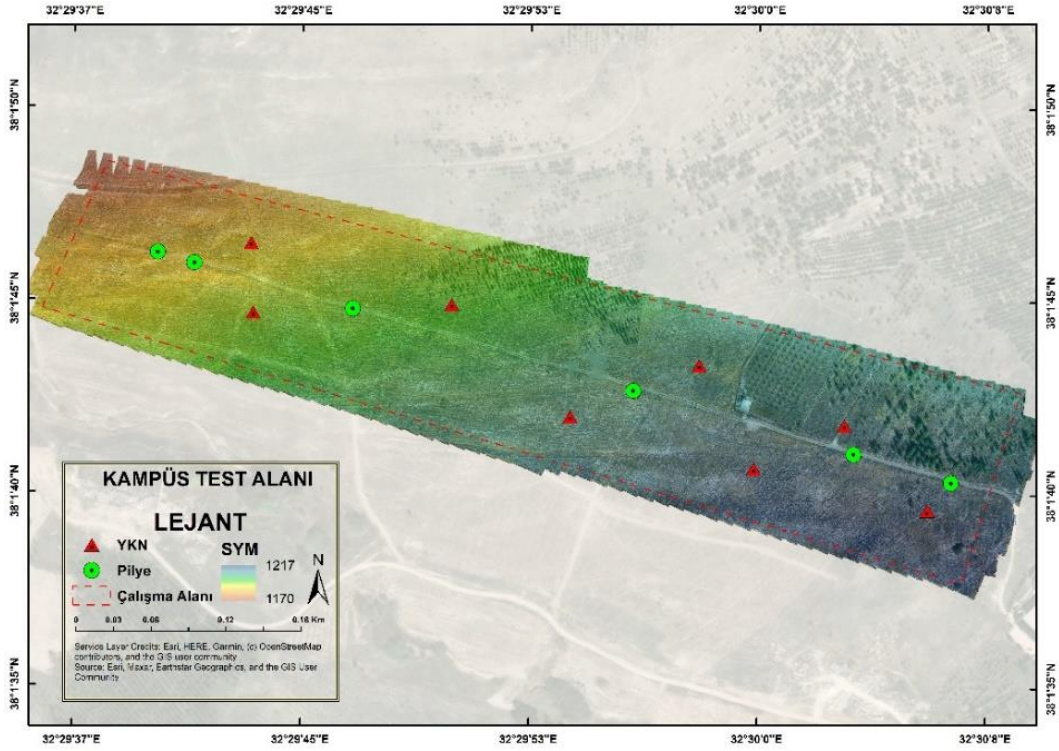
GNSS verilerinin PPP yöntemiyle değerlendirilmesi için APPS, CSRS-PPP, magicGNSS ve Trimble RTX gibi çevrimiçi konum belirleme servislerinin yanı sıra GAMP, PPPH, PRIDE PPP-AR, PPPLib, PPP-ARISEN ve raPPPIId gibi açık kaynak kodlu yazılımlar bulunmaktadır. Bu çalışmada GNSS verilerinin değerlendirilmesinde raPPPIId yazılımı kullanılmıştır. raPPPIId, hem geleneksel PPP hem de PPP-AR modeliyle GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou verilerini değerlendirebilmektedir. Yazılım, tüm GNSS sinyallerinin birleştirilmesine, her bir GNSS için farklı frekansların işlenmesine ve herhangi bir kayıt aralığında statik ve kinematik gözlem verilerinin işlenmesine olanak sağlamaktadır (Glaner ve Weber, 2023). Bu çalışmada verilerin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler.

Gözlemler	GPS: L1 + L2, GLONASS: L1 + L2
Veri kayıt aralığı	5 seconds
Değerlendirme algoritması	Statik, PPP-AR
Kullanılan GNSS ürünleri	WUM MGEX (yörünge, saat ve faz kayıklık bilgileri)
İyonosfer modeli	Çift frekanslı iyonosfer-bağımsız çözüm
Troposfer modeli	VMF3 + GRAD
Dengeleme	En küçük kareler yöntemi (tam sayı faz belirsizliği çözümü)
PPP-AR	Yükseklik açısı en büyük olan uydu referans olarak seçildi.

### 1.2 Uygulama

Selçuk Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde belirlenen çalışma alanında 3B konum doğrulukları yüksek hassasiyetle belirlenmiş altı adet pilye şeklinde tesis edilmiş olan kontrol noktaları bulunmaktadır. (Şekil 1). Uygulama alanını kapsayacak şekilde sekiz adet YKN tesis edilmiştir. YKN'lerde Javad Triumph1 GNSS alıcısı ile 5 sn kayıt aralıklı 5 dakikalık ölçümler yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve nokta konumları

YKN'lerde yapılan 5 dakikalık GNSS ölçüleri raPPPid açık kaynak kodlu yazılımı ile PPP-AR modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanının üç boyutlu modeli tesis edilen 8 adet YKN kullanılarak üretilmiştir. Üretilen modelden Şekil 1'de görülen kontrol bazındaki pilyelerin koordinatları okunmuş ve bilinen koordinatlar arasındaki farklar hesaplanmıştır.

## 2. SONUÇLAR

Günümüzde İHA'lar ile haritalama oldukça yaygın bir uygulamadır. İHA'larla fotogrametri tabanlı haritalamada amaca uygun şekilde optimum doğruluğa sahip haritaların pratik ve ekonomik bir şekilde üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada tek bir düşük maliyetli İHA ve tek bir GNSS alıcısı ile PPP-AR yöntemi kullanılarak üretilen modelin doğruluğu araştırılmıştır. Bu amaçla Selçuk Üniversitesi Kampüs alanı içerisinde seçilen çalışma alanında 3B model İHA ile üretilerek doğruluğu değerlendirilmiştir. Çalışma alanındaki kontrol bazında bulunan pilyelerin bilinen konumları ile modelden alınan konumları karşılaştırılmış, ardından da modelden alınan yatay uzunluklar ve yüksekliklerin doğrulukları incelenmiştir.

Çalışmada elde edilen ilk bulgular üretilen modelden alınan yatay koordinatların değişim aralığının daha dar, yüksekliklerin değişim aralığının ise daha geniş olduğunu göstermiştir. Bu durum üretilen modelden yatay koordinatların yüksekliklere göre daha hassas okunabildiğine işaret etmektedir. Öte yandan yatay mesafelerin 6.3 cm ile 52.1 cm arasında değişen bir hata ile elde edilebildiği, yüksekliklerin ise 3.3 cm ile 44.9 cm arasında değişen bir hata ile belirlenebildiği görülmüştür. Fazla eğimli olmayan alanlarda YKNlerde 5 dakikalık GNSS ölçüleri yapıp PPP-AR tekniğiyle değerlendirilerek üretilen modelin pratikte birçok uygulamada kullanılabileceği, fakat hassas jeodezik çalışmalarda yetersiz kaldığı görülmektedir. Farklı PPP-AR yazılımları kullanılarak yarım saate kadar uzayan farklı ölçü sürelerinde konumu belirlenen YKNler ile İHA tabanlı haritalamanın performansı ilerleyen çalışmalarda araştırılacaktır.

## KAYNAKLAR

Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., & Martínez-Carricondo, P., (2017). Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221-227.

Glaner, M.F. & Weber, R., (2023). An open-source software package for Precise Point Positioning: raPPPid. *GPS Solutions*, 27, 174. <https://doi.org/10.1007/s10291-023-01488-4>

**Kouba, J. & Héroux, P.,** (2011). Precise point positioning using IGS orbit and clock products, *GPS Solutions*, 5 (2011), 12-28. <https://doi.org/10.1007/PL00012883>

**Martínez-Carricondo, P., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Mesas-Carrascosa, F. J., García-Ferrer, A., & Pérez-Porras, F. J.,** (2018). Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 72, 1-10.

**Zumberge, J.F., Heflin, M.B., Jefferson, D.C., Watkins, M.M. & Webb, F. H.,** (1997). Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 102 (B3), 5005–5017. <https://doi.org/10.1029/96JB03860>